

ДИПЛОМНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Учебное пособие для студентов вузов

Под редакцией доктора технических наук,
профессора В.И. Лачина

РОСТОВ-НА-ДОНУ
 **ЕНИ КС**
2003

УДК 378.147[681.5+621ю38](0.75.8)

ББК 74.58

Д 46

Рецензенты:

Д.т.н., проф. Г.П. Цапко;
Д.т.н., проф. Н.И. Горбатенко

Авторский коллектив: *В.И. Василенко, С.Г. Григорьян, Н.В. Долматова, В.С. Елсуков, Е.В. Зинченко, Т.П. Кононенко, В.И. Лачин, А.В. Павленко, О.Н. Пятин, Э.Я. Рапопорт, Н.С. Савелов, М.М. Савин, А.В. Седов*

Рекомендуется Учебно-методическим объединением по образованию в области автоматике, электроники, микроэлектроники и радиотехники в качестве учебного пособия межвузовского использования для студентов специальности 210100 «Управление и информатика в технических системах»

Д 46 Дипломное проектирование. Учебное пособие/Под ред. д.т.н., проф. В.И. Лачина. — Ростов н/Д: изд-во «Феникс», 2003. — 352 с. (Серия «Высшее образование».)

В учебном пособии описываются цели, задачи и тематика дипломного проектирования, раскрывается содержание дипломного проектирования, приводятся требования к оформлению пояснительной записки и графической части дипломного проекта, основные обязанности руководителя проекта и дипломника, график работы над проектом, допуск к защите и описание публичное защиты дипломного проекта. Особое внимание уделяется содержанию специальной части проектируемых устройств и систем и основам безопасности жизнедеятельности при проектировании устройств и систем.

Может быть использовано также студентами специальностей, входящих в направления подготовки дипломированных специалистов «Автоматизация и управление», «Электроника и микроэлектроника», «Электротехника и электротехнология», «Приборостроение», «Информатика и вычислительная техника» и др. Отдельные разделы пособия могут быть использованы студентами практически всех инженерных специальностей.

УДК 378.147[681.5+621ю38](0.75.8)

ISBN 5-222-03477-1

© Авторский коллектив, 2003

© Оформление, изд-во «Феникс», 2003

Предисловие

Данное учебное пособие написано коллективом авторов, имеющих большой опыт руководства и консультирования дипломным проектированием студентов таких специальностей, как 210100 «Управление и информатика в технических системах», 200400 «Промышленная электроника», 180200 «Электрические и электронные аппараты», 220200 «Автоматизированные системы обработки информации и управления», 180700 «Электрический транспорт», 210200 «Автоматизация технологических процессов и производств», 351400 «Прикладная информатика в экономике», 190900 «Информационно-измерительная техника и технология». Оно может быть использовано также студентами родственных специальностей, входящих в такие направления подготовки дипломированных специальностей, как «Автоматизация и управление», «Электроника и микроэлектроника», «Электротехника и электротехнология», «Приборостроение», «Информатика и вычислительная техника», и др.

Отдельные разделы пособия могут быть использованы студентами практически **всех** инженерных специальностей.

Оно содержит все необходимые сведения, касающиеся различных этапов дипломного проектирования.

Дипломное проектирование можно условно разделить на следующие три этапа:

- организационный;
- **содержательный;**
- **оформительный.**

К первому этапу относятся преддипломная практика, работа над дипломным проектом, предварительная, а затем и публичная защита дипломного проекта. В учебном пособии описывается, что нужно сделать во время преддипломной практики и какие ее результаты представить, описывается работа над дипломным проектированием с указанием основных обязанностей руководителя дипломного проекта и дипломника. Отмечается, что после завершения дипломного проекта проводится его предварительная защита и описывается процесс публичной защиты дипломного проекта.

Второму, содержательному, этапу дипломного проектирования посвящена основная часть учебного пособия. Эта часть учебного пособия состоит из четырех разделов, а именно: специальной части дипломного проекта, **технико-экономического обоснования проектируемых устройств и систем, конструкторско-технологической реализации проектируемых устройств и систем**, а также основ безопасности жизнедеятельности при проектировании устройств.

Каждый из этих разделов содержит типовое содержание **соответствующей** части дипломного проектирования, основные этапы их разработки, а в ряде разделов приводится подробный порядок разработки. Приводятся ссылки на литературу, которой можно **воспользоваться** при дипломном проектировании.

Основное внимание в учебном пособии уделено содержанию специальной части дипломного проекта. Подробно рассматривается, что входит в содержание специальной части по:

- автоматическому управлению;
- построению устройств и систем на основе ЭВМ, микроконтроллеров и микропроцессоров;
- схемотехнической **реализации** проектируемых устройств и систем;
- программному и алгоритмическому обеспечению проектируемых устройств и систем;
- средствам автоматизированного анализа и проектирования устройств и систем;
- обработке результатов экспериментальных исследований.

К третьему этапу дипломного проектирования относит-

ся оформление пояснительной записки и графической части дипломного проекта. Эти вопросы рассмотрены довольно подробно с приведением примеров оформления и необходимыми ссылками на ГОСТы.

В учебном пособии приводятся ссылки на более чем 180 наименований литературы, которую рекомендуется использовать при дипломном проектировании, причем, как правило, все рекомендуемые источники имеются в библиотеке университета. В ряде случаев приводятся адреса **WEB-страниц** различных фирм, где можно найти нужную информацию.

Для удобства пользования список литературы приводится в конце каждого раздела пособия.

В данном учебном пособии, являющемся трудом большого авторского коллектива, объединены отдельные разработки и указания, использованные и ранее при дипломном проектировании и, кроме того, расширены или написаны заново необходимые разделы.

Авторы надеются, что данное учебное пособие поможет более продуктивной работе дипломников, позволит избежать ненужных трат времени во время дипломного проектирования и будет **способствовать** повышению качества дипломных проектов.

и патентный истец,

1 Цели и задачи дипломного проектирования

- составлять математическое описание проектируемой системы (устройства, блока) и его общий алгоритм работы;
- выполнять математическое моделирование **структур**, приборов или технологических процессов с целью оптимизации их параметров;
- разрабатывать функциональные и принципиальные схемы отдельных блоков и узлов проектируемой системы (устройства);
- разрабатывать **алгоритмическое** и программное обеспечение;
- проводить **конструкторско-техническую** разработку проектируемой системы (устройств) с учетом новейших достижений **технологии** производства в соответствии с назначением изделия, масштабностью его выпуска, используя достижения технической эстетики, технической психологии, а также государственных, отраслевых и **ведомственных** стандартов;
- **оценивать** экономическую эффективность принимаемых **проектно-конструкторских** решений, обеспечивать **необходимый** уровень унификации и стандартизации изделий;
- разрабатывать проектную и рабочую техническую документацию, оформлять законченные научно-исследовательские и **проектно-конструкторские** работы;
- разрабатывать проектируемую систему (устройство) с учетом вопросов безопасности жизнедеятельности.

2 Тематика дипломного проектирования

Темы дипломных проектов должны быть **актуальны**, четко сформулированы и полностью отражать содержание дипломного проекта. Желательно, чтобы в проектах решались конкретные задачи, выдвигаемые промышленными предприятиями, НИИ и различными **организациями**. В проекте должны разрабатываться новые системы и устройства или решаться вопросы модернизации **существующих**.

Все эти вопросы должны быть обозначены во время преддипломной практики. Преддипломная практика должна проводиться на рабочем месте инженера в НИИ, КБ, на заводе и на кафедре по профилю специальности.

Преддипломная практика имеет своей целью приобретение студентами опыта в исследовании актуальной научной проблемы или решении реальной инженерной задачи.

Во время преддипломной практики студент должен изучить:

- **проектно-технологическую документацию**, патентные и литературные источники в целях их использования при выполнении выпускной квалификационной работы;
- методы и средства компьютерного исследования и проектирования, необходимые при разработке приборов, материалов и устройств или их технологии в соответствии с заданием на выпускную работу;
- отечественные и зарубежные объекты техники и технологии, являющиеся аналогами разработки;

- методы **исследования**, проектирования и проведения экспериментальных работ;
- назначение, состав, конструкцию, принцип работы, технологию изготовления, условие монтажа и технической эксплуатации проектируемых изделий, приборов или объектов;
- подобрать необходимый графический и расчетный материал по теме дипломного проекта;
- подготовить краткий отчет о проделанной работе на преддипломной практике.

По завершении преддипломной практики проводится защита преддипломной практики. К защите по преддипломной практике допускаются студенты, выполнившие ее программу и представившие кафедре отзыв руководителя практики от предприятия, отчет о проделанной работе и утвержденное задание на дипломное проектирование.

Тема проекта должна дать возможность дипломнику показать уровень теоретической подготовки, умение решать практические инженерные задачи, использовать современные информационные технологии. Требуемый для разработки дипломного проекта объем работы должен позволить выполнить проект в установленный срок.

Студент, участвовавший за время обучения в проведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, может представить к защите результаты этих работ при условии, что его вклад в эти работы соответствует требованиям, предъявляемым к дипломным проектам.

Рекомендуются следующие направления тематики дипломного проектирования для специальностей 210100, 200400, 180200, 220200 и других родственных специальностей:

- I. Автоматические и автоматизированные системы и устройства сбора, обработки, отображения информации, управления, контроля и диагностики технических объектов.
- II. Разработка сложных электронных систем, узлов и блоков различного назначения.
- III. Системы управления, контроля и диагностики объектов

различного назначения и их программно-алгоритмическое обеспечение.

- IV. Разработка элементов и узлов электрических и электронных аппаратов широкого назначения.
- V. Разработка электромагнитных приводов различного применения.
- VI. Разработка микропроцессорных устройств контроля, управления и защиты электроэнергетических объектов и систем.
- VII. Проектирование АСУ предприятием, технологическими процессами, гибкими производственными комплексами, технологической подготовки производства.
- VIII. Проектирование распределенных систем обработки информации.

3 Содержание дипломного проекта

Дипломный **проект** должен состоять из пояснительной записки и комплекта чертежей (графической части).

3.1 СТРУКТУРА ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ И ГРАФИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА

Структура пояснительной записки:

- титульный лист (на стандартном бланке);
- задание (на стандартном бланке);
- аннотация;
- содержание;
- ведомость дипломного проекта;
- введение;
- перечень **сокращений**, условных обозначений символов, единиц и терминов;
- **специальная** часть (может содержать несколько разделов);
- **конструкторско-технологическая** часть;
- экономическая часть;
- безопасность **жизнедеятельности**;
- заключение;
- список использованной литературы;
- **приложения**.

Графическая часть дипломного проекта должна отражать принятые схемные и конструктивные решения и содержать 7-9 листов чертежей, схем, графиков и диаграмм. Графический материал должен обеспечить **наглядное** изложение сути дипломного проекта.

Примерный перечень материала графической части дипломного проекта:

- схема разрабатываемой системы или устройства и т.п. с указанием мест установки контроллеров, датчиков, регуляторов и т.д.;
- общий вид спроектированного устройства или системы;
- функциональные, структурные, принципиальные и технологические схемы;
- конструкции разработанных отдельных узлов или деталей;
- необходимые графики и диаграммы;
- схемы алгоритмов, программ и т.д.;
- результаты экспериментальных исследований и моделирования.

3.2 РУБРИКАЦИЯ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

Титульный лист и задание

Форма титульного листа пояснительной записки дипломного проекта является общепринятой.

Задание на дипломный проект является вторым листом пояснительной записки и выполняется на **специальном** бланке.

Аннотация должна содержать краткое изложение цели и важнейших результатов работы, области практического применения и ожидаемых **технико-экономических** результатов.

Содержание должно включать введение, наименование всех разделов и подразделов с указанием номеров страниц, на которых размещается начало материала.

Ведомость дипломного проекта содержит перечень документов, изделий (макетов, моделей, опытных образцов и др.), вошедших в содержание проекта. Ведомость выполняется по ГОСТ 2.106-96 (форма 4) на бумаге формата А4 с рамкой и основной надписью.

Во введении рассматриваются актуальность темы, основные положения и документы, лежащие в основе разрабатываемого проекта, кратко характеризуется современное состояние технического вопроса или проблемы. Формулируются задача, ее новизна и возможные пути решения.

Специальная часть дипломного проекта может включать следующие разделы и (или) параграфы:

- постановка задачи, анализ вариантов реализации системы, патентные исследования, технические требования;
- математическое описание системы;
- разработка функциональных, структурных и принципиальных схем;
- анализ и синтез систем;
- моделирование систем;
- техническое, алгоритмическое и программное обеспечение;
- экспериментальные исследования;
- другие разделы.

Конструкторско-технологическая часть может включать следующие разделы и (или) параграфы:

- конструкция и технология изготовления устройств или системы;
- расчет тепловых режимов, блоков, узлов и элементов устройств;
- разработка конструкции и технология изготовления печатных узлов устройств;
- вопросы эксплуатации и наладки устройств;
- составление эксплуатационной документации;
- другие разделы.

Экономическая часть может включать:

- маркетинговые исследования;
- **технико-экономическую** оценку качества спроектированного **устройства**;
- вопросы менеджмента;
- расчет себестоимости и цены спроектированного устройства;
- планирование конструкторской подготовки **изделия**;
- иные экономические вопросы.

Безопасность жизнедеятельности включает следующие **вопросы**:

- анализ объекта **автоматизации**;
- выявление социально-экономического эффекта;
- безопасность жизнедеятельности в чрезвычайных ситуациях;
- разработка мероприятий по улучшению условий труда.

Подробные указания к содержанию и объему разделов по специальной, **конструкторско-технологической**, экономической частям и по безопасности жизнедеятельности даны ниже.

Заключение должно содержать окончательные выводы по работе, степень соответствия разработанной теме требованиям технического задания на основе сравнения технико-экономических показателей спроектированного и существующих объектов.

3.3 СОДЕРЖАНИЕ СПЕЦИАЛЬНОЙ ЧАСТИ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА

3.3.1 Содержание *специальной части* по автоматическому управлению

Темы дипломного проекта определяются по материалам преддипломной практики и могут быть **такими**:

- системы автоматического регулирования (САР) температуры тепловых процессов, технологических параметров теплоэнергетических объектов;
- системы автоматического управления (САУ) электроподвижным составом, **электроприводами** промышленных объектов;
- локальные системы управления производственными процессами, в том числе системы стабилизации, программного управления и следящие системы.

*Типовое содержание **специальной части** дипломного проекта состоит из двух разделов:*

Обзорно-постановочный раздел:

- *Составление и обоснование технического задания на разработку САУ (САР):*

- описание автоматизируемого объекта и его технические характеристики;
- технические требования к САУ (САР);
- анализ известных вариантов САУ (САР) аналогичного назначения.

Расчетная часть:

- *Составление функциональной схемы САУ (САР) и выбор принципиальных схем элементов ее неизменяемой части:*

- описание функциональной схемы разрабатываемой системы;
- выбор измерительно-преобразовательных элементов (первичных и вторичных преобразователей);
- выбор **исполнительных** устройств (исполнительный двигатель, регулирующий орган, усилитель мощности и т.п.).
- *Математическое описание САУ (САР) и выбор автоматического управляющего устройства (АУУ):*
- определение математической модели объекта;
- определение передаточных функций измерительных преобразователей;
- определение передаточной функции исполнительного устройства;

- выбор закона автоматического управления в **общем** виде;
- выбор автоматического управляющего устройства (стандартных промышленных регуляторов, управляющих вычислительных машин, микроконтроллеров и т.п.).
- *Структурно-параметрический синтез САУ (САР):*
 - выбор метода синтеза;
 - расчет параметров настройки, структуры АУУ и элементов его принципиальной схемы.
- *Моделирование САУ (САР) с помощью средств вычислительной техники.*

3.3.1.1 Составление и обоснование технического задания на разработку САУ (САР)

Описание **объекта** должно быть сделано с точки зрения технологического процесса его работы и конструктивных особенностей. В качестве технических **характеристик** объекта должны быть приведены только те, которые существенны для его автоматизации. Необходимо также указать регулируемые величины, управляющие и возмущающие воздействия и **характер** их изменения **во** времени.

В технических требованиях к САУ (САР) следует указать:

- допустимые ошибки в установившихся режимах при **детерминированных** воздействиях;
- то же при случайных воздействиях;
- прямые показатели качества переходных режимов, показатель колебательности, степень затухания и т.п.;
- технико-экономические и эксплуатационные требования.

Анализ известных **вариантов** САУ (САР) аналогичного назначения должен содержать обзор литературы и патентный поиск.

3.3.1.2 Составление функциональной схемы САУ и выбор элементов ее неизменяемой части

Функциональная схема системы должна быть выбрана исходя из технических требований структуры и параметров

автоматизируемого **объекта**. Она должна опираться на **пр.** типы и известные принципы построения САУ (САР).

Выбор измерительно-преобразовательных элементов должен учитывать необходимый диапазон измерения **контролируемых** величин, условия работы, инерционность и т.п., а также вопросы согласования с предшествующими и последующими устройствами (в частности, применение нормирующих преобразователей).

Выбор исполнительных устройств осуществляется исходя из заданных **характеристик** объекта **регулирования**, условий работы, динамических свойств регулятора и системы в целом. Следует иметь в виду, что по динамическим свойствам исполнительные устройства могут быть пропорциональными, интегрирующими (в том числе с постоянной **скоростью**) и **позиционными**.

3.3.1.3 Математическое описание САУ и выбор автоматического управляющего устройства

При составлении математической модели объекта (электродвигатель, генератор, резервуар с жидкостью, паровой котел, турбина и др.) можно пользоваться в простейших случаях аналитическими методами [1], а в более общих случаях — экспериментальными.

К экспериментальным методам следует отнести:

- снятие статических характеристик;
- снятие кривой разгона;
- снятие частотных характеристик.

Все указанные методы применимы при относительно малом уровне помех. При наличии помех статическая характеристика определяется методом **планирования** эксперимента, а динамическая характеристика в виде весовой функции определяется на ЭВМ по корреляционным функциям входа и выхода. Машинные методы могут быть применены для расчета передаточной функции по кривой разгона.

Определение передаточных функций измерительно-преобразовательных и исполнительных устройств можно выполнить по справочным или экспериментальным данным.

Определение закона **управления** в общем виде прежде всего предполагает выбор между САР с жесткой настройкой (при практически постоянных параметрах объекта) и адаптивными САУ.

Затем в классе систем с жесткой настройкой следует определить класс регулятора (непрерывный, релейный, импульсный, цифровой), что можно, сделать, например, зная отношение запаздывания объекта к его постоянной времени.

Если **ориентироваться** на применение типовых законов непрерывного регулирования (пропорционального (П), пропорционально-дифференциального (ПД), интегрального (И), пропорционально-интегрального (ПИ), пропорционально-интегрально-дифференциального (ПИД)), то прежде всего, исходя из требуемого порядка астатизма и динамических свойств объекта (самовыравнивание, наличие одной или двух больших постоянных времени), следует сделать выбор между указанными выше регуляторами.

Если рассматриваемый нестационарный объект имеет экстремальную статическую характеристику и пель управления состоит в достижении экстремума, то следует применить поисковую самонастраивающуюся систему (СНС). Если же нестационарность **проявляется** только в изменении параметров объекта, то следует применить беспойсковую СНС как более быстродействующую, чем поисковая.

Алгоритм **функционирования** поисковых адаптивных систем (систем экстремального регулирования) прежде всего определяется методом поиска экстремума статической характеристики объекта. Он может быть основан на запоминании экстремума, определении производных или приращений входной и выходной величин, использовании модулирующего поискового сигнала (синхронного детектирования).

Выбор алгоритма функционирования беспойсковых адаптивных систем определяется целью **адаптации**. При этом адаптация (самонастройка) может быть осуществлена по сигналам внешних воздействий, по минимуму квадратичного функционала, по динамическим характеристикам объекта.

Выбор автоматического управляющего устройства должен производиться на основании требуемого закона управления (алгоритма функционирования), как правило, из числа

стандартных **промышленных** регуляторов, управляющих вычислительных машин, микроконтроллеров и т.п.

На основе управляющих **микроЭВМ** могут быть построены цифровые **многоуровневые** децентрализованные автоматизированные системы, структуры которых выбираются исходя из особенностей объектов управления и включают в себя локальные САР.

При проектировании цифровых систем следует иметь в виду следующие основные особенности, отличающие их от непрерывных систем:

- обрабатываются дискретные по времени сигналы (решетчатые функции), что характерно для импульсных САР;
- законы управления реализуются программно с помощью алгоритмов, описываемых разностными уравнениями или дискретными передаточными функциями (в последнем случае — без учета квантования по уровню);
- сигналы могут принимать только определенные дискретные значения вследствие квантования по уровню в АЦП и преобразования величин в цифровой форме, что делает систему **релейно-импульсной** и усложняет расчет;
- для сопряжения цифрового регулятора с непрерывным исполнительным устройством применяется либо **ЦАП**, либо **широтно-импульсный преобразователь** (при исполнительных двигателях постоянной скорости);
- благодаря гибкости средств программного обеспечения при построении управляющих алгоритмов возможности проектирования не ограничиваются только стандартными П-, И-, ПИ-, ПД-, ПИД-законами регулирования с жесткой настройкой, а позволяют реализовать оптимальное и адаптивное управление, нелинейные алгоритмы.

3.3.1.4 Структурно-параметрический синтез САР для объектов с сосредоточенными параметрами и запаздыванием

Выбор метода синтеза определяется прежде всего классом примененного регулятора и техническими требованиями к САУ.

Структурно-параметрический синтез системы с жесткой настройкой производится различными методами в зависимости от класса применяемого регулятора (**непрерывный**, релейный, импульсный, цифровой). Для непрерывных регуляторов применяются методы определения оптимальных параметров настройки (**ОПН**) по временным, частотным характеристикам и стандартным передаточным **функциям** и уравнениям [1]. Системы общепромышленного назначения комплектуются стандартными типовыми регуляторами. Синтез таких систем остается одной из важнейших базовых задач линейной ТАУ и поэтому рассмотрен более подробно. -

При расчете одноконтурных систем автоматического регулирования применяют следующие методы синтеза:

1. *Синтез по временным характеристикам (метод А.П. Копеловича).*

В качестве временной используется переходная характеристика по **возмущению** и для нее принимаются три стандартных разновидности (рис. 3.1):

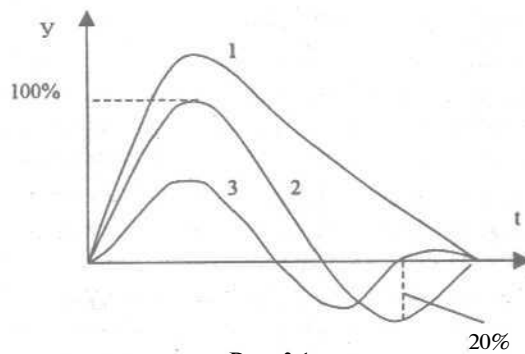


Рис. 3.1

- апериодическая (характеристика 1);
- с **20%-ным** перерегулированием (характеристика 2);
- с минимальной квадратичной интегральной оценкой (**45%-ное** перерегулирование)

$$I_{20} = \int_0^{\infty} y^2(t) dt.$$

В справочной литературе имеются номограммы, позволяющие определить параметры настройки регулятора для любой из трех указанных разновидностей переходной характеристики по параметрам объекта, имеющего стандартную математическую модель в виде последовательного соединения инерционного (интегрирующего) и запаздывающего звеньев.

Для пропорционально-интегрального регулятора (ПИ-регулятора) при этом используются графики зависимостей:

$$(k_p \cdot k_{об}) = f_1\left(\frac{\tau_{об}}{T_{об}}\right), \quad \frac{T_u}{\tau_{об}} = f_2\left(\frac{\tau_{об}}{T_{об}}\right),$$

где $\tau_{об}$ и $T_{об}$ — запаздывание и постоянная времени объекта, k_p и T_u — параметры настройки регулятора.

2. Синтез по заданному затуханию (метод Е.П. Стефани).

Этот метод имеет экспериментально-итеративный характер. Эксперимент проводится либо в реальной системе, либо на модели. Применительно к ПИ-регулятору в плоскости параметров настройки, таких как k_p (коэффициент пропорциональной составляющей) и k_p / T_u (коэффициент интегральной составляющей), существует линия, затухание на которой равно заданному значению $y = (85-90)\%$ (рис. 3.2).

Оптимальной считается точка за экстремумом, в которой квадратичная интегральная оценка имеет локальный минимум. Экспериментальный поиск настройки заключается в следующем:

- задают сравнительно большие значения k_p и T_u — точка 1. Получают апериодический процесс;
- начинают уменьшать значение T_u (увеличивать интегральную составляющую), колебательность увеличивается. Доходят до точки 2, где получают медленно затухающие колебания;
- уменьшая значение k_p , приходят в точку 3, которая и является точкой оптимума, судя по виду переходного процесса с заданным затуханием и $\min I_{20}$.

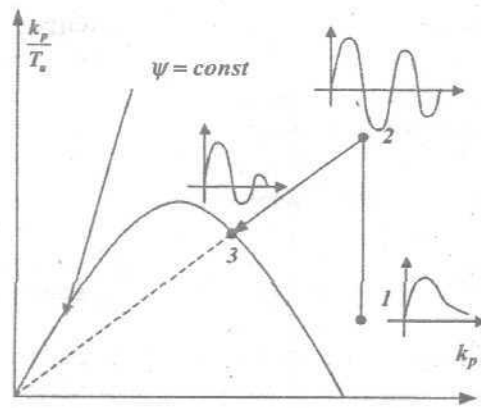


Рис. 3.2

3. Синтез по заданным значениям корневых оценок (метод Е.П. Стефани).

В качестве корневой оценки берется степень колебательности $\mu = \omega/\alpha$ или $m = \mu^{-1}$. В характеристическом уравнении системы $1 + W_p W_{об} - 0$ делается подстановка: $s = -\alpha + j\omega = -\omega/\mu + j\omega$. Затем уравнение решается относительно параметров настройки, и частота ω варьируется от нуля до ∞ . В результате получается линия $\mu_3 = const$ в плоскости параметров ПИ-регулятора (рис. 3.3).

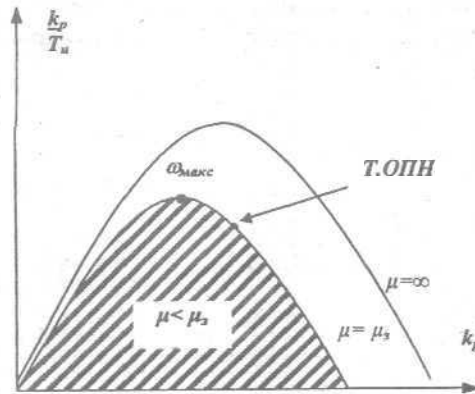


Рис. 3.3

Оптимальные параметры настройки (ОПН) регулятора соответствуют точке, для которой $\omega = 1,2\omega_{\max}$, где ω_{\max} — частота максимума кривой $k_p/T_u = f(k_p)$ при $\mu_3 = \text{const}$. В этой точке квадратичная интегральная оценка качества переходного

процесса $I_{20} = \int_0^{\infty} y^2 dt$ имеет минимум.

4. Синтез по заданному показателю колебательности (метод В.Я. Ротача).

Этот метод основан на том, что АФХ разомкнутой САР на комплексной плоскости должна касаться той окружности круговой диаграммы, для которой значение АЧХ замкнутой САР равно заданному значению показателя колебательности M_3 , т.е. $A(\omega) = M_3$.

При использовании ПИ-регулятора АФХ разомкнутой САР определяется формулой

$$W(j\omega) = W_p(j\omega) \cdot W_{об}(j\omega) = k_p \cdot W_{об}(j\omega) - j \frac{k_p}{T_u \omega} \cdot W_{об}(j\omega),$$

из которой видно, что каждое ее значение можно представить как геометрическую сумму двух взаимно перпендикулярных векторов на плоскости.

Делая такие построения при ряде значений T_u , можно в плоскости параметров настройки отобразить окружность $M = M_3 = \text{const}$ (рис. 3.4).

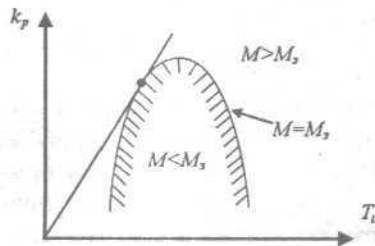


Рис. 3.4

Затем на этой линии находят точку оптимальной настройки параметров **ПИИ-регулятора** как точку касания прямой, проведенной из начала координат. Для этой точки $\frac{k_p}{T_u} = \max$, что соответствует максимально возможной интегральной составляющей закона регулирования и как следствие минимуму линейной интегральной оценки переходного процесса.

Синтез многоконтурных систем автоматического регулирования включает следующие виды:

1. Система подчиненного регулирования.

Командный регулятор с передаточной функцией $W_{pk}(s)$ регулирует по **принципу** отклонения выходную величину у объекта регулирования путем изменения задания подчиненному регулятору $W_{pn}(s)$, который регулирует промежуточную величину y_1 объекта (рис. 3.5).

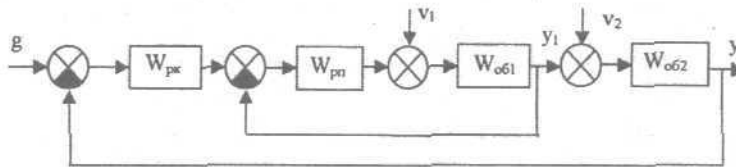


Рис.3.5

Созданный подчиненным регулятором внутренний контур синтезируется по методу оптимума модуля частотной передаточной функции последнего:

$$|\Phi_{вк}(j\omega)| = \left| \frac{W_{pn}(j\omega) \cdot W_{об1}(j\omega)}{1 + W_{pn}(j\omega) \cdot W_{об1}(j\omega)} \right| = 1.$$

Это условие выполняется при глубокой отрицательной ОС. При такой настройке обеспечивается наиболее быстрая компенсация влияния возмущения v_1 подчиненным регулятором, благодаря чему регулируемая **величина** y практически не меняется. Параметры $W_{pk}(s)$ находятся по одной из методик одноконтурных САР.

Примером может служить САР электропривода. При этом y — скорость, v_2 — момент сопротивления, y_1 — ток якоря двигателя, v_1 — напряжение питания.

2. Двухконтурная система с упредителем Смита.

В системах с объектом регулирования (ОР), имеющим большое запаздывание t , используется упредитель Смита (УС) — специальная корректирующая ОС, охватывающая регулятор (рис. 3.6) и имеющая передаточную функцию $W_{УС} = W_0 - W_0 \cdot e^{-ts}$.

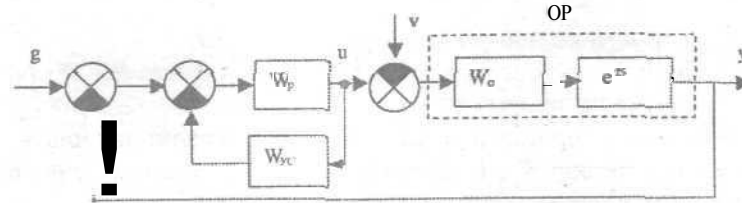


Рис.3.6

- Отсюда видно, что УС содержит две параллельных ветви:
- ветвь положительной ОС с передаточной функцией объекта $W_0 \cdot e^{-ts}$, которая компенсирует на входе регулятора реакцию объекта на регулирующее воздействие u ;
 - ветвь отрицательной ОС с передаточной функцией объекта W_0 без запаздывания, которая обеспечивает упреждение.

Характеристическое уравнение САР имеет вид

$$1 + W(s) = 0,$$

$$\text{где } W(s) = \frac{W_p \cdot W_0 \cdot e^{-ts}}{1 + W_p \cdot W_{УС}}.$$

После преобразований получим характеристическое уравнение

$$1 + W_p W_0 = 0,$$

которое показывает, что устойчивость САР не зависит от запаздывания.

Передаточные функции замкнутой САР по задающему и возмущающему воздействиям при условии, что $W_P W_0 | > > 1$, приобретают вид

$$\Phi_g = e^{-ts}; \quad \Phi_V = -W_0(e^{-ts} - e^{-2ts}).$$

Таким передаточным функциям соответствуют переходные функции $h_g(t)$ и $h_V(t)$, отличающиеся малой длительностью (рис. 3.7).

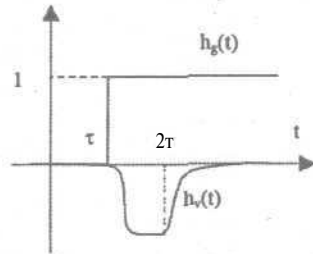


Рис. 3.7

3. Двухконтурная САР с глубокой гибкой местной отрицательной обратной связью.

Объект регулирования такой САР (рис. 3.8) состоит из малоинерционной части с передаточной функцией W_{01} и более инерционной части с передаточной функцией W_{02} , для которой передаточная функция эквивалентного регулятора

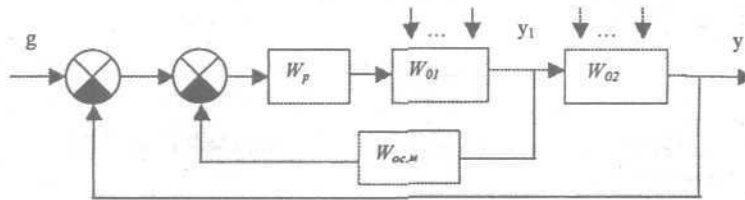


Рис. 3.8

$$W_{дз} = W_{ос.м}^{-1}$$

при выполнении условия глубокой обратной связи в рабочем диапазоне частот

$$|W_p(j\omega)W_{o1}(j\omega)W_{ос.м}(j\omega)| \gg 1$$

Для реализации ПИ-закона регулирования величины y следует выбрать $W_{ос.м} = \frac{k_{ос}S}{T_{ос}S + 1}$ и рассчитать $k_{ос}$ и $T_{ос}$ по одной из методик синтеза одноконтурных САР. Точно так же можно определить оптимальные параметры передаточной функции W_p , выполнив условия устойчивости и высокой степени компенсации возмущений, приложенных к внутреннему контуру.

Такая САР, в частности, применяется при регулировании температуры перегрева пара в котельных агрегатах тепловых электростанций. При этом y и y_1 — температура пара на выходе и в промежуточной точке паронагревателя соответственно.

4. Многосвязная система автоматического регулирования.

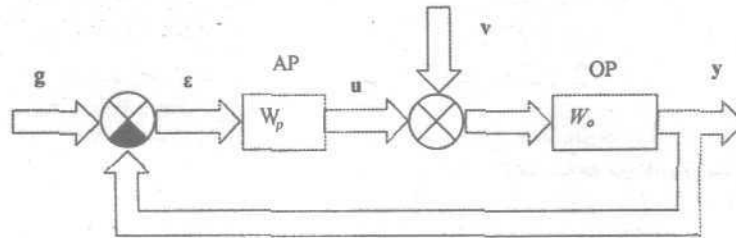


Рис. 3.9

На структурной схеме многосвязной САР (рис. 3.9) обозначено:

W_o и W_p — передаточные матрицы объекта регулирования (OP) и автоматического регулятора (AP), g и v — векторы задающего и возмущающего воздействий соответственно.

В результате совместного решения уравнений

$$\begin{cases} y = W_o W_p \varepsilon + W_o v, \\ \varepsilon = g - y \end{cases}$$

находим векторно-матричное уравнение многосвязной САР

$$(I + W_o W_p) y = W_o W_p g + W_o v,$$

где I — единичная матрица.

Условием автономности многосвязной САР по задающему воздействию, когда регулируемые величины всех сепаратных САР не зависят от «чужих» задающих воздействий, является диагональность соответствующей передаточной матрицы

$$\Phi^g = (I + W_o W_p)^{-1} W_o W_p.$$

Отсюда видно, что передаточная матрица Φ^g будет диагональной, если диагональна передаточная матрица $W_o W_p$ САР, разомкнутой по основным обратным связям. Действительно, при этом диагональны передаточная матрица $I + W_o W_p$ и все произведение.

Диагональность передаточной матрицы $I + W_o W_p$ обеспечивает и автономность свободных движений, т.е. при $g = v = 0$. В этом случае характеристическое уравнение многосвязной САР

$$\det[I + W_o W_p] = 0$$

содержит в левой части произведение характеристических полиномов всех сепаратных САР, что дает возможность осуществлять синтез каждой из них в отдельности по известным методикам одноконтурных САР.

Условием автономности многосвязной САР по возмущающему воздействию является диагональность соответствующей передаточной матрицы

$$\Phi^v = (I + W_o W_p)^{-1} W_o.$$

Используя свойство произведения матриц

$$AB = (B^{-1}A^{-1})^{-1},$$

преобразуем к более простому для расчета виду:

$$\Phi^y = [W_o^{-1} (I + W_o W_p)]^{-1} = (W_o^{-1} + W_p)^{-1}.$$

Сравнение показывает следующее:

- условия автономности по задающему и возмущающему воздействиям в общем случае не совпадают;
- для автономности по возмущающему и задающему воздействиям не обязательно, чтобы матрицы W_p и W_o были диагональными каждая в отдельности. Если же это условие выполняется, то многосвязная САР автономна как по задающему воздействию, так и по возмущению (отсутствуют перекрестные связи в ОР и дополнительные связи в АР, т. е. многосвязная САР распадается на несколько отдельных САР).

Пример. Синтез двусвязной САР.

Пусть $W_o = \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} \\ W_{21} & W_{22} \end{bmatrix}$, $W_p = \begin{bmatrix} W_{p11} & W_{p12} \\ W_{p21} & W_{p22} \end{bmatrix}$ — передаточные матрицы объекта и регулятора. Передаточная матрица САР, разомкнутой по основным ОС (рис. 3.10), имеет вид

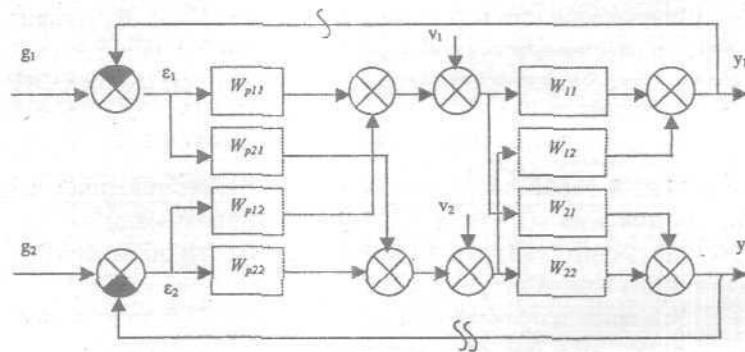


Рис. 3.10

$$W_o W_p = \begin{bmatrix} (W_{11} W_{p11} + W_{12} W_{p21}) & (W_{11} W_{p12} + W_{12} W_{p22}) \\ (W_{21} W_{p11} + W_{22} W_{p21}) & (W_{21} W_{p12} + W_{22} W_{p22}) \end{bmatrix}.$$

Условия ее диагональности сводятся к следующим равенствам:

$$W_{p12} = -\frac{W_{12}}{W_{11}} W_{p22}, \quad W_{p21} = -\frac{W_{21}}{W_{22}} W_{p11}.$$

Передаточная функция автономной многосвязной САР по задающему воздействию имеет вид

$$\begin{aligned} \Phi^g &= \begin{bmatrix} (1 + W_{11}W_{n11} + W_{12}W_{n21}) & 0 \\ 0 & (1 + W_{21}W_{p12} + W_{22}W_{p22}) \end{bmatrix}^{-1} \times \\ &\times \begin{bmatrix} (W_{11}W_{p11} + W_{12}W_{p21}) & 0 \\ 0 & (W_{21}W_{p12} + W_{22}W_{p22}) \end{bmatrix}^{-1} = \\ &= \text{diag} \left[\frac{W_{11}W_{p11} + W_{12}W_{p21}}{1 + W_{11}W_{p11} + W_{12}W_{p21}}, \frac{W_{21}W_{p12} + W_{22}W_{p22}}{1 + W_{21}W_{p12} + W_{22}W_{p22}} \right], \end{aligned}$$

так как матрица, обратная диагональной, равна диагональной матрице с обратными элементами.

После подстановки W_{p12} и W_{p21} в Φ^g передаточные функции сепаратных САР будут зависеть только от передаточных функций «своих» регуляторов W_{p11} и W_{p22} , что позволяет произвести их синтез как одноконтурных САР.

Из релейных регуляторов простейшим является двухпозиционный, который следует выбирать, если допустимы автоколебания, ухудшающие качество регулирования. Расчет их параметров настройки приводится в работах А.С. Клюева. Трехпозиционные регуляторы (регуляторы постоянной скорости исполнительного механизма) входят в некоторые стандартные измерительные приборы и могут быть использованы при сравнительно невысоком качестве регулирования из-за наличия зоны нечувствительности. Для анализа и синтеза нелинейных САР в общем случае могут быть применены следующие методы;

- расчет абсолютной устойчивости по частотному критерию В.М. Попова и прямому методу А.М. Ляпунова для непрерывных САР и методике Я.З. Цыпкина для цифровых САР;

регаем квантованием по уровню, что допустимо при большом числе разрядов. Период квантования T по времени является **важным** дополнительным параметром настройки цифрового регулятора. Чем больше T , тем хуже качество регулирования из-за потери информации о процессе. Однако при малых значениях T возрастают вычислительные трудности и энергетические затраты на управление. Считается, что большие такты квантования находятся в пределах $(0,25 \div 0,66)t_p$, где t_p — время регулирования системы прямого цифрового регулирования.

При больших значениях T система прямого цифрового регулирования может **быть** рассчитана как линейная импульсная САР со структурной схемой, содержащей в замкнутом контуре два условных звена: цифровое вычислительное устройство и объект управления (рис. 3.12).

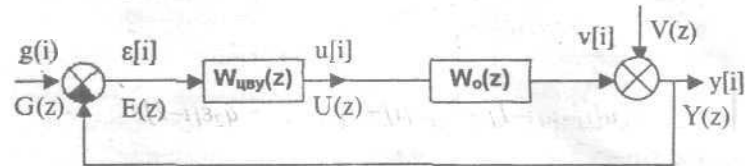


Рис. 3.12

Дискретная передаточная функция объекта управления

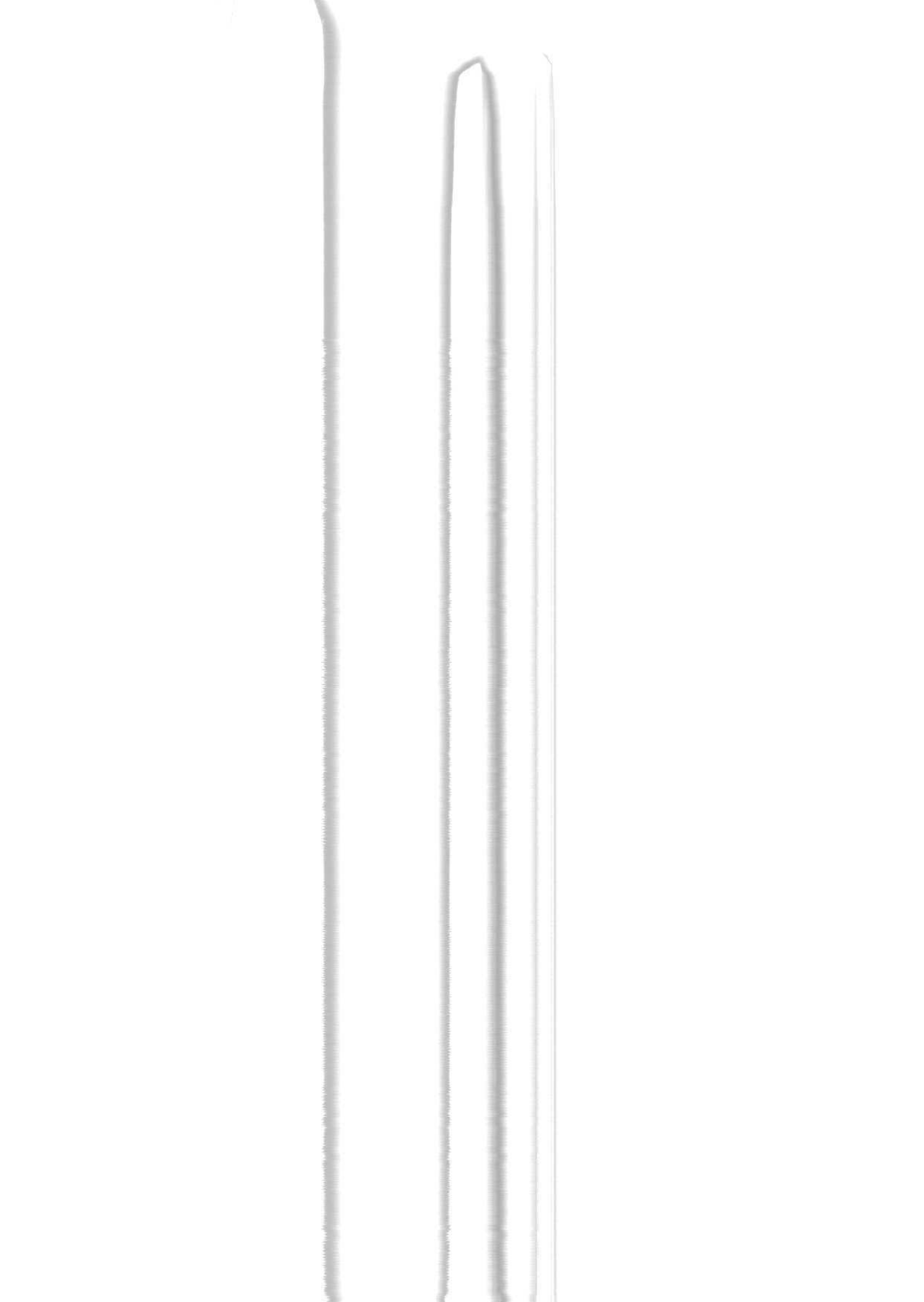
$$W_o(z) = Z\{W_\phi(s)W_{op}(s)\},$$

где $W_\phi(s) = [1 - e^{-Ts}]s^{-1}$ — передаточная функция формирующего элемента (экстраполятора нулевого порядка).

Дискретная передаточная функция $W_{цв}(z)$ может быть найдена при структурно-параметрическом синтезе в координатах «вход-выход» так же, как и передаточная функция дискретного корректирующего устройства импульсной САР.

При параметрическом синтезе структура цифрового вычислительного устройства выбирается. В частности, **если** желаемым непрерывным регулятором является идеализированный ПИД-регулятор с передаточной функцией

$$W_{pi}(s) = K_p[1 + (T_i s)^{-1} + T_d s],$$



то соответствующее разностное уравнение цифрового вычислительного устройства получим из уравнения этого ПИД-регулятора

$$u(t) = K_p \left[\varepsilon(t) + \frac{1}{T_u} \int_0^t \varepsilon(t) dt + T_d \frac{d\varepsilon(t)}{dt} \right]$$

путем его дискретизации (интеграл заменяется конечной суммой, производная — первой разностью, $dt = T$):

$$u[i] = K_p \left\{ \varepsilon[i] + \frac{T}{T_u} \sum_{m=0}^{i-1} \varepsilon[m] + T_d (\varepsilon[i] - \varepsilon[i-1]) \right\}.$$

Если аналогично записать формулу для $u[i-1]$ и вычесть ее из предыдущей, то получим уравнение цифрового вычислительного устройства в рекуррентном виде:

$$u[i] - u[i-1] = q_0 \varepsilon[i] + q_1 \varepsilon[i-1] + q_2 \varepsilon[i-2],$$

где параметры цифрового регулятора

$$q_0 = K_p(1 + T_d T^{-1}), q_1 = -K_p(1 + 2T_d T^{-1} - T T_u^{-1}), q_2 = K_p T_d T^{-1}.$$

Этому уравнению соответствует дискретная передаточная функция цифрового вычислительного устройства

$$W_{\text{цф}}(z) = \frac{q_0 + q_1 z^{-1} + q_2 z^{-2}}{1 - z^{-1}},$$

являющаяся типовой для цифрового регулятора второго порядка.

Важно установить, при каких значениях q_i цифровой регулятор соответствует ПИД-регулятору. Для этого при нулевых начальных условиях и $\varepsilon[i] = 1[i]$ найдем решетчатую переходную функцию и построим переходную характеристику (рис. 3.13).

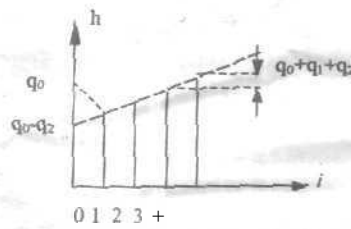


Рис. 3.13

$$h[i] = \begin{cases} q_0 & \text{при } i = 0, \\ 2q_0 + q_1 & \text{при } i = 1, \\ h[i-1] + q_0 + q_1 + q_2 & \text{при } i \geq 2. \end{cases}$$

Эта характеристика аналогична характеристике непрерывного ПИД-регулятора при положительности следующих коэффициентов цифрового регулятора:

коэффициента передачи $K_p = q_0 - q_2$, коэффициента опережения $c_d = q_2 K_p^{-1}$ и коэффициента интегрирования $c_u = (q_0 + q_1 + q_2) K_p^{-1}$.

Параметрический синтез системы прямого цифрового регулирования как линейной импульсной САР обычно производится по минимуму суммарной обобщенной квадратичной оценки

$$S_2 = \sum_{i=0}^{\infty} (\varepsilon^2[i] + r(\Delta u[i])^2),$$

где $\Delta u[i] = u[i] - u[\infty]$ — переходная составляющая управления,

$r = (0,1 \div 0,25)k_0^2$ — весовой коэффициент энергозатрат.

В частности, для $W_r(s) = \frac{K_0}{(T_0 s + 1)^n}$, $n = 1, 6$, в литерату-

ре приводятся таблицы и номограммы для инженерного расчета q_i , причем эти настройки не обязательно соответствуют характеристике непрерывного ПИД-регулятора.

Если период T настолько мал, что выполняются известные условия эквивалентности импульсной и непрерывной САР, то, пренебрегая квантованием по времени, синтез производят по следующей структурной схеме непрерывной САР (рис. 3.14).

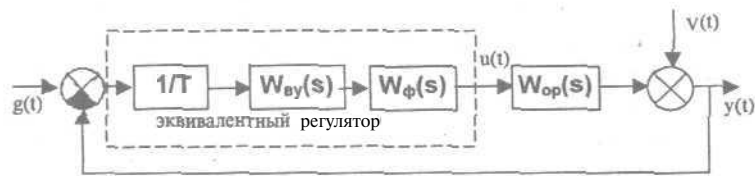


Рис. 3.14

В этой схеме квантователь заменен безынерционным звеном с коэффициентом передачи T^{-1} , а передаточная функция эквивалентного непрерывного регулятора

$$W_{рз}(s) = \frac{1}{T} W_{\phi}(s) W_{бу}(s).$$

Здесь входит передаточная функция непрерывной модели цифрового вычислительного устройства

$$W_{бу}(s) = W_{цбу}(z) \Big|_{z=e^{sT}}.$$

Эта модель состоит из запаздывающих и усилительных звеньев (так называемая НЗУ-модель). Передаточная функция этой модели определяет, как известно, связь изображений по Лапласу идеальных импульсных функций на входе и выходе цифрового вычислительного устройства, но так как в данном случае дискретные сигналы эквивалентны непрерывным, то ее применение возможно. Однако только при $T \rightarrow 0$, когда $\text{EXP}(-Ts) \approx 1 - Ts$, получится равенство $W_{рз}(s) = W_{ру}(s)$. Поэтому расчеты системы прямого цифрового регулирования как непрерывной с передаточной функцией идеализированного регулятора являются наименее точными. Рассчитав параметры K_p, T_u и T_d непрерывного регулятора, следует затем по формулам найти параметры цифрового регулятора.

Когда объект регулирования является объектом первого порядка с запаздыванием, т.е.

$$W_{об}(s) = \frac{K_0}{T_0 s + 1} \cdot e^{-\tau_0 s},$$

то даже при сравнительно больших значениях $T \approx (1/15 \div 1/4)t_p$ можно вести расчет системы прямого цифрового регулирования как непрерывной с идеализированным непрерывным регулятором, если увеличить запаздывание на половину такта квантования, т.е. приняв

$$\tau_3 = \tau_0 + 0,5T.$$

Если в прямом цифровом регулировании применен исполнительный механизм постоянной скорости, то выходной аналоговый сигнал цифрового регулятора преобразуется в последовательность импульсов с широтно-импульсной модуляцией, управляющих этим исполнительным механизмом. Ввиду того, что исполнительный механизм является интегрирующим звеном, для построения ПИД-регулятора в этом случае непрерывная модель должна иметь ПДД² закон:

$$W_{ЦВУ}(s) = K_{\Pi} \frac{T_m}{T_u} \left(1 + T_u s + \frac{K_D T_u^2 s^2}{(\alpha K_D T_u s + 1)^2} \right),$$

где T_m — время полного перемещения исполнительного механизма, $\alpha \ll 1$ — постоянный коэффициент (для цифрового регулятора типа Ремиконт $\alpha = 0,125$).

В результате общая передаточная функция идеализированной непрерывной модели цифрового регулятора при $W_{им}(s) = (T_m s)^{-1}$:

$$W_{РН}(s) = W_{ЦВУ}(s)W_{им}(s) = K_{\Pi} \left(1 + \frac{1}{T_u s} + \frac{K_D T_u s}{(\alpha K_D T_u s + 1)^2} \right),$$

т.е. соответствует ПИД-регулятору с инерционным дифференцированием.

Синтез цифрового регулятора в пространстве состояний может выполняться для различных режимов работы системы (Р. Изерман):

- * для свободного движения;
- для отработки задающего и (или) возмущающего воздействий.

Рассмотрим в общих чертах синтез для свободного движения. Пусть задано разностное векторно-матричное уравнение ОР

$$x[i] = Ax[i - 1] + Bu[i - 1].$$

В качестве критерия оптимальности выбран для минимизации обобщенный квадратичный критерий

$$J = x^T[N]Qx[N] + \sum_{i=0}^{N-1} \{x^T[i]Qx[i] + u^T[i]Ru[i]\}.$$

Первое слагаемое характеризует функцию от конечного состояния в момент $t_p = NT$, N — общее число тактов квантования T в переходном процессе. Остальная сумма характеризует ошибку регулирования и энергетические затраты. В ней Q и R — симметричные матрицы положительно-определенных квадратичных форм.

Требуется найти оптимальный алгоритм управления $u^0[i]$.

Для синтеза используем метод динамического программирования для дискретно-непрерывной задачи. Рассматриваем постепенно увеличивающиеся по продолжительности конечные отрезки оптимального процесса и минимизируем на каждом из них свою часть критерия оптимальности.

На первом от конца отрезке $(N - 1)T \leq t \leq NT$ критерий оптимальности равен конечной сумме

$$J_{N-1} = x^T[N] \cdot Qx[N] + x^T[N-1] \cdot Qx[N-1] + \\ + u^T[N-1] \cdot Ru[N-1].$$

Для минимизации выразим конечное состояние ОР в соответствии с уравнением объекта:

$$x[N] = Ax[N-1] + Bu[N-1],$$

$$x^T[N] = x^T[N-1]A^T + u^T[N-1]B^T.$$

Подставив эти выражения, получим преобразованное выражение суммы, которое надо минимизировать по $u[N-1]$:

$$\begin{aligned} J_{N-1} = & x^T[N-1]A^T Qx[N-1] + x^T[N-1]Qx[N-1] + \\ & + u^T[N-1]B^T QAx[N-1] + x^T[N-1]A^T QBu[N-1] + \\ & + u^T[N-1][B^T QB + R]u[N-1]. \end{aligned}$$

Первые два слагаемых не зависят от $u[N-1]$, поэтому при минимизации их можно отбросить. Третье и четвертое слагаемые являются транспонированными скалярными величинами (т.е. равны между собой). Поэтому можно считать

$$\begin{aligned} J_{N-1} = & 2x^T[N-1]A^T \cdot QBu[N-1] + \\ & + u^T[N-1](B^T QB + R)u[N-1]. \end{aligned}$$

Это выражение необходимо продифференцировать по $u[N-1]$ и производную приравнять нулю. Сложность в том, что надо дифференцировать по векторному аргументу. Для этого применяются формулы

$$\frac{d(Vu)}{du} = V^T, \quad \frac{d(u^T Cu)}{du} = 2Cu,$$

где V и C — матрицы, и — вектор. В результате приходим к уравнению

$$B^T QAx[N-1] + [B^T QB + R]u[N-1] = 0.$$

Отсюда оптимальное управление на данном конечном отрезке

$$u^0[N-1] = -K[N-1]x[N-1],$$

где $K[N-1] = (B^T QB + R)^{-1} B^T QA$ — матрица коэффициентов

пропорциональности между векторами состояния и управления на последнем шаге.

Затем аналогичные расчеты повторяют для все более возрастающих конечных отрезков и получают нестационарный пропорциональный закон оптимального управления

$$u^0[i] = -K[i]x[i], \quad i = \overline{0, (N-1)}.$$

Такому результату соответствует следующая структурная схема оптимальной системы ПЦР (рис. 3.15). Зависимость $K[i]$ объясняется погрешностью дискретизации уравнений ОР,

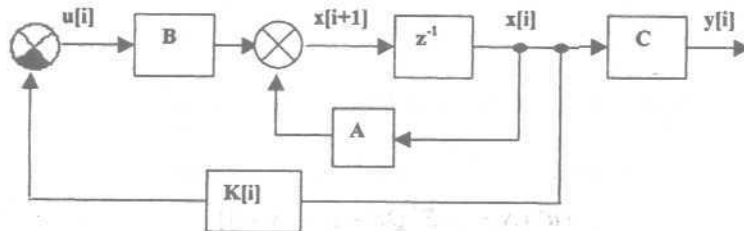


Рис.3.15

Если частота квантования достаточно велика ($T \rightarrow 0$, $N \rightarrow \infty$), то матрица коэффициентов оптимального цифрового регулятора $K^0 = \lim_{N \rightarrow \infty} K[i], i = \overline{0, (N-1)}$ имеет постоянные элементы.

В этом случае данная система описывается уравнением

$$x[i + 1] = Ax[i] - BK^0x[i]$$

Такому разностному уравнению соответствует характеристическое, получаемое приравнением определителя к нулю:

$$\det[zI - A + BK^0] = 0.$$

Оно удовлетворяет условиям устойчивости, если ОР полностью управляем.

Квантование по уровню делает цифровую систему нелинейной импульсной. В частности, если цифровой регулятор пропорциональный, то структурная схема цифровой САР будет такой, как на рис. 3.16.

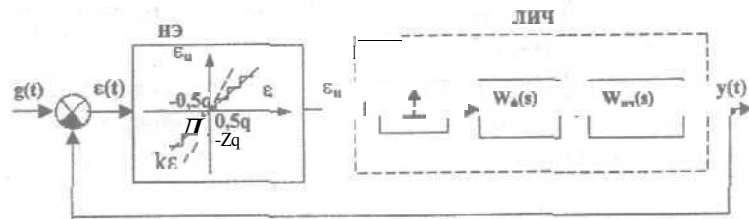


Рис. 3.16

Многопозиционный РЭ отражает процедуру квантования по уровню с использованием принципа «до ближайшего уровня». Эту операцию выполняет АЦП (q — шаг квантования). Линейная импульсная часть включает в себя идеальный импульсный элемент, формирующий элемент и непрерывную часть. Для данной системы производят следующие расчеты:

- анализ устойчивости,
- анализ возможных периодических колебаний,
- оценка дополнительной погрешности при цифровом измерении рассогласования.

Анализ устойчивости выполняют по критерию ЯЗ. Цыпкина, который является аналогом критерия В.М. Попова для нелинейной импульсной САР и выражает следующее достаточное условие устойчивости состояния равновесия:

$$\operatorname{Re}\{W_{лич}(e^{j\nu})\} > -\frac{1}{K},$$

$$0 \leq \nu \leq \pi$$

где $W_{лич}(e^{j\nu})$ — АФХ линейной импульсной части, которая получается из передаточной функции

$$W_{лич}(z) = \mathbf{Z}\{W_{\phi}(s)W_{нч}(s)\};$$

K — угловой коэффициент прямой, ограничивающей сектор расположения характеристики нелинейного элемента. Для данной характеристики $K=2$.

Графическая проверка этого условия требует построения АФХ и проведения вертикальной прямой через точку $-PK$. Устойчивость имеет место, если АФХ целиком расположена правее вертикальной прямой (рис. 3.17).

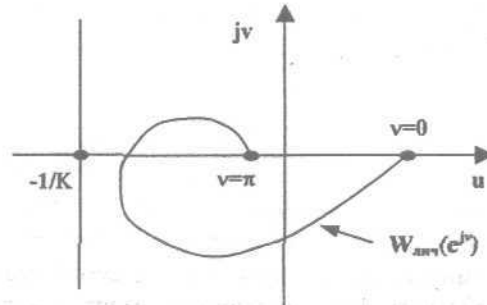


Рис. 3.17

Расчет периодических режимов проводится по методу гармонической линеаризации и связан с решением уравнения

$$1 + W_{\text{лич}}(e^{jv}) \cdot W_{\text{НЭ}}(A, \varphi, N) = 0.$$

Комплексный коэффициент линеаризации $W_{\text{НЭ}}$ зависит от амплитуды A входных колебаний ϵ , их начальной фазы φ , а также числа N тактов квантования T в периоде колебаний. Соответствующие функции $W_{\text{НЭ}}$ приводятся в справочниках.

Данное уравнение решается графически следующим образом. На комплексной плоскости строится семейство характеристик НЭ для нескольких значений N . Каждому значению N соответствует несколько характеристик для разных значений φ в диапазоне от 0 до π , а каждая характеристика семейства имеет своим параметром A .

Затем в тех же координатах строим обратную АФХ линейной импульсной части $-W_{лич}^{-1}(e^{j\nu})$ в соответствии с преобразованным уравнением

$$W_{нэ}(A, \varphi, N) = -\frac{1}{W_{лич}(e^{j\nu})}.$$

1. Для графического решения уравнения определяем только те точки пересечения характеристик, для которых значения частоты ν соответствуют числу тактов N в периоде по формуле

$$\nu = \omega T = \frac{2\pi}{NT} T = \frac{2\pi}{N}.$$

По этим точкам находим значения A и φ (возможны несколько решений и ни одного), которые определяют периодический режим, обусловленный квантованием как по времени, так и по уровню и не являющийся автоколебаниями. Эти колебания нежелательны, так как увеличивают ошибку регулирования.

Для оценки дополнительной погрешности от цифрового измерения сигнала рассогласования запишем выражение для него в цифровой форме:

$$\varepsilon_c(t) = \varepsilon(t) + \Delta\varepsilon(t),$$

где $\varepsilon(t)$ — непрерывное (истинное) рассогласование.

Дополнительную погрешность $\Delta\varepsilon(t)$ (рис.3.18) можно рассматривать как случайную величину с диапазоном изменения $\pm 0,5q$ и плотностью распределения вероятности $f = q^{-1} = const$ (рис. 3.19). Средний квадрат $\Delta\varepsilon(t)$ является искомой мерой дополнительной погрешности от цифрового измерения рассогласования:

$$\overline{\Delta\varepsilon^2} = \int_{-0,5q}^{0,5q} (\Delta\varepsilon)^2 \cdot \frac{1}{q} d(\Delta\varepsilon) = \frac{q^2}{12}.$$

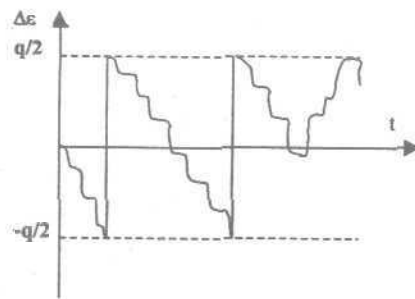


Рис. 3.18

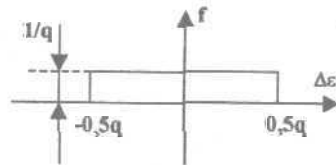


Рис. 3.19

Рассмотрим вкратце некоторые аспекты синтеза оптимальных и адаптивных САУ. Если технические требования соответствуют постановке задачи оптимального управления, то прежде всего следует принять ограничения и сформулировать критерий оптимальности, например, критерии максимального быстродействия или обобщенный квадратичный критерий. Затем следует учесть, что указанные критерии для линейного объекта могут быть минимизированы релейным **двухпозиционным** и **пропорциональным** многомерным регулятором соответственно. Для расчета релейного регулятора применяется метод фазовой плоскости, а для **пропорционального** — методы вариационного исчисления с использованием стандартных пакетов прикладных программ, например **MATLAB**. Если оптимальное управление дискретно по времени, то для синтеза применяется метод динамического программирования. Оценки переменных состояния в оптимальных САУ и при модальном управлении определяются с помощью наблюдающих устройств.

Структурно-параметрический синтез беспоисковых адаптивных систем можно осуществлять с помощью прямого метода Ляпунова, метода функций **чувствительности** и др.

Для синтеза поисковых адаптивных систем можно применять метод **припасовывания** в фазовом пространстве и во временной области, метод аппроксимации решения уравнения динамики поисковой адаптивной системы в виде ряда Фурье (метод **Галеркина**) и др. Для синтеза **шаговых** поисковых систем **используются** методы расчета импульсных систем, а для расчета систем с синхронным детектированием в квазистационарном режиме — методы синтеза непрерывных систем с принципом управления по отклонению.

3.3.1.5 Математическое моделирование и структурно-параметрический синтез систем автоматического управления и регулирования с распределенными параметрами

Ввиду значительной специфики методов математического описания, построения и расчета систем автоматического управления объектами с распределенными параметрами (ОРП) и недостаточным их освещением в учебной литературе в настоящем разделе отдельно рассматриваются эти вопросы в конспективном изложении применительно к типовому содержанию расчетного раздела специальной части **дипломного** проекта.

3.3.1.5.1 Общая характеристика задач управления системами с распределенными параметрами [6, 9, 13, 21, 26]

Поскольку на практике любой технический объект управления имеет вполне определенные геометрические размеры, то функция, характеризующая его состояние, вообще говоря, изменяется в пределах пространственной области, занимаемой объектом, и, следовательно, зависит не **только** от времени t , но и от вектора x пространственных координат, являясь функцией $Q(x, t)$ по меньшей мере двух аргументов (если x — скалярная переменная).

Подобные системы, состояние которых описывается **фун-**

кциями нескольких аргументов, зависящими как от времени, так и от пространственных координат, получили название *систем с распределенными параметрами* (СРП), или, короче, *распределенных систем*.

Задачи управления СРП оказываются качественно более сложными по сравнению с системами с сосредоточенными параметрами (ССП) ввиду целого ряда принципиальных особенностей. Укажем некоторые из них:

1. Состояние СРП, определяемое функцией нескольких переменных, описывается соответственно дифференциальными уравнениями не в обыкновенных, а в частных производных (содержащими производные функции состояния как во времени, так и по пространственным координатам), интегральными уравнениями, а также «гибридными» системами уравнений различной природы, включая в качестве дополнительных соотношений и обыкновенные дифференциальные уравнения. Это обстоятельство приводит к математическим моделям СРП, качественно отличающимся от типичных представлений, используемых в ССП.

2. По сравнению с ССП принципиально расширяется класс управляющих воздействий, прежде всего за счет возможности включения в их число пространственно-временных управлений, описываемых подобно управляемому состоянию СРП, функциями нескольких аргументов — времени и пространственных координат.

3. Задача реализации систем управления объектами с распределенными параметрами резко усложняется по сравнению с ССП как за счет необходимости осуществления пространственно-распределенного контроля состояния объекта в целях наблюдения за результатами процесса управления и использования соответствующих сигналов обратных связей, так и за счет необходимости построения регуляторов с пространственно-распределенными управляющими воздействиями.

3.3.1.5.2 Базовые уравнения объектов с распределенными параметрами [6–9, 13, 16–18, 21, 22, 25, 26]

Типовое линейное дифференциальное уравнение второго порядка в частных производных, моделирующее поведе-

ние функции состояния $Q(x,t)$ пространственно одномерного объекта с распределенными параметрами, описывает в первом приближении широкий круг самых разнообразных физических явлений и может рассматриваться в качестве базовой модели ОРП достаточно общего вида.

После приведения к канонической форме записи, не содержащей смешанных производных, это уравнение может быть представлено в виде

$$A(x,t) \frac{\partial^2 Q}{\partial t^2} + A_1(x,t) \frac{\partial Q}{\partial t} = C(x,t) \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} + B_1(x,t) \frac{\partial Q}{\partial x} + C_1(x,t) Q + f(x,t, u(x,t)); \quad x_0 < x < x_1, \quad t > 0 \quad (1)$$

с заданными коэффициентами A, A_1, C, B_1, C_1 и функцией/

Для получения единственного решения уравнение (1) необходимо дополнить начальными условиями, которые здесь, подобно случаю описания ССП обыкновенными дифференциальными уравнениями, принимают вид

$$Q(x,0) = Q_0^{(0)}(x); \quad \frac{\partial Q(x,0)}{\partial t} = Q_0^{(1)}(x); \quad x_0 \leq x \leq x_1 \quad (2)$$

с заданными функциями $Q_0^{(0)}(x)$ и $Q_0^{(1)}(x)$.

Условие (2) необходимо, но не достаточно для выделения единственного решения уравнения (1), что является принципиальной особенностью СРП по сравнению с ССП.

Полная система дополнительных соотношений, как правило, должна содержать еще граничные условия для $Q(x,t)$, которые, характеризуя взаимодействие $Q(x,t)$ с внешней средой, должны выполняться для $t > 0$ в граничных точках $x = x_0$ и $x = x_1$ отрезка $[x_0, x_1]$ изменения пространственной переменной и задаются в типовой форме

$$\alpha(x_0,t) Q(x_0,t) + \beta(x_0,t) \frac{\partial Q(x_0,t)}{\partial x} = g_0(t, u_0(t)), \quad t > 0; \quad (3)$$

$$\alpha(x_1,t) Q(x_1,t) + \beta(x_1,t) \frac{\partial Q(x_1,t)}{\partial x} = g_1(t, u_1(t)), \quad t > 0. \quad (4)$$

Здесь a и β — заданные коэффициенты, а g_0 и g_1 — заданные функции своих аргументов.

Граничные условия (3), (4) называются *однородными* или *неоднородными*, если $g(t) = 0$ или $g(t) \neq 0$ соответственно.

Задача (1) — (4) при $a > 0$, $\beta = 0$; $\alpha = 0$, $\beta > 0$ и $\alpha > 0$, $\beta > 0$ называется соответственно *первой*, *второй* и *третьей (смешанной) краевой задачей*.

Как следует из (1) — (4), поведение управляемого выхода объекта, в качестве которого здесь рассматривается пространственно распределенная функция $Q(x, t)$, описывающая состояние ОРП, однозначно определяется при фиксированном начальном состоянии $Q_0(x) = (Q_0^{\dots}(x), Q_0^{\dots}(x))$ входными воздействиями u, g_0, g_1 . В свою очередь в роли этих входных воздействий могут фигурировать целиком или частично (например, в виде аддитивных слагаемых) соответствующие управления $u(x, t), u_0(t), u_1(t)$. Наряду с управляющими в роли входов объекта могут рассматриваться и *возмущающие воздействия*,

Управляющие воздействия $u(x, t)$, формально включаемые в уравнение объекта (1) в составе функции f (в частности, при $f(x, t, u(x, t)) \equiv u(x, t)$) и реализуемые обычно за счет внутренних источников энергии или вещества, можно назвать *внутренними управлениями*, а управляющие воздействия $u_0(t), u_1(t)$ в составе функций g_0, g_1 , фигурирующие в граничных условиях (3), (4) и характеризующие целенаправленное влияние на $Q(x, t)$, организуемое со стороны окружающей среды на границе пространственной области, занимаемой объектом, — *граничными управлениями (управлениями по граничным условиям)*.

Граничные управления $u_0(t), u_1(t)$ для одномерного объекта (1) — (4), сконцентрированные в точках x_0 и x_1 на границах отрезка $[x_0, x_1] \ni x$, представляют собой *сосредоточенные* воздействия, изменяющиеся только во времени t .

Внутренние управления $u(x, t)$ в любом случае могут представлять собой как независимые от пространственных координат управления, которые мы опять будем называть *сосредоточенными*, так и *пространственно-временные* воздей-

ствий, в зависимости от постановки конкретной задачи. С точки зрения физического содержания, инженерной интерпретации и практической реализации внутренние и граничные управления обычно существенно отличаются друг от друга.

Примеры [6, 16, 17, 21, 25, 26].

Рассмотрим некоторые характерные частные случаи. При $A = 1$; $C = v^2$; $A_1 = B_1 = C_1 = 0$; $f(x, t, u(x, t)) = 0$ получаемое из (1) уравнение

$$\frac{\partial^2 Q}{\partial t^2} = v^2 \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2}; \quad v^2 = \text{const} > 0, \quad x \in (x_0, x_1), t > 0, \quad (5)$$

называемое *волновым уравнением*, моделирует процессы распространения свободных колебаний, например, процессы распространения со скоростью звука в пульсаций расхода газа в длинном трубопроводе.

Распределение напряжения и тока вдоль длинной электрической линии описывается *телеграфным уравнением*

$$\frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 Q}{\partial t^2} + b_1 \frac{\partial Q}{\partial t} + b_2 Q; \quad (6)$$

$$b_1, b_2 = \text{const} > 0, \quad x \in (x_0, x_1), t > 0,$$

где в данном случае v является скоростью распространения электромагнитной волны вдоль линии.

В частном случае для длинных электрических линий без потерь при $b_1 = b_2 = 0$ уравнение (6) сводится к волновому уравнению (5). При $b_2 = 0$, $b_1 \neq 0$ уравнение (6) моделирует процессы механических колебаний в сопротивляющейся среде.

Уравнением теплопроводности математической физики

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = a \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} + f(x, t, u(x, t)); \quad (7)$$

$$a = \text{const} > 0, \quad x \in (x_0, x_1), t > 0$$

описываются, например, в первом приближении температурные поля процессов *нестационарной теплопроводности*, *неста-*

ционарные электромагнитные поля, поля концентраций в процессах нестационарной диффузии, тепломассопереноса и др.

В частном случае $A = C = 0$ в (1) мы получаем уравнение первого порядка, в первом приближении описывающее (одним или системой таких уравнений) поведение целого класса подвижных ОРП, к которым можно отнести процессы нагрева металла в агрегатах непрерывного действия, теплообменные процессы в движущихся средах, процессы передачи жидкостей и газа по длинным трубопроводам, тепломассообменные процессы в химических реакторах, распространение электромагнитных волн в длинных электрических линиях и т.п.

В простейшем случае это уравнение принимает вид

$$b \frac{\partial Q(x,t)}{\partial t} + bV \frac{\partial Q(x,t)}{\partial x} + Q(x,t) = Q_{\Pi}(x,t);$$
$$b = \text{const}, \quad 0 < x < l, \quad t > 0, \quad (8)$$

где Q_{Π} — внешнее воздействие на объект, V — скорость перемещения объекта.

3.3.1.5.3 Стандартные формы, стандартизирующие функции, функции Грина и вход-выходные соотношения ОРП [7, 8, 13, 18, 21, 26]

Описание ОРП в общей форме краевой задачи (1) – (4) порождает множество различных возможных вариантов ее постановок для различных начальных состояний и воздействий $g(x,t)$ по граничным условиям в (3) и (4). Оказывается, что можно подобрать такую функцию $w(x,t)$ вместо $f(x,t)$ в (1), которая «компенсирует» эффект влияния на выходную величину ненулевых начальных и неоднородных граничных условий, обеспечивая равенство решений $Q(x,t)$ исходной системы (1) – (4) и задачи с нулевыми начальными и однородными граничными условиями. Такая задача называется при этом *стандартной формой* задачи (1) – (4), а функция $w(x,t)$ — *стандартизирующей функцией* этой задачи.

Ограничимся далее типовым случаем описания ОРП линейной одномерной моделью (1) – (4) с постоянными коэффициентами L , A_1 , $\alpha(x_0, t) = \alpha_0$; $\beta(x_0, t) = \beta_0$; $\alpha_1(x_1, t) = \alpha_1$; $\beta_1(x_1, t) = A$ и не зависящими от времени коэффициентами C , B_1 и C_1 (стационарный ОРП).

Соответствующая стандартная форма выглядит следующим образом:

$$A \frac{\partial^2 Q}{\partial t^2} + A_1 \frac{\partial Q}{\partial t} = C(x) \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} + B_1 \frac{\partial Q}{\partial x} + C_1(x)Q + w(x, t);$$

$$x_0 < x < x_1, \quad t > 0;$$

$$Q(x, 0) = 0; \quad \frac{\partial Q(x, 0)}{\partial t} = 0; \quad x_0 \leq x \leq x_1; \quad (9)$$

$$\alpha_0 Q(x_0, t) + \beta_0 \frac{\partial Q(x_0, t)}{\partial x} = 0;$$

$$\alpha_1 Q(x_1, t) + \beta_1 \frac{\partial Q(x_1, t)}{\partial x} = 0.$$

Ее решение принимает предельно простой вид:

$$Q(x, t) = \int_0^t \int_{x_0}^{x_1} G(x, \xi, t - \tau) w(\xi, \tau) d\xi d\tau. \quad (10)$$

Здесь $G(x, \xi, t - \tau)$ — функция Грина рассматриваемой системы с распределенными параметрами, которая в соответствии с выражением (10) с исчерпывающей полнотой описывает собственные свойства ОРП, не зависящие от характера входных воздействий, и является его основной фундаментальной характеристикой.

Функция Грина $G(x, \xi_0, t - \tau_0)$ описывает реакцию управляемой распределенной системы (9) с нулевыми начальными

и однородными граничными условиями в любой точке $x \in [x_0, x_1]$ и любой момент времени $t \geq 0$ на точечное импульсное воздействие $w(x, t)$ вида дельта-функции, приложенное в произвольной, но фиксированной точке $\xi_0 \in [x_0, x_1]$ в момент времени $t = \tau_0 > 0$.

В общем вход-выходном соотношении (10) функция Грина $G(x, \xi, t - \tau)$ представляет собой реакцию объекта в точке x в момент времени t при нулевых начальных и однородных граничных условиях на импульсное воздействие, приложенное в каждой точке $\xi \in [x_0, x_1]$ в каждый момент времени $\tau \in [0, t]$ и может быть найдена известными методами [7, 8, 16, 18, 26].

Аргументы ξ и τ функции $G(x, \xi, t - \tau)$ естественно называть *входными аргументами*, или *аргументами входа*, а аргументы x и t — соответственно *выходными аргументами*, или *аргументами выхода*.

В зависимости от заданных коэффициентов и функций f , $Q_0^{(0)}(x)$, $Q_0^{(1)}(x)$, g_0 , g_1 в O - (4) стандартизирующая функция $w(\xi, \tau)$ в (10) определяется выражением

$$w(\xi, \tau) = (A_1 \delta(\tau) + A \delta'(\tau)) Q_0^{(0)}(\xi) + A \delta(\tau) Q_0^{(1)}(\xi) + (w_1(\xi, \tau) - w_0(\xi, \tau)) + f(\xi, \tau, u(\xi, \tau)), \quad (11)$$

где функции $w_1(\xi, \tau)$, $w_0(\xi, \tau)$ находятся по формулам

$$w_i(\xi, \tau) = \frac{C(\xi)}{\beta_i} \delta(\xi - x_i) g_i(\tau, u_i(\tau)), \quad i = 0, 1, \quad (12)$$

если $\beta_i > 0$, или

$$w_i(\xi, \tau) = \frac{1}{\alpha_i} [B_i(\xi) \delta(\xi - x_i) + C(\xi) \delta'(\xi - x_i)] g_i(\tau, u_i(\tau)), \quad i = 0, 1, \quad \text{если } \beta_i = 0. \quad (13)$$

В (11)–(13) $\delta(\tau)$, $\delta'(\tau)$ и $\delta(\xi - x_i)$, $\delta'(\xi - x_i)$ — соответ-

ственно временные и пространственные дельта-функции и их производные, сосредоточенные в точках $\tau = 0$ и $\xi = x_i$.

Пример [21].

Рассмотрим в качестве ОРП процесс нагрева неподвижного массивного тела, описываемый в первом приближении уравнением теплопроводности вида (7):

$$\frac{\partial \theta(x,t)}{\partial t} = a \frac{\partial^2 \theta(x,t)}{\partial x^2} + \frac{1}{c\gamma} F(x,t); \quad (14)$$
$$0 < x < R, \quad t > 0$$

с начальными и граничными условиями

$$\theta(x,0) = \theta_0(x); \quad 0 \leq x \leq R; \quad (15)$$

$$\lambda \frac{\partial \theta(R,t)}{\partial x} = q(t); \quad t > 0; \quad (16)$$

$$\frac{\partial \theta(0,t)}{\partial x} = 0; \quad t > 0. \quad (17)$$

Здесь $a = \frac{\lambda}{c\gamma} = const$ — коэффициент температуропроводности; c, γ, λ ~ теплофизические параметры нагреваемого материала, соответственно удельная **теплоемкость**, плотность и коэффициент теплопроводности.

В качестве выхода объекта фигурирует нестационарное температурное поле $\theta(x,t)$, а в роли внешних входных воздействий выступают удельная **мощность** внутреннего тепловыделения $F(x,t)$, плотность теплового потока $q(t)$ на поверхности $x = R$ нагреваемого тела и начальное **распределение** температур $\theta_0(x)$. Каждое из этих воздействий может рассматриваться в качестве управления (соответственно внутреннего или граничного) или неуправляемого внешнего фактора (возмущения).

Функция Грина задачи (14) - (17) может быть получена в

характерной форме разложения в бесконечный ряд [7, 8, 13, 21]:

$$G(x, \xi, t - \tau) = \frac{1}{R} \left\{ 1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \cos\left(\frac{\pi n x}{R}\right) \cos\left(\frac{\pi n \xi}{R}\right) \times \right. \\ \left. \times \exp\left[-\frac{a\pi^2 n^2}{R^2} (t - \tau)\right] \right\}. \quad (18)$$

В условиях

$$A = B_1 = C_1 = 0; \quad \alpha_0 = \alpha_1 = 0; \quad A_1 = 1; \quad C = a; \quad \beta_0 = \beta_1 = \lambda;$$

$$x_0 = 0; \quad x_1 = R; \quad g_0(\tau, u_0(\tau)) = 0; \quad g_1(\tau, u_1(\tau)) = q(\tau);$$

$$f(\xi, \tau, u(\xi, \tau)) = \frac{1}{c\gamma} F(\xi, \tau)$$

в (1), (9) стандартизирующая функция (11) принимает следующий вид:

$$w(\xi, \tau) = \theta_0(\xi)\delta(\tau) + \frac{1}{c\gamma} q(\tau)\delta(\xi - R) + \frac{1}{c\gamma} F(\xi, \tau). \quad (19)$$

Типовые распределенные блоки [7, 8, 13, 21]

Типовой объекту управления с распределенными параметрами, описываемый линейными уравнениями (9), с входным воздействием $w(x, t)$ и выходом $Q(x, t)$, можно рассматривать в качестве частного варианта *скалярного распределенного блока*, под которым понимается устройство любой природы с выделенными в его структуре входным и выходным скалярными распределенными сигналами.

В практических задачах чаще всего приходится иметь дело с различными характерными частными случаями представления стандартизирующих функций (11) – (13) при изучении свойств распределенных блоков относительно каждого

в отдельности из типичных реализуемых внешних воздействий на объект.

Один из наиболее распространенных на практике вариантов такого представления в (9), (10) сводится к виду

$$w(\xi, \tau) = \varphi(\xi)v(\tau) \quad (20)$$

с сосредоточенными внешними воздействиями $v(\tau)$ и фиксированными законами $\varphi(\xi)$ пространственного распределения входного сигнала.

Подстановка равенства (20) в (10) приводит к следующему соотношению, связывающему выход объекта с управлением $v(\tau)$:

$$Q(x, t) = \int_0^t S(x, t - \tau)v(\tau)d\tau = S(x, t) * v(t), \text{ где} \quad (21)$$

$$S(x, t - \tau) = \int_{x_0}^{x_1} G(x, \xi, t - \tau)\varphi(\xi) d\xi = G(x, \xi, t - \tau) \otimes \varphi(\xi), \quad (22)$$

и символами * и \otimes обозначены соответственно операция *свертки* по временной переменной (интегрирования по времени произведения $S(x, t - \tau)v(\tau)$) и операция (22) пространственного интегрирования произведения $G(x, \xi, t - \tau)\varphi(\xi)$, называемая *пространственной композицией*.

Выражение (21) для оценки реакции объекта в каждой фиксированной точке x отрезка $[x_0, x_1]$ по существу ничем не отличается от соотношения между входом $w(t)$ и выходом $Q(t)$ линейной сосредоточенной системы с соответствующей импульсной переходной функцией (функцией Грина) $G(t)$.

Вся специфика пространственной *распределенности* сказывается здесь только в выражениях для функций Грина в (22), зависящих от пространственной координаты как от параметра. *Распределенные* блоки вида (21) с сосредоточенным входом и распределенным выходом называются *переходными x-блоками*.

К типовым **распределенным** блокам можно отнести также «обратный» вариант с распределенным входным воздействием $w(\xi, \tau)$ и сосредоточенным скалярным или векторным выходом, в качестве которого часто рассматриваются значения функции состояния $Q(x_k^{**}, t)$ в одной x_1^{**} или в нескольких фиксированных точках $x_k^{**} \in [x_0, x_1]$, $k = 1, m$.

Подобный блок, описываемый в рассматриваемом случае по-прежнему для задачи (9) основным соотношением (10), но для фиксированных значений $x = x_k^{**}$, называется **переходным ξ -блоком**.

На практике очень часто встречаются распределенные блоки с сосредоточенными входами и выходами, моделирующие поведение функции состояния объекта $Q(x_k^{**}, t)$ в фиксированных точках $x \in [x_0, x_1]$, $k = 1, m$, при сосредоточенном управлении $v(\tau)$ в (20).

Будем называть такие блоки **$x\xi$ -блоками**, поскольку они обладают свойствами как x , так и ξ -блоков по сосредоточенному характеру сигналов соответственно на входе и на выходе блока. Указанные свойства, как известно, характеризуют объекты с сосредоточенными параметрами, однако $x\xi$ -блок принципиально отличается от них видом своей функции Грина.

Пример [21].

Объект (14) - (17) с функцией Грина (18) при сосредоточенном граничном управлении $q(t)$ в условиях $\theta_0(x) = 0$, $F(x, t) = 0$, когда стандартизирующая функция (19) принимает вид (20):

$$w(\xi, \tau) = \frac{1}{c\gamma} \delta(\xi - R)q(\tau), \quad (23)$$

представляет собой согласно (21) — (23) x -блок:

$$\theta(x, t) = \frac{1}{c\gamma} \int_0^t G(x, R, t - \tau)q(\tau)d\tau. \quad (24)$$

Другие примеры и анализ свойств **ТИПОВЫХ x -БЛОКОВ** приведены в [21].

3.3.1.5.4 Передаточные функции ОРП [7, 8, 13, 21]

Обычные правила применения преобразования Лапласа для функций состояния $Q(t)$ сосредоточенных систем полностью переносятся на распределенные функции состояния $Q(x, t)$, где в этом случае пространственная **переменная x** просто выступает в роли «постороннего» параметра.

Известное правило операционного **исчисления**, согласно которому изображение L_t по переменной t свертки функций равно произведению изображений этих функций, приводит основное вход-выходное соотношение (10) к виду следующей **пространственной композиции**:

$$\bar{Q}(x, p) = \int_{x_0}^{x_1} \bar{G}(x, \xi, p) \bar{w}(\xi, p) d\xi = \bar{G}(x, \xi, p) \otimes \bar{w}(\xi, p), \quad (25)$$

где $\bar{Q}(x, p)$, $\bar{G}(x, \xi, p)$ и $\bar{w}(\xi, p)$ — соответственно изображения выхода объекта $Q(x, t)$, функции Грина $G(x, \xi, t)$ и стандартизирующей функции $w(\xi, \tau)$, p — комплексная переменная преобразования Лапласа.

По аналогии с сосредоточенной системой изображение функции Грина называется **передаточной функцией $W(x, \xi, p)$ объекта с распределенными параметрами** (распределенного блока) (9):

$$W(x, \xi, p) = \bar{G}(x, \xi, p). \quad (26)$$

Указанная аналогия по существу заключается здесь лишь в том, что передаточная функция как для сосредоточенной, так и для распределенной системы является изображением ее импульсной переходной функции.

В то же время принципиальная специфика распределенной системы заключается в том, что вместо обычного произ-

ведения передаточной функции и изображения входа *здесь используется операция пространственной композиции* (25) для получения изображения функции состояния объекта.

Лишь изображение выходной величины $\tilde{Q}(x, p)$ x -блока представляется согласно соотношениям (21), (22) для каждого фиксированного значения пространственной координат x обычным произведением

$$\tilde{Q}(x, p) = W_x(x, p)\tilde{v}(p) \quad (27)$$

передаточной функции и изображения входного воздействия, подобно сосредоточенным системам, если ввести здесь определение $W_x(x, p)$ передаточной функции x -блока согласно соотношению

$$\begin{aligned} W_x(x, p) &= \tilde{S}(x, p) = \int_{x_0}^{x_1} \tilde{G}(x, \xi, p)\varphi(\xi)d\xi = \\ &= \int_{x_0}^{x_1} W(x, \xi, p)\varphi(\xi)d\xi. \end{aligned} \quad (28)$$

Следовательно, вся специфика по сравнению с сосредоточенными системами в данном частном случае сводится лишь к самим выражениям для $W_x(x, p)$, которые не зависят от пространственной переменной входа и должны учитывать параметрическую зависимость от выходного пространственного аргумента.

Выражения для передаточных функций большого числа типовых распределенных блоков приведены в [7, 8, 18].

3.3.1.5.5 Соединения распределенных блоков [7, 8, 13, 21]

Способы получения передаточных функций различных соединений распределенных блоков отличаются значительной спецификой по сравнению с сосредоточенными системами.

Лишь иа $x\xi$ -блоки полностью распространяются все соответствующие правила, установленные для ССП.

Параллельное и последовательное соединение распределенных блоков

Передаточная функция $W(x, \xi, p)$ параллельно соединенных распределенных блоков по аналогии с подобной операцией в стационарных системах с сосредоточенными параметрами определяется в виде суммы их передаточных функций.

Передаточная функция $W(x, \xi, p)$ последовательного соединения двух распределенных блоков определяется в форме пространственной композиции передаточных функций $W_1(x, \xi, p)$ и $W_2(x, \xi, p)$ составляющих блоков, взятых в порядке, обратном по отношению к порядку их следования в схеме данного соединения:

$$\begin{aligned} W(x, \xi, p) &= \int_{x_0}^{x_1} W_2(x, \eta, p) W_1(\eta, \xi, p) d\eta = \\ &= W_2(x, \eta, p) \otimes W_1(\eta, \xi, p). \end{aligned} \quad (29)$$

Это означает адекватную некоммутативность последовательного соединения, в котором нельзя менять местами соединяемые блоки.

Данные выводы легко распространяются на любое число последовательно соединяемых блоков.

Переходные блоки для последовательного соединения распределенных и сосредоточенных звеньев

При описании взаимодействия ОРП с сосредоточенным регулятором должны быть использованы специальные переходные блоки, согласующие входные и выходные сигналы объекта и регулятора различной пространственной размерности.

Такие блоки, во-первых, моделируют на своем выходе сигнал с датчика обратной связи, помещенного в точке $x = a \in [x_0, x_1]$, при подаче на их вход распределенной функ-

* — означает отличие от ранее принятых обозначений.

пии состояния объекта $Q(x,t)$ (ξ -блок) и, во-вторых, описывают управляющее воздействие на ОРП в фиксированной точке $x=b^* \in [x_0, x_1]$, формируемое по выходному сигналу сосредоточенного регулятора (x -блок) (рис. 3.20).

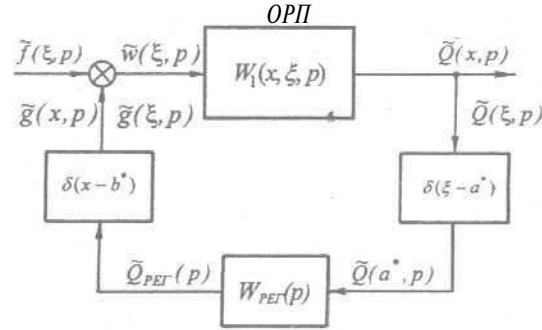


Рис. 3.20. Структурная схема замкнутой системы управления ОРП с сосредоточенным регулятором

В первом случае входной распределенный сигнал $\tilde{Q}(x, p)$ ξ -блока преобразуется в сосредоточенный $\tilde{Q}(a^*, p)$ на его выходе, и тогда его передаточная функция $W_\xi(\xi, p)$ описывается с помощью пространственной δ -функции, сосредоточенной в точке $\xi = a^*$ [7, 13, 21]:

$$W_\xi(\xi, p) = \delta(\xi - a^*). \quad (30)$$

Во втором случае входной сигнал $\tilde{Q}_{REG}(p)$ с выхода сосредоточенного регулятора преобразуется в выходной сигнал $\tilde{g}(x, p)$, формируемый в заданной точке $x = b^*$ в некотором x -блоке с передаточной функцией $W_x(x, p)$, которая может быть представлена в виде

$$W_x(x, p) = \psi_1(x)\delta(x - b^*) + \psi_2(x)\delta'(x - b^*) \quad (31)$$

с известными коэффициентами ψ_1 и ψ_2 , определяемыми выражениями (11) – (13) для стандартизирующей функции. Распространенный вариант $\psi_1 = 1, \psi_2 = 0$ показан на рис. 3.20.

Переходные ξ - и x -блоки вида (30), (31) по определению являются статическими, так как их передаточные функции не зависят от переменной p .

Распределенные блоки, охваченные обратной связью

Задача определения передаточной функции $W(x, \xi, p)$ распределенного блока $W_1(x, \xi, p)$ охваченного обратной связью $W_2(x, \xi, p)$, оказывается в общем случае очень сложной и сводится к решению интегрального уравнения Фредгольма второго рода, которое, вообще говоря, не может быть получено в явном виде [7, 13, 18, 21].

Однако в целом ряде частных, но практически важных случаев данное интегральное уравнение сводится к алгебраическому. Это относится прежде всего к распространенной на практике ситуации, при которой блок обратной связи является вырожденным, т.е. его передаточная функция представляется в виде произведения функций, каждая из которых зависит только от одного из пространственных аргументов входа или выхода.

Пусть, в частности, этот блок состоит из последовательно соединенных сосредоточенного регулирующего устройства с передаточной функцией $W_{PEF}(p)$ и переходных ξ - и x -блоков (30), (31), моделирующих измерение функции состояния в точке $x = a^*$ и подачу управляющего воздействия в точке $x = b^*$ в частном случае $\psi_1 = 1, \psi_2 = 0$ в (31) (рис. 3.20). В таком случае будем иметь вырожденный блок обратной связи:

$$W_2(x, \xi, p) = \delta(x - b^*) W_{PEF}(p) \delta(\xi - a^*), \quad (32)$$

что позволяет получить формулу для вычисления $W(x, \xi, p)$ [4, 10, 18):

$$W(x, \xi, p) = W_1(x, \xi, p) + \frac{W_{PEF}(p) W_1(x, b^*, p) W_1(a^*, \xi, p)}{1 - W_{PEF}(p) W_1(a^*, b^*, p)}. \quad (33)$$

полностью совпадающую с соответствующим результатом для

сосредоточенной системы при $x = a^*$, $\xi = b^*$, т.е. для $x\xi$ -блока $W_1(a^*, b^*, p)$.

3.3.1.5.6 Точные методы фактического определения основных характеристик ОРП [6, 7, 13, 16-18, 21, 22]

В этих целях на практике широко используются различные виды интегральных преобразований функции состояния ОРП, главный смысл применения которых заключается в замене операций дифференцирования в исходных уравнениях объекта на соответствующие алгебраические операции.

Если при этом для исключения производных по времени используется, как и для ССП, преобразование Лапласа

$$\bar{Q}(x, p) = \int_0^{\infty} Q(x, t)e^{-pt} dt, \quad (34)$$

то в целях осуществления подобной операции с пространственными производными применяются конечные интегральные преобразования на ограниченном отрезке $[x_0, x_1]$ вида [6, 13, 16, 18, 21]:

$$\bar{Q}(\mu, t) = \int_{x_0}^{x_1} Q(x, t)\varphi(\mu, x)r(x)dx. \quad (35)$$

Здесь x — переменная преобразования (подобно t в (34)); $\varphi(\mu, x)$ — ядро преобразования (подобно e^{-pt} в (34)), $r(x)$ — весовая функция, отрезок $[x_0, x_1]$ — промежуток преобразования и μ — параметр преобразования (подобно комплексной переменной p в (34)), которые должны быть выбраны из основного условия исключения операций дифференцирования по x в исходных уравнениях объекта при переходе к изображениям.

Если в (34) x играет роль «постороннего» параметра, то в (35), наоборот, в таком качестве выступает время t .

В результате становится возможным, в зависимости от конкретного характера задачи и целей исследования, после-

при произвольных кусочно-непрерывных зависимостях $B_1(x) \neq 0$ и $C_1(x)$ в соответствии с известной формой представления общего решения уравнения первого порядка, будем иметь [21]

$$W(x, \xi, p) = -\frac{l(x-\xi)}{B_1(\xi)} \exp \left[-\int_{x_0}^x \frac{C_1(\eta) - Ap^2 - A_1p}{B_1(\eta)} d\eta + \int_{x_0}^{\xi} \frac{C_1(\eta) - Ap^2 - A_1p}{B_1(\eta)} d\eta \right], \quad (41)$$

где $l(x-\xi) = 1$ для всех $x > \xi$ в $l(x-\xi) = 0$, если $x < \xi$.

Для случая сосредоточенного граничного управления $u_1(\tau)$, в составе стандартизирующей функции вида (20) при $v(\tau) = u_1(\tau)$, передаточная функция соответствующего x -блока определяется на основании (28) и (39) следующими выражениями [21]:

$$W_x(x, p) = \frac{\tilde{Q}(x, p)}{\tilde{u}_1(p)} = -\frac{C(x_1)}{\beta_1 \sigma \Delta(p)} \varphi_1(p, x) \varphi_2(p, x_1) r(x_1). \quad (42)$$

если $\beta_1 > 0$, и

$$W_x(x, p) = \frac{\tilde{Q}(x, p)}{\tilde{u}_1(p)} = -\frac{1}{\alpha_1 \sigma \Delta(p)} \varphi_1(p, x) \times \\ \times [B_1(x_1) \varphi_2(p, x_1) r(x_1) - \varphi_2'(p, x_1) C(x_1) r(x_1) - \\ - \varphi_2(p, x_1) (C(x_1) r'(x_1) + C'(x_1) r(x_1))], \quad (43)$$

если $\beta_1 = 0$.

Аналогичный вид имеют передаточные функции по граничному управлению $u_0(\tau)$ [21].

При сосредоточенном внутреннем управлении $\tilde{v}(p) = \tilde{u}(p)$ с фиксированным характером $\varphi(\xi) = f_1(\xi)$ его

пространственного распределения выражение для $W_x(x, p)$ приобретает вид [21]

$$W_x(x, p) = -\frac{1}{\sigma\Delta(p)} \left[\varphi_2(p, x) \int_{x_0}^x \varphi_1(p, \xi) r(\xi) f_1(\xi) d\xi + \varphi_1(p, x) \int_x^{x_1} \varphi_2(p, \xi) r(\xi) f_1(\xi) d\xi \right]. \quad (44)$$

Как следует из (39) - (44), вид искоемых передаточных функций ОРП определяется в первую очередь решениями *дифференциального* уравнения (36) с краевыми условиями (37), (38), вследствие чего характер зависимости этих передаточных функций от комплексной *переменной* p резко усложняется по сравнению с сосредоточенными системами, для которых они представляются решениями простейших *алгебраических* уравнений и имеют поэтому элементарную дробно-рациональную структуру.

Тем не менее возможность определения точных выражений для передаточных функций в замкнутой форме является несомненным преимуществом метода преобразования Лапласа применительно к рассматриваемым объектам. Даже если эти выражения оказываются слишком сложными и «трудноанализируемыми» для непосредственного применения в целях моделирования систем управления с распределенными параметрами, они, в частности, могут быть использованы в качестве эталонов для оценки точности *приближения* в частотной области с помощью более простых и удобных *аппроксимаций*.

Примеры [7, 17, 21].

1. Для объекта (14) — (17), описываемого уравнением теплопроводности, передаточная функция (39) может быть получена в следующем виде:

$$W(x, \xi, p) = \begin{cases} \frac{1}{h_0(p)} h_1(p, \xi) h_2(p, x), & 0 \leq \xi \leq x; \\ \frac{1}{h_0(p)} h_1(p, x) h_2(p, \xi), & x \leq \xi \leq R, \text{ где} \end{cases} \quad (45)$$

$$\begin{aligned}
 h_0(p) &= a\sqrt{\frac{p}{a}} \operatorname{sh}\sqrt{\frac{p}{a}} R; \quad h_1(p, x) = ch\sqrt{\frac{p}{a}} x; \\
 h_2(p, x) &= ch\sqrt{\frac{p}{a}} (R - x).
 \end{aligned}
 \tag{46}$$

При сосредоточенном управлении $\tilde{u}_1(p) = \tilde{q}(p)$ по величине теплового потока на границе $x = R$ передаточная функция $W_x(x, p)$ соответствующего распределенного x -блока от этого входа к температурному распределению $\tilde{\theta}(x, p)$ на его выходе находится согласно (42) по значительно более простой формуле:

$$\begin{aligned}
 W_x(x, p) &= \frac{\tilde{\theta}(x, p)}{\tilde{q}(p)} = \frac{ch\sqrt{\frac{p}{a}} x}{\lambda\sqrt{\frac{p}{a}} \operatorname{sh}\sqrt{\frac{p}{a}} R} = \frac{ch\sqrt{T_x p}}{\sqrt{T_0 p} \operatorname{sh}\sqrt{T_R p}}, \\
 T_0 &= \frac{\lambda^2}{a}; \quad T_x = \frac{x^2}{a}; \quad T_R = \frac{R^2}{a}.
 \end{aligned}
 \tag{47}$$

Если в условиях третьей краевой задачи на границе $x = R$

$$\lambda \frac{\partial \theta(R, t)}{\partial x} + \alpha \theta(R, t) = \alpha \theta_{\Pi}(t)
 \tag{48}$$

в роли сосредоточенного управления $\tilde{u}_1(p) = \tilde{\theta}_{\Pi}(p)$ выступит температура печи $\tilde{\theta}_{\Pi}(p)$, в которой нагревается изделие, то передаточная функция (47) видоизменяется следующим образом:

$$W_x(x, p) = \frac{\tilde{\theta}(x, p)}{\tilde{\theta}_{\Pi}(p)} = \frac{ch\sqrt{T_x p}}{ch\sqrt{T_R p} + \frac{\lambda}{\alpha R} \sqrt{T_R p} \cdot \operatorname{sh}\sqrt{T_R p}}.
 \tag{49}$$

Выражения для передаточных функций ОРП часто существенно упрощаются в случаях, когда область изменения пространственной переменной можно считать полуограниченной, полагая, например, что $x_0 \leq x < x_1$, где $x_1 \rightarrow \infty$.

Если, в частности, в таких условиях для рассматриваемого ОРП в качестве сосредоточенных управлений на границе $x_0 = 0$ рассматриваются тепловой поток $\tilde{q}(p)$, температура печи $\tilde{\theta}_П(p)$ или температура на самой границе $\tilde{\theta}(0, p)$ соответственно в условиях второй, третьей или первой краевой задачи, то передаточные функции объекта по указанным воздействиям имеют следующий вид:

$$\begin{aligned}
 W_x(x, p) &= \frac{\tilde{\theta}(x, p)}{\tilde{q}(p)} = \frac{\exp(-\sqrt{T_x p})}{\sqrt{T_0 p}}, \\
 W_x(x, p) &= \frac{\tilde{\theta}(x, p)}{\tilde{\theta}_П(p)} = \frac{\exp(-\sqrt{T_x p})}{\sqrt{\frac{T_0}{\alpha^2} p + 1}}, \\
 W_x(x, p) &= \frac{\tilde{\theta}(x, p)}{\tilde{\theta}(0, p)} = \exp(-\sqrt{T_x p}).
 \end{aligned} \tag{50}$$

В структуре этих x -блоков можно выделить в качестве «элементарных» *полуинтегрирующее* звено, *полуаперiodическое* звено и звено *полузапаздывания (затухания)* с передаточными функциями соответственно

$$\begin{aligned}
 W_{ПИ}(p) &= \frac{1}{\sqrt{T_0 p}}; \quad W_{ПА}(p) = \frac{1}{\sqrt{\frac{T_0}{\alpha^2} p + 1}}; \\
 W_{ПЗ}(x, p) &= \exp(-\sqrt{T_x p}),
 \end{aligned} \tag{51}$$

отличающимися от типовых (интегрирующего $W_{И}(p) = \frac{1}{T_0 p}$, аперiodического $W_{А}(p) = \frac{1}{T_0 p + 1}$ и запаздывающего $W_{З}(p) = \exp(-\tau p)$) звеньев только тем, что в роли аргумента их передаточных функций фигурирует \sqrt{p} вместо p .

Анализ характеристик звеньев (50) приведен в [17].

2. Волновое уравнение

$$\frac{1}{c_0^2} \frac{\partial^2 Q(x,t)}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 Q(x,t)}{\partial x^2} + u(t) \delta'(x-x^*), \quad (52)$$

$$0 < x < l, \quad x^* \in [0, l], \quad t > 0$$

с начальными и граничными условиями

$$Q(x,0) = Q_0^{(0)}(x); \quad \frac{\partial Q(x,0)}{\partial t} = Q_0^{(1)}(x); \quad 0 \leq x \leq l; \quad (53)$$

$$Q(0,t) = g_0(t); \quad Q(l,t) = 0; \quad t > 0, \quad (54)$$

моделирует процесс гашения пульсаций расхода газа $Q(x,t)$ в газопроводе с управляемым гасителем колебаний, создающим в точке x^* его подключения к газопроводу дополнительный объемный расход газа $u(t)$ [6, 7]. Передаточная функция ОРП по этому каналу воздействия на основании (44) приводится к следующему виду [7]:

$$W_x(x,p) = \frac{\tilde{Q}(x,p)}{\tilde{u}(p)} = \begin{cases} \frac{ch \frac{p}{c_0} x^*}{sh \frac{p}{c_0} l} sh \frac{p}{c_0} (l-x), & 0 \leq x^* \leq x; \\ \frac{sh \frac{p}{c_0} x}{sh \frac{p}{c_0} l} ch \frac{p}{c_0} (l-x^*), & x \leq x^* \leq l. \end{cases} \quad (55)$$

При сосредоточенном воздействии по расходу газа на входе в газопровод, включаемом в граничное условие (54) при $x=0$, получим, подобно (43), для передаточной функции x -блока от входа $\tilde{g}_0(p)$ к выходу $\tilde{Q}(x,p)$ [21]:

$$W_x(x, p) = \frac{\bar{Q}(x, p)}{\bar{g}_0(p)} = \frac{1}{sh \frac{p}{c_0} l} sh \frac{p}{c_0} (l-x). \quad (56)$$

Существенной особенностью передаточных функций рассматриваемого объекта по сравнению с предыдущим примером является их представление в форме трансцендентных функций, аргументом которых является сама комплексная переменная p , вместо \sqrt{p} в выражениях для передаточных функций (45) - (47), (49) - (51).

3. Рассмотрим ОРП первого порядка вида (8):

$$b \frac{\partial \theta(x, t)}{\partial t} + bV \frac{\partial \theta(x, t)}{\partial x} + \theta(x, t) = \theta_n(x, t); \quad (57)$$

$$0 < x < l, \quad t > 0,$$

$$\theta(x, 0) = \theta_0(x), \quad 0 \leq x \leq l; \quad \theta(0, t) = \theta^0(t), \quad t > 0 \quad (58)$$

— моделирующий процесс нагрева партии заготовок, перемещающихся с постоянной скоростью V в печи непрерывного действия.

Передаточная функция такого объекта от стандартизирующего входа к распределению температуры $\bar{\theta}(0, p)$ на выходе непосредственно определяется выражением (41) при $A = 0$; $A_1 = b$; $B_1 = -bV$; $C_1 = -1$; $x_0 = 0$:

$$W(x, \xi, p) = \frac{1}{bV} \cdot 1(x - \xi) \exp\left(-\frac{bp+1}{bV}(x - \xi)\right). \quad (59)$$

При сосредоточенном управлении по температуре $\bar{\theta}_n(p)$ печного пространства, равномерно распределенной по длине печи, передаточная функция x -блока, моделирующего свойства объекта по такому входу, представляет собой пространственную композицию (28) при $\varphi(\xi) = 1$ и, следовательно, здесь с учетом (59)

$$\begin{aligned}
W_x(x, p) &= \frac{\bar{\theta}(x, p)}{\bar{\theta}_\Pi(p)} = \\
&= \int_0^l W(x, \xi, p) d\xi = \frac{1}{bV} \int_0^x \exp\left[-\frac{bp+1}{bV}(x-\xi)\right] d\xi = \\
&= \frac{1}{bp+1} \left[1 - \exp\left(-\frac{x}{bV}\right) \exp\left(\frac{x}{V}p\right) \right].
\end{aligned}$$

Метод конечных **интегральных преобразований** [6, 13, 16, 18, 21, 22]

Метод конечных интегральных преобразований может быть распространен на широкий класс типовых линейных объектов с распределенными параметрами, описываемых краевыми задачами вида (1) - (4) с постоянными, подобно (9), коэффициентами $A, A_1, \alpha_0, \alpha_1, \beta_0, \beta_1$ и не зависящими от l коэффициентами C, B_1 и C_1 .

Основные теоретические положения

Для того, чтобы после применения конечного интегрального преобразования вида (35) уравнение объекта не содержало в пространстве изображений операций дифференцирования по пространственной переменной x , необходимо, чтобы ядро преобразования $\varphi(\mu, x)$ являлось решением уравнения

$$\begin{aligned}
C(x) \frac{d^2 \varphi(\mu, x)}{dx^2} + B_1(x) \frac{d \varphi(\mu, x)}{dx} + \\
+ C_1(x) \varphi(\mu, x) = -\mu^2 \varphi(\mu, x)
\end{aligned} \tag{60}$$

с однородными граничными условиями:

$$\begin{aligned}
\alpha_0 \varphi(\mu, x_0) + \beta_0 \frac{d \varphi(\mu, x_0)}{dx} = 0; \\
\alpha_1 \varphi(\mu, x_1) + \beta_1 \frac{d \varphi(\mu, x_1)}{dx} = 0,
\end{aligned} \tag{61}$$

а весовая функция определялась выражением

$$r(x) = -\frac{1}{C(x)} \exp \left[\int \frac{B_1(x)}{C(x)} dx \right]. \quad (62)$$

Краевая задача (60), (61) (*задача Штурма–Лиувилля, спектральная задача*) имеет, как известно из общей теории таких задач, отличные от тождественного нуля решения только при определенных вещественных значениях параметра μ^2 , которые называются *собственными значениями*, или *собственными числами*, а сами соответствующие таким числам решения — *собственными функциями* этой задачи Штурма — Лиувилля.

Собственные числа μ_n^2 , $n = 1, 2, \dots$ образуют бесконечную *возрастающую* последовательность — *спектр* собственных чисел $\mu_1^2 < \mu_2^2 < \mu_3^2 < \dots$.

Каждому собственному числу соответствует *одна* собственная функция $\varphi_n(\mu_n, x)$, $n = 1, 2, \dots$, определяемая решением задачи (60), (61) с точностью до постоянного множителя, который можно выбирать из соображений удобства нормирования $\varphi_n(\mu_n, x)$.

Система собственных функций образует такую *полную, ортогональную*, а при соответствующем выборе постоянного множителя и *ортонормированную* систему функций, что всякая функция состояния $Q(x, t)$ рассматриваемого объекта при некоторых (практически малостеснительных) допущениях может быть представлена ее разложением в *сходящийся (в среднем) бесконечный ряд* (ряд Фурье);

$$Q(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} \bar{Q}_n(\mu_n, t) \varphi_n(\mu_n, x), \quad (63)$$

где $\bar{Q}_n(\mu_n, t)$ — изображение $Q(x, t)$ согласно (35) для $\mu = \mu_n$ и, следовательно, $\bar{Q}_n(\mu_n, t)$ можно рассматривать как *коэффициенты разложения $Q(x, t)$ в бесконечный ряд по системе $\{\varphi_n(\mu_n, x)\}$* , а формулу (63) как *правило перехода к оригиналу (правило обратного преобразования)*.

Решение краевой задачи (60), (61) может быть найдено (с точностью до постоянного множителя) а виде

$$\varphi(\mu, x) = \left\{ \beta_0 \frac{dM_1(\mu, x_0)}{dx} + \alpha_0 M_1(\mu, x_0) \right\} M(\mu, x) - \left\{ \beta_0 \frac{dM(\mu, x_0)}{dx} + \alpha_0 M(\mu, x_0) \right\} M_1(\mu, x), \quad (64)$$

а собственные значения в соответствии с граничным условием (61) для $x = x_1$ — из характеристического уравнения

$$\beta_1 \frac{d\varphi(\mu, x_1)}{dx} + \alpha_1 \varphi(\mu, x_1) = 0, \quad (65)$$

где $M(\mu, x)$ и $M_1(\mu, x)$ — какие-либо линейно-независимые частные решения уравнения (60).

Применение интегрального преобразования (35) к уравнению ОРП в (9) приводит к обыкновенному дифференциальному уравнению второго порядка по переменной t в пространстве изображений

$$\begin{aligned} A \frac{d^2 \bar{Q}_n(\mu_n, t)}{dt^2} + A_n \frac{d \bar{Q}_n(\mu_n, t)}{dt} = \\ = -\mu_n^2 \bar{Q}_n(\mu_n, t) + \bar{f}_n(\mu_n, t) + R(\mu_n, t) \end{aligned} \quad (66)$$

$n = 1, 2, \dots$

с преобразованными согласно (35) начальными условиями

$$\bar{Q}_n(\mu_n, 0) = \bar{Q}_0^{(0)}(\mu_n); \quad \frac{d \bar{Q}_n(\mu_n, 0)}{dt} = \bar{Q}_0^{(1)}(\mu_n), \quad n = 1, 2, \dots \quad (67)$$

Здесь $\bar{f}_n(\mu_n, t)$ — изображение функции/в (1);

$$R(\mu_n, t) = R_1(\mu_n, t) - R_0(\mu_n, t), \quad \text{где} \quad (68)$$

$$R_i(\mu_n, t) = \frac{g_i(t)}{\beta_i} h(x_i) \varphi_n(\mu_n, x_i), \quad i = 0, 1; \quad \text{если } \beta_i \neq 0; \quad (69)$$

$$R_i(\mu_n, t) = -\frac{g_i(t)}{\alpha_i} h(x_i) \frac{d\varphi_n(\mu_n, x_i)}{dx}, \quad i = 0, 1;$$

если $\beta_i = 0$, а, $\neq 0$.

$g_i(t)$ — заданные функции в краевых условиях (3), (4);
 $h(x) = C(x)r(x)$ и $\bar{Q}_0^{(0)}(\mu_n)$; $\bar{Q}_0^{(1)}(\mu_n)$ — коэффициенты разложения в ряд вида (63) функций $Q_0^{(0)}(x)$ и $Q_0^{(1)}(x)$ в (2).

Соответствующая *задача Коши* (66), (67) с постоянными коэффициентами A и A_1 имеет известное решение следующего вида:

$$\begin{aligned} \bar{Q}_n(\mu_n, t) = & \int_0^t [\bar{f}_n(\mu_n, \tau) + R(\mu_n, \tau)] G_n^*(\mu_n, t - \tau) d\tau + \\ & + \bar{Q}_0^{(0)}(\mu_n) \left[A \frac{dG_n^*(\mu_n, t)}{dt} + A_1 G_n^*(\mu_n, t) \right] + \\ & + \bar{Q}_0^{(1)}(\mu_n) A G_n^*(\mu_n, t), \end{aligned} \quad (70)$$

где изображение по Лапласу функции $G_n^*(\mu_n, t)$ определяется выражением

$$\tilde{G}_n^*(\mu_n, p) = \frac{1}{Ap^2 + A_1p + \mu_n^2}.$$

Определение базовых характеристик ОРП

С помощью выражений (63), (70), описывающих функцию состояния ОРП, легко определяются все базовые характеристики объекта. В частности, при нулевых начальных, однородных граничных условиях и импульсном воздействии / эти выражения определяют функцию Грина ОРП в форме сходящегося бесконечного ряда

$$G_n(x, \xi, t - \tau) = \sum_{n=1}^{\infty} G_n^*(\mu_n, t - \tau) \varphi_n(\mu_n, x) \varphi_n(\mu_n, \xi) r(\xi), \quad (71)$$

а ее изображение по Лапласу согласно (26), (71) приводит к передаточной функции объекта в виде, отличном от конечных соотношений (39):

$$W(x, \xi, p) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{Ap^2 + A_1p + \mu_n^2} \varphi_n(\mu_n, x) \varphi_n(\mu_n, \xi) r(\xi). \quad (72)$$

В отличие от сложных трансцендентных зависимостей передаточных функций ОРП типа (39) от комплексной переменной p выражение (72) означает, что рассматриваемый ОРП в структурном отношении представляется параллельным соединением бесконечного числа стандартных динамических звеньев второго порядка:

$$W_n(x, \xi, p) = \frac{k_n(x, \xi)}{Ap^2 + A_1p + \mu_n^2},$$

$$k_n(x, \xi) = \varphi_n(\mu_n, x) \varphi_n(\mu_n, \xi) r(\xi) \quad (73)$$

с коэффициентами передачи $k_n(x, \xi)$, зависящими от пространственных аргументов как от параметра.

Тем самым устанавливаются наглядные аналогии с линейными сосредоточенными системами, принципиальное отличие от которых заключается в структурном моделировании объектов с распределенными параметрами с помощью именно бесконечного числа таких звеньев.

Примеры [7, 8, 13, 17, 18, 21].

1. Применение метода конечных интегральных преобразований приводит к формуле (18) для функции Грина и к следующему выражению для передаточной функции объекта (14) – (17):

$$W(x, \xi, p) = \frac{1}{R} \left[\frac{1}{p} + \mathcal{L} \sum_{n=1}^{\infty} \cos\left(\frac{\pi nx}{R}\right) \cos\left(\frac{\pi n \xi}{R}\right) \frac{T_n}{T_n p + 1} \right],$$

$$T_n = \frac{1}{\mu_n^2} = \frac{R^2}{a\pi^2 n^2}, \quad n = 1, 2, \dots, \quad (74)$$

свидетельствующему о его структурном представлении параллельным соединением одного интегрирующего и бесконечно-го числа апериодических звеньев с постоянными времени, убывающими обратно пропорционально квадратам натурального ряда чисел.

При сосредоточенном граничном управлении $\bar{q}(p)$ в соответствии с общим выражением (28) и формулой для составляющей вида (20) стандартизирующей функции (19), содержащей $q(\tau)$, получим передаточную функцию (47) согласно (74) в виде

$$W_x(x, p) = \frac{a}{\lambda} W(x, R, p) = \frac{1}{c\gamma R} \left[\frac{1}{p} + 2 \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \cos\left(\frac{\pi n x}{R}\right) \frac{\frac{R^2}{a n^2 n^2}}{\frac{R^2}{a n^2} \cdot p + 1} \right]. \quad (75)$$

Если на границе $x = R$ выполняется условие (48), то вместо (74) будем иметь

$$W(x, \xi, p) = \frac{1}{R} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\gamma n}{\eta_n + \sin \eta_n \cdot \cos \eta_n} \cos\left(\eta_n \frac{x}{R}\right) \cos\left(\eta_n \frac{\xi}{R}\right) \frac{T_n^*}{T_n^* p + 1},$$

$$T_n^* = \frac{R^2}{a \eta_n^2}; \quad n = 1, 2, \dots, \quad (76)$$

где $\eta_n, n = 1, 2, \dots$ — бесконечная возрастающая последовательность корней трансцендентного уравнения

$$\eta \operatorname{tg} \eta - \frac{\alpha R}{\lambda} = 0.$$

В данном случае структура объекта согласно (76) представляется, в отличие от (74), только апериодическими звеньями с постоянными времени T_n^* .

2. Для объекта (52) - (54) передаточная функция нахо-

дится методом конечных интегральных преобразований в форме ряда

$$W(x, \xi, p) = \frac{2c_0^2}{l} \sum_{n=1}^{\infty} \sin\left(\pi n \frac{x}{l}\right) \sin\left(\pi n \frac{\xi}{l}\right) \frac{1}{p^2 + c_0^2 \mu_n^2}, \quad (77)$$

согласно которой объект представляется в структурном отношении параллельным соединением бесконечного числа юлербательных (консервативных) звеньев.

Стандартные выражения для почленно вычисляемых оригиналов изображений (74) - (77) приводят к формулам для функций Грина соответствующих ОРП. Выражения для передаточных функций в форме разложения в ряды по собственным функциям для большого числа типовых ОРП приведены в [7, 8, 17].

3.3.1.5.7 Приближенное моделирование ОРП [4, 6, 9, 10, 14, 17, 21, 22, 25, 27]

Здесь рассматриваются только *аналитические* методы получения приближенных моделей ОРП по известным точным описаниям распределенных блоков.

В настоящее время разработан целый ряд аналитических способов построения *приближенных* моделей объектов с *распределенными* параметрами. Все они могут быть условно подразделены на две основные группы по «предмету аппроксимации».

Первая группа образуется различными способами упрощенного представления самих исходных дифференциальных уравнений объекта, последующее решение которых известными методами позволяет получить в определенных конкретных условиях удовлетворительные по точности описания свойств ОРП в сравнительно простом *виде*.

Методы *второй группы* базируются на *приближенном* представлении (как правило, в типовой для ССП форме соответствующих передаточных функций (ПФ)) точных *решений* уравнений в частных производных, моделирующих поведение ОРП.

Методы аппроксимации исходных уравнений объекта

Способы приближенного описания ОРП, связанные с упрощением **самых** уравнений объекта, в свою очередь могут быть реализованы либо путем перехода к более простым уравнениям в частных производных, сохраняющим пространственно-временной характер **функции** состояния объекта и допускающим по возможности точное аналитическое решение, либо непосредственным преобразованием к конечномерной системе в рамках моделей ССП путем использования подходящей **процедуры** дискретизации.

Необходимо иметь в **виду**, что применение широко распространенных на практике конечномерных приближений может привести к потере существенных свойств, определяемых пространственной **распределенностью** управляемых процессов [7, 13, 21].

Методы перехода к распределенным блокам упрощенной структуры

Методы малого параметра [10, 21]

Во многих конкретных **ситуациях** знание базовых закономерностей предметной области позволяет значительно упростить уравнения моделей ОРП без существенной потери в точности описания **объекта** за счет обоснованного пренебрежения отдельными составляющими дифференциальных операторов или их представления в упрощенной форме.

По существу такого рода **упрощения** обосновываются малостью сокращаемых членов в уравнениях (а также в граничных и начальных условиях), которая формально, как правило, может быть учтена вводом в структуру математических моделей соответствующих малых множителей (**малых параметров**), моделирующих физически обоснованную степень влияния рассматриваемых факторов на поведение функции состояния объекта.

После представления краевой задачи, моделирующей ОРП в форме, содержащей малый параметр ϵ , вся дальнейшая проблема сводится к исследованию зависимости ее решений от величины ϵ .

Имея в распоряжении эту зависимость в достаточно простой форме, можно построить строгую алгоритмическую процедуру поиска приближенного решения для нулевого значения малого параметра, оценить погрешности, связанные с его конечной величиной, и перейти, если потребуется, к соответствующим уточнениям.

Методы, реализующие подобную формальную схему поиска приближенных моделей, получили название *методов малого параметра*.

Обоснование и описание техники их применения для построения приближенных моделей объектов, описываемых уравнениями в частных производных, приводится в специальной литературе [10].

Методы *линеаризации* [6, 9, 21]

В случаях, когда дифференциальные уравнения ОРП и (или) граничные условия оказываются существенно нелинейными, приходится учитывать *соответствующие* нелинейности для получения описания моделей объекта с приемлемой *точностью*.

Если в качестве выхода ОРП рассматриваются достаточно малые отклонения функции состояния объекта и ее производных от некоторого *стационарного* режима, вызванные соответственно малыми вариациями внешних воздействий, то при гладких функциональных зависимостях, описывающих нелинейные *эффекты*, можно при моделировании объекта применить широко используемый в теории управления *прием линеаризации*. Этот прием *сводится*, как известно, к разложению нелинейных зависимостей в ряд Тейлора около стационарного режима с последующим учетом только его линейных членов в силу высшего порядка малости отбрасываемого остатка ряда. В *результате* получаем линейное уравнение, в первом приближении с удовлетворительной точностью моделирующее поведение нелинейного объекта управления в указанных условиях, и далее можно использовать все описанные выше способы описания линейных ОРП применительно к линеаризованной модели.

Соответствующие примеры приведены в [6, 9, 21].

Методы модального описания объекта [4, 6–9, 13, 15, 18, 21, 22]

Ввиду сходимости ряда (63) при найденной системе собственных функций и собственных чисел объекта достаточно большое, но конечное число N уравнений (66), (67) во многих случаях обеспечивает удовлетворительное по точности модальное описание ОРП в типичной для систем с сосредоточенными параметрами форме,

Здесь в роли переменных состояния фигурируют *временные моды* — коэффициенты $\bar{Q}_n(\mu_n, t)$ разложения функции состояния объекта $Q(x, t)$ в ряд (63).

При этом граничные входные воздействия $g_0(t, u_0(t))$ и $g_1(t, u_1(t))$ (в том числе действующие на границах $x = x_0$ и $x = x_1$ сосредоточенные управления $u_0(t)$ и $u_1(t)$) непосредственно фигурируют в составе функций $R(\mu_n, t)$ (согласно (68), (69)), включаемых в качестве аддитивной составляющей в правые части уравнений (66). Внутренние воздействия $f(x, t, u(x, t))$ (в том числе распределенные управления $u(x, t)$) аналогичным образом входят в эти уравнения в форме коэффициентов $\bar{f}_n(\mu_n, t)$ разложения $f(x, t, u(x, t))$ в ряд по собственным функциям.

Подобное представление объектов с распределенными параметрами возможно и для более широкого круга моделей ОРП [15, 22].

Существует целый ряд различных методов (иногда называемых *псевдомодальными*), обобщающих этот способ аппроксимации путем подобного (63) представления функции состояния для объектов различного уровня сложности в виде *квазимодального* разложения по некоторой заранее выбираемой системе *базисных* функций $\hat{\varphi}_n(x)$ (*базис разложения*), вообще говоря, отличных от $\varphi_n(\mu_n, x)$ [15, 22].

Примеры [21]. Модальное описание объекта (14) - (17) принимает на основании (66), (67) вид следующей системы обыкновенных дифференциальных уравнений *первого* порядка:

$$\frac{d\bar{\theta}_n}{dt} = -\mu_n^2 \bar{\theta}_n + \frac{1}{c\gamma} \bar{F}_n + \frac{(-1)^n q(t)}{E_n A};$$

$$\bar{\theta}_n(0) = \bar{\theta}_0(\mu_n), \quad E_n = \begin{cases} \sqrt{\frac{R}{a}}, & n=0; \\ \sqrt{\frac{R}{2a}}, & n=1, 2, \dots, N, \end{cases} \quad (78)$$

$$n=0, 1, 2, \dots, N,$$

где $\bar{\theta}_n = \bar{\theta}(\mu_n, t)$; $\bar{F}_n = \bar{F}(\mu_n, t)$; $\bar{\theta}_n(0) = \bar{\theta}(\mu_n, 0)$, и $\bar{\theta}(\mu_n, t)$, $\bar{F}(\mu_n, t)$, $\bar{\theta}_0(\mu_n)$ — изображения вида (35) температурного поля $\theta(x, t)$, функции внутреннего тепловыделения $F(x, t)$ и начального температурного распределения $\theta_0(x)$.

Для ОРП (52) - (54) получаем уже систему (66) - (67) второго порядка:

$$\frac{1}{c_0^2} \frac{d^2 \bar{Q}_n}{dt^2} = -\mu_n^2 \bar{Q}_n - \frac{\mu_n}{E_n} \cos\left(\frac{\pi n x^*}{l}\right) u(t) + \frac{\mu_n}{E_n} g_0(t);$$

$$E_n = \sqrt{\frac{l}{2}}; \quad \bar{Q}_n(0) = \bar{Q}_0^0(\mu_n);$$

$$\frac{d\bar{Q}_n(0)}{dt} = \bar{Q}_0^{(1)}(\mu_n), \quad n=1, 2, \dots, N, \quad (79)$$

где $\bar{Q}_0^0(\mu_n)$ и $\bar{Q}_0^{(1)}(\mu_n)$ — изображения вида (35) функций $Q_0^0(x)$ и $Q_0^{(1)}(x)$ в (53).

Примеры применения методов псевдомодального представления нелинейных ОРП приведены в [21, 22].

Дифференциально-разностные модели ОРП [6, 14, 21, 25]

Все известные разностные методы приближенного описания ОРП используют различные способы *пространствен-*

ного, временного или пространственно-временного квантования области изменения аргументов входа и выхода рассматриваемого распределенного блока.

Выполняя дискретизацию по пространственной переменной x , разобьем отрезок ее изменения $[x_0, x_1]$ на N равных интервалов при $s = \frac{x_1 - x_0}{N}$ точками $x^{(0)} = x_0, x^{(1)} = s + x_0, x^{(2)} = 2s + x_0, \dots, x^{(N)} = x_1$, образующими равномерную пространственную сетку с шагом s ; $x^{(n)} = ns + x_0, n = 0, N$.

Приближенные выражения для первой и второй производных от функции состояния ОРП $Q(x, t)$ по пространственной координате в точке $x = x^{(n)}$ могут быть теперь получены с погрешностью порядка s и s^2 соответственно в следующем виде:

$$\frac{\partial Q(x^{(n)}, t)}{\partial x} \cong \frac{Q(x^{(n+1)}, t) - Q(x^{(n)}, t)}{s};$$

$$\frac{\partial Q(x^{(n)})}{\partial x} = \frac{Q(x^{(n)}, t) - Q(x^{(n-1)}, t)}{s}, \quad (80)$$

$$\frac{\partial^2 Q(x^{(n)}, t)}{\partial x^2} \cong \frac{Q(x^{(n+1)}, t) - 2Q(x^{(n)}, t) + Q(x^{(n-1)}, t)}{s^2}. \quad (81)$$

Используя приближенное представление пространственных производных их разностными аналогами в уравнениях объекта и сохраняя там производные по времени в дифференциальной форме, можно получить различные варианты аппроксимации исходной модели ОРП соответствующей системой обыкновенных дифференциальных уравнений относительно $Q(x^{(n)}, t)$.

Введем далее для краткости обозначения:

$$Q(x^{(n)}, t) = Q_n(t), \quad n = \overline{0, N}$$

и ограничимся для простоты двумя типичными частными случаями модели ОРП.

Рассмотрим сначала **линейное** одномерное уравнение тел-

лопроводности с постоянными коэффициентами, получаемое из (1) при $A = 0$; $A_1 = 1$; $C = a$; $B_1 \equiv C_1 \equiv 0$.

Заменяя в этом уравнении для всех точек $x^{(n)}$, $n = \overline{1, N-1}$ вторые производные $\partial^2 Q / \partial x^2$ приближенным выражением (81) и полагая в его правой части $f(x^{(n)}, t, u(x^{(n)}, t)) = f_n(t)$, получим следующую дифференциально-разностную аппроксимацию модели данного объекта

$$\frac{dQ_n}{dt} = \frac{a}{s^2} (Q_{n+1} - 2Q_n + Q_{n-1}) + f_n(t); \quad n = \overline{1, N-1} \quad (82)$$

в виде типичной для ССП системы обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка, разрешенных относительно первой производной (нормальная форма записи уравнений объекта; описание в пространстве состояний). Характерной особенностью этой системы является *трехдиагональная* матрица ее коэффициентов, содержащая в каждой строке только три отличных от нуля элемента при любом значении n . Заметим, что в систему (82) не входят уравнения для Q_0 и Q_N , поскольку для них не определены значения второй производной согласно (81). Эти величины должны быть найдены с помощью граничных условий (3), (4), которые с использованием выражений (80) при постоянных коэффициентах (подобно (9)) приводятся к виду

$$\begin{aligned} Q_0(t) &= \frac{1}{\alpha_0 - \frac{\beta_0}{s}} \left[g_0(t, u_0(t)) - \frac{\beta_0}{s} Q_1(t) \right]; \\ Q_N(t) &= \frac{1}{\alpha_1 + \frac{\beta_1}{s}} \left[g_1(t, u_1(t)) + \frac{\beta_1}{s} Q_{N-1}(t) \right]. \end{aligned} \quad (83)$$

Подстановка выражений (83) с заданными внешними воздействиями g_0 и g_1 на границах области изменения пространственной переменной в первое и последнее уравнения системы (82) приводит к ее замыканию относительно $N-1$ значений сеточной функции $Q_n(t)$, $n = \overline{1, N-1}$.

Дополняя полученное описание объекта в соответствии с (2) начальными условиями

$$Q_n(0) = Q_0^{(0)}(x^{(n)}), \quad n = \overline{1, N-1}, \quad (84)$$

окончательно получим приближенную модель объекта в форме соответствующей задачи Коши.

Сосредоточенные управляющие воздействия $u_0(t)$ и $u_1(t)$ на границах $X = x_0$ и $x = x_1$ включаются в уравнения объекта через граничные условия согласно (83), а управление $u(x, t)$ в правой части $f(x, t, u(x, t))$ уравнения (1) входит в состав $f_n(t)$ в (82) и *заменяется здесь сеточной функцией $u^{(n)}(t) = u(x^{(n)}, t)$, $n = \overline{1, N-1}$, т.е. совокупностью сосредоточенных управлений $u^{(n)}(t)$ на рассматриваемой пространственной сетке.*

Совершенно аналогично для волнового уравнения вида (1) (при $A = 1$; $A_1 = 0$; $C = v^2$; $B_1 \equiv C_1 = 0$) получим дифференциально-разностную модель объекта, описываемую системой обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка;

$$\frac{d^2 Q_n}{dt^2} = \frac{v^2}{s^2} (Q_{n+1} - 2Q_n + Q_{n-1}) + f_n(t); \quad n = \overline{1, N-1}, \quad (85)$$

закрываемой граничными соотношениями (83) и дополняемой в соответствии с (2) начальными условиями:

$$Q_n(0) = Q_0^{(0)}(x^{(n)}); \quad \frac{dQ_n(0)}{dt} = Q_0^{(1)}(x^{(n)}), \quad n = \overline{1, N-1}. \quad (86)$$

Несомненным преимуществом описанного метода моделирования ОРП, свидетельствующим о **высокой степени** его универсальности, является возможность получения подобным образом приближенного описания объекта не только для общего случая краевой задачи (1) - (4), но и для более широкого класса ОРП, в том числе описываемых пространственно-многомерными, нелинейными и нестационарными **уравнениями** в частных производных [25].

Применение псевдомодального представления функции состояния ОРП с предварительным разбиением области изменения пространственных переменных по **методу** конечных

элементов [14, 21] и соответствующим выбором совокупности базисных функций, каждая из которых отлична от нуля только в пределах своего элемента, приводит в итоге к конечно-элементной форме дифференциально-разностной аппроксимации уравнений ОРП [14, 21].

Если дискретизация производится не только по пространственной, но и по временной переменной с последующим использованием разностных аналогов, подобных (80), (81) для всех частных производных функции **состояния** объекта, то в итоге получаются *конечно-разностные* аппроксимации исходной модели уже в форме системы алгебраических уравнений относительно значений этой функции на **пространственно-временной** сетке.

Методы решения этих систем уравнений, полученных с помощью разных сеточных шаблонов, признаки сходимости и устойчивости различных разностных схем по входным данным широко освещены в литературе [21, 23].

Методы **аппроксимации** точных **решений** уравнений ОРП [17, 21]

Методы разложения передаточных функций в бесконечные ряды

Учет конечного числа N членов в точных выражениях (72) для ПФ ОРП по стандартизирующему входу сразу приводит к искомому дробно-рациональному приближению ПФ.

Для x -блоков с граничным управлением, например $\tilde{y}_1(p)$, сосредоточенным в точке $x = x_1$, ПФ по этому входу находится, подобно (75), при $\beta_1 \neq 0$ в форме

$$W_x(x, p) = \frac{C}{\beta_1} W(x, x_1, p), \quad (87)$$

и, следовательно, с учетом (72) получим приближенное представление объекта в форме **параллельного** соединения типовых динамических звеньев не выше второго порядка с коэффициентами передачи, зависящими от x :

$$W_x(x, p) = \sum_{n=1}^N \frac{k_n(x, x_1)}{Ap^2 + A_1p + \mu_n^2}; \quad (88)$$

$$k_n(x, x_1) = \frac{C}{A} r(x_1) \varphi_n(\mu_n, x_1) \varphi_n(\mu_n, x).$$

Разложения трансцендентных выражений вида (42), (43) для передаточных функций распределенных x -блоков (или их различных составляющих по отдельности) в сходящиеся ряды Тейлора позволяют получить дробно-рациональные приближения этих ПФ, учитывая лишь первые N членов данного ряда (как правило, не более трех) [17, 21, 27],

Во многих случаях удовлетворительная точность приближений достигается при $N = 1$ (см. примеры в [17, 21, 27]).

Методы определения параметров дробно-рациональных приближений передаточных функции заданной структуры

В инженерной практике значительное распространение получил способ моделирования линейных x -блоков ОРП путем поиска их ПФ в априори заданном классе типовых дробно-рациональных приближений фиксированной структуры, отвечающей заведомо известным основным физическим закономерностям исследуемых процессов. В такой ситуации искомые приближения заранее определены с точностью до коэффициентов аппроксимирующих выражений, и проблема сводится к их выбору из условий минимизации неизбежно возникающих ошибок такого представления объекта.

В частности, для x -блоков с ограниченными переходными функциями в целом ряде случаев с удовлетворительной для инженерных целей точностью применяется описание $W_x(x, p)$ в одной из следующих типовых форм [17, 21]:

$$\frac{W_x(x, p)}{W_x(x, 0)} \approx \frac{e^{-p\tau_1(x)}}{T_1(x)p + 1}; \quad (89)$$

$$\frac{W_x(x, p)}{W_x(x, 0)} \approx \frac{T(x)p + 1}{T_1(x)p + 1} \quad (90)$$

со значениями времени запаздывания τ_3 и постоянных времени T, T_1 , подлежащими определению в каждом конкретном случае.

Передаточная функция чаще выбирается в виде (90) или (89) при $\tau_3 \geq 0$, если объект соответственно обладает или не обладает «форсирующими» свойствами.

Для определения $\tau_3(x)$, $T(x)$, $T_1(x)$ могут быть использованы различные способы. Один из распространенных приемов заключается в решении относительно искомым параметров систем уравнений, образуемых приравнением коэффициентов разложения в ряд Тейлора по степеням комплексной переменной точного и аппроксимирующего выражений для ПФ объекта (см. примеры [17, 21]).

Параметры $D = (\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_N)$ аппроксимирующих передаточных функций $W_x^A(x, p, D)$ дробно-рационального вида могут быть найдены и другими способами.

Достаточно эффективным может оказаться способ, заключающийся в переходе от передаточных функций $W_x(x, p)$ к вещественным изображениям $W_x(x, \delta)$ (характеристикам мнимых частот (ХМЧ) [5, 21]) путем простой формальной замены комплексной переменной p на действительную переменную s в выражениях для точной и аппроксимирующей ПФ с последующим решением относительно искомым параметров D задачи минимизации абсолютной ошибки приближения $W_x^A(x, \delta, \Delta)$ к $W_x(x, s)$ (задачи равномерного приближения) в области существенных значений $\delta \in [0, \delta^*]$ для каждого фиксированного значения координаты $x \in [x_0, x_1]$ [20, 21].

3.3.1.5.8 Анализ и синтез систем автоматического управления ОРП

Синтез САУ ОРП также, как и для ССП, производится по заданной математической модели объекта управления на основании предъявляемых к САУ требований.

Управляемость ОРП [6, 7, 13, 19, 22]

Постановка задачи управления имеет смысл лишь для управляемых объектов. ОРП называется *управляемым*, если

найдется реализуемое управляющее воздействие, переводящее объект из заданного начального состояния $Q(x, 0)$ в некоторое допустимое конечное состояние $Q^*(x) = Q(x, T)$ за конечное время $t = T$.

В общем случае проблема управляемости для точных моделей ОРП оказывается очень сложной [6, 7]. Иногда проще установить условия *неуправляемости* объекта, которые реализуются применительно к ОРП гораздо чаще, чем в ССП [19]. При приближенном модальном описании ОРП могут быть использованы известные матричные критерии полной управляемости ССП [4, 22].

Практически всегда встречающиеся ограничения на управляющие воздействия приводят здесь к дополнительным требованиям. В частности, в целях *обеспечения* управляемости следует избегать совпадения точек приложения пространственно локализованных управлений с нулями собственных функций объекта [22].

Наблюдаемость распределенных систем [7, 12, 22]

Построение САУ ОРП возможно только при *неполном* измерении пространственно распределенной функции состояния объекта с помощью конечного числа датчиков обратной связи. В результате возникает *проблема наблюдаемости*, заключающаяся, во-первых, в установлении возможности восстановления управляемого выхода $Q(x, t)$ по результату его неполного измерения и, во-вторых, в разработке способов построения устройств (*наблюдателей*), реализующих такую возможность, если она существует. При приближенном модальном описании ОРП могут быть использованы известные матричные критерии наблюдаемости в ССП [4, 22]. Можно показать, что для обеспечения условий наблюдаемости ОРП точки измерения его состояния не должны являться нулями *собственных* функций объекта [22]. Удовлетворительные *оценки* состояния ОРП можно получить с помощью асимптотических наблюдателей Луенбергера [4, 12].

Анализ и синтез САР ОРП с сосредоточенными входными воздействиями и управляемыми величинами [11, 17, 22, 24]

Если объект управления представляет собой распределенный $x\xi$ -блок, то он отличается в структурном отношении от подобных объектов с сосредоточенными параметрами (ОСП) лишь характером вход-выходных соотношений, в частности трансцендентными выражениями для передаточных функций. Использование обычных сосредоточенных регуляторов приводит к таким же структурам САР, как и для ОСП, на которые распространяются известные алгебраические правила определения операторов связи между входами и выходами различных соединений динамических звеньев в форме передаточных функций, а также известные закономерности структурных преобразований.

На системы с $x\xi$ -блоками, имеющими мероморфные передаточные функции разомкнутого контура и ограниченную полосу пропускания частот, распространяется частотный критерий устойчивости Найквиста для линейных ССП [11, 24]. На этом основании на САР ОРП с сосредоточенными управлениями и регулируемыми величинами распространяются без существенных усложнений классические частотные методы анализа и синтеза замкнутых САР ОСП [11, 17, 24].

Существенное повышение качественных показателей САР ОРП часто достигается на практике путем построения систем *комбинированного регулирования*, а также *многоконтурных систем* с использованием дополнительных обратных связей по выходу объекта в некоторых «промежуточных» точках пространственной области [17]. При использовании *приближенных* моделей ОРП в форме некоторого ОСП для построения САР без каких-либо изменений применяются методы синтеза САР ОСП.

Примеры анализа и синтеза САР *распределенных $x\xi$ -блоков* приведены в [11, 17, 24].

Анализ и синтез САР ОРП с распределенными управляемыми величинами [15, 18, 22]

При необходимости управления распределенным выходом ОРП $Q(x,t)$ во всей пространственной области его опре-

деления приходится строить САР с использованием сигналов обратных связей непосредственно по текущему состоянию $Q(x, t)$ объекта, которые могут быть реализованы только с помощью соответствующих наблюдателей. При этом на основании известной *теоремы разделения* задачу построения САР можно разделить на независимые задачи синтеза регулятора с обратными связями непосредственно по переменным состояниям объекта и проектирования асимптотического наблюдателя с требуемыми динамическими свойствами [4].

Можно показать [15, 18, 22], что задача синтеза САР распределенного выхода ОРП сводится к построению независимых друг от друга контуров регулирования учитываемых временных мод объекта $\bar{Q}_n(\mu_n, t)$, $n = \overline{1, N}$.

«Элементарный» объект управления каждого из таких контуров имеет простейшую передаточную функцию (73) с единичным коэффициентом передачи применительно к типовым ОРП, и соответствующая индивидуальная система управления n -и модой строится методами теории ССП по стандартной схеме «объект — регулятор» с обратной связью по $Q_n(\mu_n, t)$ и задающим воздействием $\bar{Q}_n^*(\mu_n, t)$ для желаемого поведения $\bar{Q}_n(\mu_n, t)$. Как правило, здесь удастся использовать стандартные П- или ПИ-регуляторы.

Для более сложных ОРП, представляющих собой, например, некоторое соединение типовых блоков вида (9), аналогичный подход приводит к более сложным трансцендентным передаточным функциям «элементарных» объектов типа $x\xi$ -распределенных блоков в независимых контурах регулирования [15].

В таких случаях синтез индивидуальных регуляторов сводится к задаче, рассмотренной в разделе «Анализ и синтез САР ОРП с сосредоточенными входными воздействиями и управляемыми величинами». Количество регулируемых мод должно определяться из условий обеспечения требуемой точности отработки САР задающего воздействия $Q^*(x, t)$ на входе системы. Реализуемые распределенные управления на входе ОРП синтезируются по выходам регуляторов $\bar{w}_n(\mu_n, t)$, $n = \overline{1, N}$ путем их взвешенного суммирования с собственными функциями по типу выражения (63). Здесь $\bar{w}_n(\mu_n, t)$ — временные моды стандартизирующей функции. Сигналы обратной связи

по $\bar{Q}_n(\mu_n, t)$ могут быть получены с помощью специального *анализатора*, представляющего собой совокупность интеграторов (35) сигнала $Q(x, t)$ на выходе наблюдателя состояния *объекта* [15, 22]. Примеры синтеза САУ ОРП с распределенным выходом приведены в [15, 22].

Оптимальное управление ОРП [6, 9, 12, 13, 17–20, 22, 23, 26]

Для решения задач отыскания оптимальных по выбранным критериям оптимизации пространственно-временных управляющих воздействий для ОРП (задачи программного оптимального управления) может быть использован аппарат принципа максимума *Понтрягина* [9, 19] (применительно к модальному описанию ОРП (66) - (67) либо специальные его модификации [9, 23, 26] применительно к описанию ОРП интегральными соотношениями типа (10) или уравнениями в частных производных вида (1) - (4).

Применение указанных необходимых условий экстремума позволяет, как правило, найти искомые управления лишь с точностью до ряда параметров, которые должны быть определены на *последующем* этапе путем решения краевой задачи по достижению допустимых конечных состояний объекта. Здесь могут быть использованы различные приближенные [6, 9, 13, 17] или алгоритмически точные [20] методы. В целях синтеза замкнутых систем оптимального управления ОРП может быть использован метод динамического программирования [12, 23]. Примеры решения задач оптимального управления ОРП приведены в [6, 9, 12, 19, 20, 22, 23, 26]. При *приближенном* представлении ОРП в форме некоторой модели ОСП на задачи оптимального управления распределенными объектами полностью распространяются методы теории оптимизации систем с *сосредоточенными* параметрами.

3.3.1.6 Моделирование САУ (САУ) с помощью средств *вычислительной техники*

Указанное моделирование САУ — это программная реализация ее математической модели (ММ) на соответствующей вычислительной машине с целью получения информации о

свойствах системы путем **проведения** эксперимента с ее моделью. Моделирование САУ в дипломном проектировании применяется в основном для проверки правомерности тех допущений, которые были приняты при синтезе **системы**, а также для исследования качества переходных процессов последней. Обычно его осуществляют на аналоговых вычислительных машинах (**АВМ**) или комплексах, например **АВК-6** [28], цифровых вычислительных машинах (**ЭВМ**), например, персональных компьютерах, а также на гибридных вычислительных комплексах (**аналого-цифровых** моделирующих комплексах). Основные достоинства и недостатки указанных **технических средств** **закljučаются** в следующем.

АВМ обеспечивают независимость времени решения задачи от объема вычислений, так как вычислительные **операции** выполняются в них параллельно. Кроме того, они предоставляют возможность решения задачи в реальном и **ускоренном** масштабе времени. Однако **АВМ** обеспечивают **недостаточно** высокую точность вычислений и имеют ограниченные возможности в выполнении логических и других нелинейных функциональных преобразований.

ЭВМ обеспечивают высокую точность решения и запоминание достаточно большого количества информации, а также имеют широкие возможности в выполнении логических и других нелинейных функциональных **преобразований**. Однако время решения задачи в **ЭВМ** зависит от заданной точности решения и сложности задачи, так как вычислительные операции выполняются в них последовательно. Причем применение **ЭВМ** для моделирования САУ требует наличия адекватного программного обеспечения. В зависимости от сложности исследуемой системы для ее анализа можно применять как малые (**ARCAD, CALISTO** [29]) и средние (**МАСС, МДС/ПК** [29], **CLASSIC** [30]) пакеты прикладных программ, так и универсальные интегрированные (**Mathematica** [31], **Mathcad** [32], **MATLAB+Simulink** [33]).

Гибридные вычислительные комплексы сочетают в себе быстрдействие **АВМ** и точность **ЭВМ**, повышая гибкость аналогового моделирования за счет использования логики и **памяти** **ЭВМ**.

В зависимости от наличия или отсутствия случайных эле-

ментов ММ **могут** быть вероятностными (стохастическими) или детерминированными.

По характеру передачи сигналов от одного звена к другому различают непрерывные, дискретные и **дискретно-непрерывные** модели.

По способу **реализации** на ЭВМ различают [34] аналитические, имитационные и комбинированные модели. Аналитическая модель применяется тогда, когда исследуемые процессы в САУ можно описать аналитически в виде определенных соотношений (логических условий, нелинейных зависимостей, алгебраических, **интегриродифференциальных** или разностных уравнений и т. п.).

Имитационная модель применяется тогда, когда характер протекающих в САУ процессов не позволяет описать их в аналитической форме и когда **необходимо исследовать** поведение **сложной** системы при случайных воздействиях.

Комбинированная (**аналитико-имитационная**) модель строится для систем, в которых можно выделить такие блоки (агрегаты), что для одних из них целесообразно использовать аналитические, а для других — имитационные модели.

В зависимости от формы исходной ММ для моделирования САУ применяют один из следующих методов:

- по дифференциальным уравнениям системы, разрешенным относительно **производных** переменных состояния;
- по звеньям структурной схемы системы (структурный метод **моделирования**).

Очевидно, что если исходная ММ САУ является дискретной, т. е. задана системой разностных уравнений или структурной схемой с дискретными передаточными функциями **звеньев**, то САУ вне зависимости от формы ее ММ моделируется на ЭВМ.

Если моделируемая САУ является непрерывной, релейной или импульсной, то тоже вне зависимости от формы ее исходной ММ можно применять как АВМ, так и ЭВМ. Однако если САУ относится к классу систем с **разнотемповыми** процессами, т.е. когда скорость протекания одних процессов в САУ превышает скорость протекания других более чем на два порядка, то ее моделируют на ЭВМ. Или осуществляют декомпозицию исходной ММ, т.е. разделяют ее на две **част-**

ные: модель с медленно протекающими и модель с быстро протекающими процессами. И каждую из частных моделей исследуют **вне** зависимости от другой, или на **АВМ**, или на ЭВМ.

Для моделирования систем с прямым **цифровым управлением**, т.е. систем с цифровым регулятором в квазинепрерывном режиме, **целесообразно** использовать метод структурного моделирования на ЭВМ.

Моделирование САУ на АВМ

Математические операции на АВМ выполняются с помощью операционных **блоков**, которые строятся на основе операционного усилителя постоянного тока.

Алгоритм подготовки математической модели к исследованию на АВМ состоит из двух основных этапов:

1. Программирование модели, т.е. составление **структурной** схемы электронной модели (ЭМ) на основе приведения исходного математического описания к виду, удобному для моделирования.
2. Проведение масштабирования физических переменных системы и расчет параметров коммутационной схемы ЭМ: масштабных коэффициентов передачи операционных блоков, карт настройки нелинейных блоков, если модель нелинейная, а также значений машинных начальных условий и внешних воздействий.

Программирование сводится к составлению структурной схемы машинной модели для воспроизведения на АВМ решения заданного уравнения САУ [35].

Основное преимущество метода структурного моделирования состоит в определенном **топологическом сходстве** структурной схемы модели и структурной схемы моделируемой системы. Под указанным сходством понимают такое **соответствие**, при котором все **исходные** математические переменные имеют аналоги среди машинных переменных модели. Кроме того, все звенья исходной структурной схемы обязательно отображаются в модели отдельными операционными блоками или эквивалентной схемой их соединений.

Все это позволяет программировать модель **позвенно**, используя для типовых звеньев САУ специально разработанные

ционирования последней во времени при различных сочетаниях значений параметров системы и внешней среды. Причем часть входных **воздействий** системы (а может быть, и все) носят случайный характер. Поэтому имитационное моделирование не ограничивается разработкой имитационной модели и требует подготовки, планирования, проведения и обработки результатов статистического эксперимента-

Ей зависимости от назначения проводимых исследований с помощью ППМ **Simulink** можно проводить один из трех наиболее распространенных видов имитационных экспериментов:

- исследование относительного влияния различных факторов на выходные характеристики системы;
- нахождение аналитической зависимости между интересующими исследователя выходными характеристиками и варьируемыми факторами;
- отыскание оптимальных **значений** параметров системы.

Однако это совсем не означает, что с помощью ППМ **Simulink** можно проводить только имитационное моделирование. С помощью данного ППМ можно осуществлять и аналитическое, и имитационное, и **аналитико-имитационное** моделирование систем управления. Данный ППМ позволяет строить модели и исследовать с их помощью переходные и установившиеся процессы любых реальных САУ: детерминированных и стохастических, линейных и нелинейных, стационарных и нестационарных, непрерывных, дискретных, дискретно-непрерывных, в том числе систем прямого цифрового управления и адаптивных САУ.

Совместно с **Simulink** можно использовать и другие пакеты расширения системы **MATLAB**. Например, пакет **Non-linear Control Design (NCD) Blockset** [37] совместно с **Simulink** реализует метод динамической оптимизации. В частности, он предназначен для настройки параметров регуляторов на заданные показатели качества переходных процессов одномерных и многомерных систем с переменными параметрами.

Разработка моделей САУ в виде блок-диаграмм основана на технологии **Drag-and-Drop** («перетаски и оставь»). Смысл ее заключается в том, что пользователь может «перетаскивать»

(буксировать) выделенный блок из одного окна в другое. В частности, из окна **Simulink Library Browser**, содержащего перечень основных разделов с функциональными блоками библиотеки **Simulink**, в окно **untitled**, в котором строится блок-диаграмма модели исследуемой САУ. Указанные окна открываются при запуске **Simulink**, который можно произвести, либо нажав соответствующую кнопку на панели меню, либо выбрав команду **New Model** в разделе **File** главного меню командного окна **MATLAB**.

Каждый блок, входящий в библиотеку **Simulink**, имеет по крайней мере один параметр настройки. Задавая требуемое значение параметра (или выбирая его из предлагаемого меню), пользователь имеет возможность скорректировать функцию, реализуемую данным блоком. Чтобы открыть окно настройки параметров, нужно дважды щелкнуть ЛКМ (левой клавишей «мыши») на изображении блока. Однако возможность изменения значения параметров появится лишь тогда, когда блок будет помещен в окно блок-диаграммы.

Окна настройки параметров всех блоков имеют идентичную структуру и содержат краткую характеристику блока, поле ввода или выбора значений параметров и четыре кнопки: **Apply**, **Help**, **Cancel** и **OK**. При этом изменение значений параметров блока вступает в силу лишь после нажатия кнопки **Apply**.

Помимо настройки параметров блоков перед запуском модели на исполнение устанавливаются параметры моделирования. Они устанавливаются на вкладке **Solver** в диалоговом окне **Parameters** раздела **Simulation** меню окна блок-диаграммы. На этой вкладке может быть произведено следующее:

- **Simulation time**, т.е. установка интервала времени моделирования, величина которого задается посредством указания начального (**Start time**) и конечного (**Stop time**) значений модельного времени;
- **Solver options**, т.е. выбор метода расчета модели с помощью двух выпадающих меню.

Первое меню **Type** позволяет выбрать способ изменения модельного времени: с переменным шагом (**Variable-step**) или

с фиксированным шагом (Fixed-step). Как правило, Variable-step используется для моделирования непрерывных систем, а Fixed-step — дискретных и дискретно-непрерывных.

Второе меню, расположенное справа, позволяет выбрать метод расчета нового состояния моделируемой системы. При этом первый пункт меню (discrete) обеспечивает расчет дискретных состояний системы (и для непрерывного, и для дискретного времени переходов ее из состояния в состояние). А остальные пять пунктов меню обеспечивают выбор метода расчета нового состояния для непрерывных систем. Эти методы различны для непрерывного времени (Variable-step) и для дискретного времени (Fixed-step), но основаны на единой методике — решении обыкновенных дифференциальных уравнений.

Под полем меню Type находится строка редактирования, название которой меняется в зависимости от выбранного способа изменения модельного времени. Для Fixed-step она называется Fixed-step size и позволяет указывать величину шага моделирования. При выборе Variable-step данная строка получает имя Max step size (максимальная величина шага) и соответственно содержит предельно допустимое значение шага моделирования.

По умолчанию величина шага моделирования для обоих способов изменения модельного времени устанавливается автоматически (auto) в соответствии с параметрами настройки блоков модели.

При моделировании непрерывных систем с использованием переменного шага (Variable-step) необходимо указать также точность вычислений: относительную (Relative tolerance) и абсолютную (Absolute tolerance). По умолчанию они равны соответственно $1 \cdot 10^{-3}$ и $1 \cdot 10^{-6}$. Кроме того, для указанного класса систем можно задать начальное значение шага моделирования в поле Initial step size.

Запуск модели САУ на исполнение можно произвести, нажав соответствующую кнопку меню либо выбрав команду Start в разделе Simulation главного меню окна блок-диаграммы.

Следует заметить, что в состав MATLAB входят и другие пакеты расширения. Например, Control System Toolbox [26], который предназначен для анализа и синтеза линейных

непрерывных и **дискретных** систем. Для описания систем управления в этом пакете можно использовать три формы ММ. Две из них в виде передаточных **функций** и одна в виде системы дифференциальных уравнений САУ в пространстве состояний. Этот пакет позволяет:

- преобразовывать одну форму ММ в другую;
- понижать порядок и формировать канонические формы математических моделей;
- получать переходную и импульсную переходную функции;
- строить корневой годограф, амплитудно-фазовую и логарифмические **амплитудно- и фазочастотные** характеристики;
- вычислять запасы устойчивости по модулю и фазе;
- **создавать** модели систем управления со случайными **параметрами** и моделировать процессы при произвольных входных сигналах;
- исследовать управляемость и наблюдаемость;
- проводить синтез непрерывных и дискретных регуляторов, наблюдателей и фильтров **Калмана** для оценки переменных состояния.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник. В 3 т./ Под ред. Н.Д. Егупова. М.: Изд-во МГТУ, 2000. Т. 1 — 748 с. Т. 2 — 736 с. Т. 3 — 748 с.
2. Теория управления: Учебник для вузов. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 1999. — 435 с.
3. Современная прикладная теория управления. В 3 ч. Ч. 1. Оптимизационный подход в теории управления/ Под ред. А.А. Колесникова. Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2000. — 400 с.
4. *Андреев Ю.Н.* Управление конечномерными объектами. М.: Наука, 1976. — 424 с.
5. Анализ и оптимальный синтез на ЭВМ систем управления / Под ред. А.А. Воронова и И.А. Огурка. М.: Наука, 1984. — 344 с.

6. *Бутковский А.Г.* Методы управления системами с распределенными параметрами. М.: Наука, 1975. — 568 с.
7. *Бутковский А.Г.* Структурная теория распределенных систем. М.: Наука, 1977, — 320 с.
8. *Бутковский А.Г.* Характеристики систем с распределенными параметрами. М.: Наука, 1979.
9. *Бутковский А.Г., Малый С.А., Андреев Ю.Н.* Управление нагревом металла. М.: Металлургия, 1981. — 271 с.
10. *Васильева А.Б., Бутузов В.Ф.* Асимптотические методы в теории сингулярных возмущений. М.: Высш. шк., 1990. — 208 с.
11. *Воронов А.А.* Основы теории автоматического управления: Особые линейные и нелинейные системы. М.: Энергоиздат, 1981. — 303 с.
12. *Дегтярев Г.Л., Сиразетдинов Т.К.* Теоретические основы оптимального управления упругими космическими аппаратами. М.: Машиностроение, 1986.
13. *Дидук Г.А., Золотое О.И., Пустыльников Л.М.* Специальные разделы теории автоматического регулирования и управления (теория СРП). Учебное пособие/ Предисловие А.Г. Бутковского. СПб.: СЗТУ, 2000.
14. *Зенкевич О., Морган К.* Конечные элементы и аппроксимация. М.: Мир, 1986. — 318 с.
15. *Коваль В.А.* Спектральный метод анализа и синтеза распределенных управляемых систем. Саратов: СГТУ, 1997. — 192 с.
16. *Кошляков Н.С., Глинер Э.Б., Смирнов М.М.* Уравнения в частных производных математической физики. М.: Наука, 1970. — 710 с.
17. *Маковский В.А.* Динамика металлургических объектов с распределенными параметрами. М.: Металлургия, 1971. — 384 с.
18. *Мартыненко Н.А., Пустыльников Л.М.* Конечные интегральные преобразования и их применение к исследованию систем с распределенными параметрами. М.: Наука, 1986. — 303 с.
19. *Рапопорт Э.Я.* Оптимизация процессов индукционного нагрева металла. М.: Металлургия, 1993. — 277 с.
20. *Рапопорт Э.Я.* Альтернативный метод в прикладных задачах оптимизации. М.: Наука, 2000.
21. *Рапопорт Э.Я.* Структурное моделирование объектов и систем управления с распределенными параметрами/ Предисловие А.Г. Бутковского. М.: Высш. шк., 2003.

22. Рей У. Методы управления технологическими процессами. М.: Мир, 1983. — 368 с.
23. Сиразетдинов Т.К. Оптимизация систем с распределенными параметрами. М.: Наука, 1977. — 463 с.
24. Техническая кибернетика. Теория автоматического регулирования. Кн. 2. Анализ и синтез линейных непрерывных и дискретных систем автоматического регулирования / Под ред. В.В. Солодовникова. М.: Машиностроение, 1967.
25. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. М.: Наука, 1977. — 736 с.
26. Фельдбаум А.А., Бутковский А.Г. Методы теории автоматического управления. М.: Наука, 1971. — 744 с.
27. Чермак И., Петерка В., Заворка И. Динамика регулируемых систем в теплоэнергетике и химии. М.: Мир, 1972. — 623 с.
28. Алексаков Г.Н., Гаврилин В.В., Федоров В.А. Персональный аналоговый компьютер АВК-6. М.: Инженерный центр МИФИ, 1989. — 72 с.
29. Елсуков В.С., Пятина О.Н., Савин М.М. Методические указания по применению ППМ Arcad, CALISTO, МАСС, МДС/ПК. Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2003.
30. Имаев Д.Х. Анализ и синтез систем управления с применением программы CLASSiC для ПЭВМ: Учеб. пособие. СПб.: ЭТИ, 1992.
31. Дьяконов В.П. Справочник по математической системе Mathematica 2 и 3. М.: СК-ПРЕСС, 1998.
32. Дьяконов В.П. Система MathCAD: Справочник. М.: Радио и связь, 1993.
33. Гултыяев А. МАТЛАБ.2. Имитационное моделирование в среде Windows: Практич. пособие. СПб.: КОРОНА-принт, 1999. — 228 с.
34. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем: Учебник для вузов. М.: Высш. шк., 2001. — 343 с.
35. Урмаев А.С. Основы моделирования на аналоговых вычислительных машинах, М.: Наука, 1978. — 272 с.
36. Дьяконов В. МАТЛАВ: Учебный курс. СПб.: Питер, 2001. — 560 с.
37. Дьяконов В., Круглое В. МАТЛАВ. Анализ, идентификация и моделирование систем. Специальный справочник. СПб.: Питер, 2002. — 448 с.

3.3.2 Содержание специальной части по построению устройств и систем на основе микропроцессорной техники: ЭВМ, микроконтроллеров и микропроцессоров

3.3.2.1 Общие сведения об использовании микропроцессорной техники в дипломном проектировании

Подавляющее большинство дипломных проектов по специальностям 210100, 200400 и другим родственным специальностям выполняется с использованием средств микропроцессорной техники. Умелое применение микропроцессорных средств в дипломном проектировании является показателем достижения студентом требуемого уровня квалификации: инженера электронной техники, инженера-электрика, инженера-схемотехника.

Однако применение микропроцессорной техники при проектировании устройств должно быть технически и экономически обоснованным.

Техническое обоснование — это выявление характеристик, функциональных возможностей устройства, которые значительно улучшаются или расширяются при использовании выбранных микропроцессорных средств. При этом должно быть показано, что достичь этих характеристик, используя другую элементную базу (интегральные матричные схемы, программируемые интегральные схемы, дискретные элементы), сложно или технически нецелесообразно.

Экономическое обоснование предполагает определение прямой или косвенной экономии денежных средств, которая возникнет при производстве либо при эксплуатации данного устройства в случае использования выбранных микропроцессорных средств.

3.3.2.2 Характер использования микропроцессорной техники в проектируемых устройствах

Применение микропроцессорной техники в проектируемых устройствах носит различный характер:

- *во-первых*, микропроцессорные устройства могут использоваться как **главные** управляющие блоки в проектируемой системе, которые обеспечивают **управление, координацию** работы всех остальных узлов проектируемой системы;
- *во-вторых*, микропроцессорная техника может использоваться для выполнения строго ограниченных функций в проектируемой электронной системе, в некоторых случаях вспомогательных (обеспечение **ввода-вывода информации**, первичной обработки информации, обслуживание различных устройств хранения информации).

В первом случае говорят о разработке *микропроцессорной системы*, которая может включать несколько микропроцессорных контроллеров, взаимодействующих между собой, большое количество периферийных устройств, датчиков и устройств сопряжения. Эта система может быть распределенной иерархической и включать управляющие ЭВМ верхних уровней. Разработку сложных микропроцессорных систем ведут, как правило, в рамках комплексных дипломных проектов **либо** ограничиваются подробной разработкой только конкретных блоков системы.

Во втором случае говорят о разработке *локального микропроцессорного устройства* в рамках проектируемой электронной системы.

Следует подчеркнуть, что специальная часть дипломного проекта может быть **посвящена** не только разработке новой системы, **но и модернизации** уже существующих как микропроцессорных, так электронных систем. Выполнение данной тематики должно определяться потребностями предприятий, на которых студент проходит практику.

Модернизация может заключаться как в построении дополнительного микропроцессорного устройства к уже существующей системе, так и в переработке существующих устройств системы с использованием современной микропроцессорной техники.

В зависимости от того, осуществляется ли в **рамках** **специальной** части проекта разработка либо модернизация, зависит и характер работы студента на преддипломной **практике**.

В первом случае в результате преддипломной практики студент должен осуществить подборку и разработку следующих документов для проекта:

- подробное описание назначения, работы и структурной схемы объекта, для которого осуществляется проектирование системы;
- описание и анализ подобных существующих систем с выбором способа построения;
- общий алгоритм работы проектируемой системы;
- технические требования и требуемые характеристики системы (техническое задание к проекту);
- структурной схемы проектируемой системы;
- предварительной оценки способов и микропроцессорной базы построения системы с техническим и экономическим обоснованием;
- разбиение функций системы на программно и аппаратно реализуемые.

В случае модернизации системы в результате практики студент должен:

- подробно описать назначение, структуру и работу существующей системы;
- выявить недостатки системы, требующие ее модернизации;
- обосновать техническую и экономическую целесообразность модернизации;
- на основе анализа подобных существующих систем определить основные пути модернизации;
- оценить требуемые технические характеристики проектируемого устройства, составить техническое задание на проект;
- подробно до уровня принципиальных, функциональных схем разобраться с работой и принципом построения модернизируемого блока или блоков, с которыми непосредственно взаимодействует модернизируемый блок;
- составить алгоритм работы модернизируемого блока и структурную схему модернизированной системы;

- осуществить предварительное разбиение функций системы на программно и аппаратно реализуемые.

Эти результаты оформляются как отчет по преддипломной практике и по существу являются выполнением одной главы дипломного проекта.

»

3.3.2.3 Классификация микропроцессорных систем и особенности проектирования

Все разрабатываемые микропроцессорные устройства и системы можно условно классифицировать на три типа:

- Системы *программно-логического управления (ПЛУ)*, в которых все сигналы, измеряемые на объекте (**входные**), и **все** сигналы управления, подаваемые на объект (**выходные**), носят логический характер. Основные алгоритмы управления в таких системах реализуют вычисления логических функций и выходных значений конечных логических автоматов с **памятью**.
- Системы *сбора и обработки информации (СОИ)*, основные функции которых — сбор информации с большого числа распределенных датчиков, циклический контроль измеряемых параметров, сохранение измеренных значений и первичная обработка. Основные алгоритмы в таких системах реализуют обработку сигналов на основе цифровой фильтрации, спектрального анализа, группировки и распознавания сигналов, идентификации процессов, сжатия и архивации данных, реализации протоколов передачи данных и другие первичные преобразования. Зачастую эти системы используют распределенные базы данных для хранения накопленной информации.
- Системы *цифрового автоматического управления (ЦАУ)*, основное назначение которых — реализация управления путем воздействия на объект в соответствии с законом управления на основе измеренных и вычисленных параметров. Основные алгоритмы этих систем реализуют функции регуляторов, описанных в виде **z-передаточных функций** или в пространстве состояний; функции **нечет-**

ких регуляторов; функции наблюдателей состояния; оптимальных регуляторов и фильтров; функции идентификации объектов или процессов и др.

Разработку каждой из перечисленных систем можно рассматривать как триединую задачу, включающую:

- разработку математических алгоритмов функционирования, на основе расчета и проектирования регуляторов, фильтров, логических функций или автоматов, наблюдателей, систем распознавания и идентификации и т.п;
- разработку аппаратных средств системы;
- разработку программного и информационного обеспечения.

Каждый из перечисленных этапов должен быть отражен в дипломном проекте. Однако если система достаточно сложная, то задача ее проектирования по объему может выходить за рамки одного проекта. В этой связи встает проблема сочетания различной глубины проработки системы в целом и ее отдельных модулей, а также определение степени решения каждой из задач проектирования в дипломном проекте. Эти проблемы должны решаться совместно студентом с руководителями дипломного проекта от университета и предприятия, предложившего тему дипломного проекта. Они должны быть четко определены в техническом задании к дипломному проектированию.

В большинстве проектов реализуется следующий подход. Проектирование системы в целом осуществляется до уровня структурных или функциональных схем, при этом разрабатывается общая схема алгоритма функционирования системы в целом, а проектирование выбранного отдельного модуля системы доводится до уровня принципиальных схем, подробного алгоритма функционирования. Отдельные процедуры общего алгоритма функционирования, как правило, связанные с обслуживанием построенного модуля, детализируются, а затем реализуются и отлаживаются на выбранном языке программирования (низкого или высокого уровня) и приводятся в приложении к дипломному проекту. Разработка информационного обеспечения осуществляется в случае реализации в

системе **информационной** базы данных, зачастую распределенной.

При прохождении преддипломной **практики** на предприятиях студенту важно определить такую тему дипломного проекта, которая соответствовала бы выпускающим специальностям: **210100, 200400** или иной подобной. Для облегчения этого выбора рассмотрим возможные варианты реальных микропроцессорных систем, которые могут являться темой проекта.

Так, вариантами **системы программно-логического управления**, которые являются более простыми с точки зрения алгоритмов работы, программной и **аппаратной** реализации, могут быть:

- а) микропроцессорные системы защит силовых устройств (трансформаторов, генераторов);
- б) различные системы передачи данных с кодированием и декодированием передаваемой информации;
- в) автоматические телефонные системы (**автодозвона**, определения номера и др.);
- г) разветвленные системы охранной и **пожарной** сигнализации;
- д) автоматические регистраторы срабатывания реле защит с определением и ликвидацией аварийных ситуаций;
- е) системы управления некоторым бытовым и **промышленным** оборудованием.

Системы **сбора и обработки информации**, как правило, представляют собой распределенные иерархические **информационно-измерительные** микропроцессорные системы. Важную роль в таких системах играют **принципы взаимодействия** контроллеров и ЭВМ различных уровней иерархии, а также реализуемые алгоритмы первичной обработки и хранения **информации**. При проектировании таких систем необходимо **изначально** четко определить функции, выполняемые каждым контроллером и ЭВМ в системе. Эти системы могут предполагать **подробную** разработку **информационного обеспечения** в форме различных распределенных баз данных, моделей данных и т.п.

Вариантами систем **сбора и обработки информации**, разрабатываемыми в дипломе, могут быть:

- а) различные системы контроля потребления энергии и других ресурсов;
- б) микропроцессорные системы мониторинга окружающей среды;
- в) микропроцессорные системы медицинской диагностики;
- г) системы технической диагностики и поиска неисправностей;
- д) системы контроля параметров сложных технических объектов;
- е) системы учета количества и проверки качества выпускаемой продукции;
- ж) тренажерные системы;
- з) системы на основе глобальных (Internet) и локальных вычислительных сетей.

Системы *цифрового автоматического управления* имеют широкое распространение в технике и на **производстве**, однако им **свойственно** более сложное алгоритмическое (в частности, математическое) и программное обеспечение. Характеризуются они различными показателями качества управления, теоретической же базой их проектирования является теория цифровых систем управления. При дипломном проектировании этих систем возможны два подхода:

- первый подход, с выделением и подробной разработкой этапа математического анализа, идентификации объекта **управления** и структурно-параметрического синтеза регулятора в ущерб другим этапам;
- второй подход, с выделением и подробной разработкой не менее важной части программно-аппаратной реализации функций управления в системе (разработки структур **управляющих** программ с применением современных методик **программирования**, особых приемов и методов программной реализации, отладки, **эмуляции**, взаимной увязки программных и аппаратных средств и т.п.).

Вариантами систем **ЦАУ**, разрабатываемыми в дипломном проекте, могут быть:

- а) различные микропроцессорные системы управления приводами транспортных средств;

- б) системы программного управления приводами станков с ЧПУ;
- в) системы управления технологическими процессами в электроэнергетике, химической, пищевой или легкой промышленности;
- г) локальные системы управления параметрами различных технических, транспортных или технологических объектов.

Названия тем дипломных проектов, посвященных разработке систем ПЛУ, СОИ и ЦАУ, могут звучать следующим образом:

- микропроцессорная система управления компрессорами газоперекачивающей станции;
- микропроцессорная система охранной и пожарной сигнализации административного здания;
- локальное микропроцессорное устройство управления вышивальной машиной;
- микропроцессорная система диагностики работоспособности удаленных автоматических телефонных станций;
- иерархическая микропроцессорная система контроля потребления электроэнергии предприятием;
- распределенная микропроцессорная система учета потребления воды промышленным предприятием;
- микропроцессорная экспертная система диагностики кардиологических заболеваний;
- микропроцессорная система визуального контроля и распознавания объектов на транспортном конвейере;
- микропроцессорная система отбраковки постоянных магнитов;
- микропроцессорная система мониторинга состояния воздушного бассейна города;
- микропроцессорная система управления впрыском двигателя внутреннего сгорания автомобиля;
- микропроцессорная система управления тяговым приводом электровоза ЭП1;

- микропроцессорная система управления котлоагрегатом электростанции;
- микропроцессорная система управления поворотом спутниковой антенны.

Приведенные списки разрабатываемых систем не являются исчерпывающими, они приводятся для примерной ориентировки студента при выборе подходящей тематики на предприятиях.

3.3.2.4 Типовое содержание специальной части дипломных проектов, посвященных разработке и модернизации микропроцессорных систем

Содержание включает примерное название глав и параграфов специальной части и различается в зависимости от типа разрабатываемой микропроцессорной системы. Так, типовое содержание специальной части и приблизительный перечень чертежей дипломного проекта, посвященного разработке системы *программно-логического управления*, имеют такой вид:

1. Анализ вариантов реализации системы и разработка технического задания.

- 1.1. Описание работы объекта автоматизации и его технические характеристики. Определение задач и целей логического управления.
- 1.2. Анализ известных вариантов построения подобных систем управления.
- 1.3. Разработка технического задания на проектирование системы логического управления и построение структурной схемы системы.

2. Математическое описание системы управления и общего алгоритма работы регулятора.

- 2.1. Составление общего алгоритма логического управления. Определение входных и выходных сигналов логического регулятора.
- 2.2. Описание алгоритма работы в форме конечного логического автомата (логической функции).
- 2.3. Математическое моделирование работы логического

регулятора и проверка работоспособности с использованием прикладных программных пакетов.

2.4. Определение требований к микропроцессорному(ным) контроллеру(рам).

3. Разработка функциональных и принципиальных схем блоков системы логического управления.

3.1. Разработка функциональной схемы системы (или отдельных блоков) логического управления и описание работы. Определение возможности применения промышленных контроллеров. Выбор типа микропроцессора.

3.2. Выбор типов датчиков, исполнительных устройств. Выбор и расчет основных параметров каналов связи.

3.3. Выбор элементной базы и разработка принципиальных схем блоков системы.

3.3.1. *Краткая характеристика используемых интегральных схем и обоснование выбора.*

3.3.2. *Проверочный расчет отдельных узлов принципиальной схемы. Моделирование их работы с использованием прикладных пакетов.*

3.3.3. *Описание принципиальных схем блоков системы.*

3.3.4. *Оценка электропотребления построенных блоков.*

3.4. Экспериментальное исследование работоспособности отдельных модулей системы на макетных образцах. Составление инструкций по наладке.

4. Разработка алгоритмов работы и программного обеспечения системы ПЛУ.

4.1. Выбор способа программной реализации логического автомата (логической функции) управления.

4.2. Разработка подробных алгоритмов отдельных процедур из общего алгоритма управления.

4.3. Выбор инструментальной системы разработки и языка программирования. Описание и отладка отдельных подпрограмм.

4.4. Контрольный пример оценки работоспособности составленных подпрограмм.

5. Экспериментальное исследование построенной микропроцессорной системы. Оценка технических характеристик системы.

6. Конструкторско-технологическая реализация одного из блоков системы и расчет эксплуатационной надежности.

Приложение. Листинги разработанных и отлаженных программ системы управления.

Чертежи:

1. Структурная схема системы логического управления (вместе с объектом управления).
2. Функциональная схема проектируемой системы логического управления (или отдельных проектируемых блоков).
3. **Принципиальные** схемы проектируемых блоков системы логического управления.
4. Схема общего алгоритма **функционирования системы** управления.
5. Структурная схема программного обеспечения системы.
6. **Схемы** алгоритмов отдельных процедур.
7. Граф состояний разработанного логического автомата (если есть).
8. **Конструкторско-технологическая** разработка (плата печатная для одного из блоков).

Типовое содержание специальной части и приблизительный перечень чертежей дипломного проекта, посвященного разработке системы сбора и обработки информации:

1. Анализ вариантов реализации и структур системы СОИ. Разработка технического задания.

1.1. Описание работы объекта контроля и его технические характеристики. Определение задач и целей сбора и обработки информации.

1.2. Анализ известных вариантов построения **подобных систем.** Определение требуемого количества микропроцессорных контроллеров в системе.

- 1.3. Разработка технического задания на проектирование системы СОИ и построение структурной схемы системы.
- 2. Математическое описание алгоритмов первичной обработки информации и общего алгоритма работы системы.**
 - 2.1. Составление общего алгоритма работы системы. Определение количества и диапазонов изменения контролируемых сигналов объекта.
 - 2.2. Разработка и описание алгоритмов первичной обработки информации (фильтрации, распознавания, быстрого преобразования Фурье (БПФ) и др.).
 - 2.3. Математическое моделирование работы систем первичной обработки и проверка работоспособности с использованием прикладных программных пакетов. Определение основных характеристик.
 - 2.4. Разработка информационной модели данных, реализуемых баз данных.
 - 2.5. Определение требований к микропроцессорному(ным) контроллеру (рам) и ЭВМ.
- 3. Разработка функциональных и принципиальных схем блоков системы СОИ.**

Название параграфов данной главы подобно параграфам главы 3 содержания специальной части системы ПЛУ. Можно только добавить, если необходимо, параграф об особенностях использования локальных вычислительных сетей, сети Internet в системе.

- 4. Разработка алгоритмов работы и программного обеспечения (ПО) системы СОИ.**
 - 4.1. Выбор способа программной реализации цифрового фильтра (или другого первичного преобразователя информации).
 - 4.2. Описание** и разработка протоколов взаимодействия отдельных контроллеров системы.
 - 4.3. Разработка подробных **алгоритмов** отдельных **процедур** из **общего алгоритма работы системы**.
 - 4.4. Выбор инструментальной системы разработки ПО и**

языка программирования. Описание и отладка отдельных подпрограмм.

4.5. **Контрольный** пример оценки работоспособности составленных подпрограмм.

5. **Экспериментальное исследование построенной микропроцессорной системы. Оценка технических характеристик системы.**

6. **Компьютерно-технологическая реализация одного из блоков системы и расчет эксплуатационной надежности.**

Приложение. Листинги разработанных и отлаженных программ системы управления.

Чертежи:

1. Структурная схема системы СОИ (вместе с объектом контроля).
2. Функциональная схема проектируемой системы СОИ (или отдельных проектируемых блоков).
3. Принципиальные схемы проектируемых блоков системы СОИ.
4. Схема общего алгоритма функционирования системы.
5. Схемы алгоритмов отдельных процедур.
6. Статические и динамические характеристики цифровых фильтров. Общие схемы (алгоритмы) первичных преобразований информации.
7. Форматы кадров сообщений между контроллерами. Алгоритм взаимодействия между контроллерами.
8. Схемы структурные информационных моделей данных, разрабатываемых баз данных.
9. Компьютерно-технологическая разработка (плата печатная для одного из блоков).

Типовое содержание специальной части и приблизительный перечень чертежей дипломного проекта, посвященного разработке системы цифрового автоматического управления:

1. **Анализ вариантов реализации системы цифрового управления и разработка технического задания.**

1.1. Описание работы объекта управления и его техничес-

кие характеристики. Определение задач и целей цифрового управления. Определение математической модели объекта.

- 1.2. Анализ известных вариантов построения подобных систем управления.
- 1.3. Разработка технического задания на проектирование системы цифрового управления и построение структурной схемы системы.

2. Математическое описание системы управления и общего алгоритма работы регулятора.

- 2.1. Составление общего алгоритма управления. Определение входных и выходных сигналов регулятора.
- 2.2. Выбор типа регулятора и расчет его основных параметров. Определение алгоритмов фильтрации, идентификации или оценивания (если необходимо).
- 2.3. Математическое моделирование работы регулятора и проверка работоспособности с использованием прикладных программных пакетов. Оценка требуемых параметров АЦП и ЦАП. Выбор частоты дискретизации.
- 2.4. Определение требований к микропроцессорному(ным) контроллеру(рам).

3. Разработка функциональных и принципиальных схем блоков системы цифрового управления.

Название параграфов данной главы подобно параграфам аналогичной главы содержания специальной части систем ПЛУ.

4. Разработка алгоритмов работы и программного обеспечения системы цифрового управления.

- 4.1. Выбор способа программной реализации цифрового регулятора (фильтра, метода идентификации или оценивания).
- 4.2. Разработка подробных алгоритмов отдельных процедур из общего алгоритма управления.
- 4.3. Выбор инструментальной системы разработки программного обеспечения и языка программирования. **Описание и отладка** отдельных подпрограмм.

4.4. Контрольный пример оценки работоспособности составленных подпрограмм.

5. Экспериментальное исследование построенной микропроцессорной системы. Оценка технических характеристик системы.

6. Конструкторско-технологическая реализация одного из блоков системы и расчет эксплуатационной надежности.

Приложение. Листинги разработанных и отлаженных программ системы управления.

Чертежи:

1. Структурная схема системы цифрового управления (вместе с объектом управления).
2. Функциональная схема проектируемой системы управления (или отдельных проектируемых **блоков**).
3. Принципиальные схемы **проектируемых блоков** системы управления.
4. Структурная схема программного обеспечения системы управления.
5. Схема общего алгоритма функционирования системы управления.
6. Схемы алгоритмов отдельных процедур.
7. Схема математического моделирования системы управления для выбранного программного пакета.
8. Статические и динамические характеристики системы управления.
9. **Конструкторско-технологическая** разработка (плата печатная для одного из блоков).

В случае *модернизации* уже **существующих** микропроцессорных систем названия некоторых глав и параграфов претерпят изменения. Так, первая глава в этом случае может называться:

1. «Анализ вариантов модернизации системы **цифрового** управления и разработка технического задания».

И в названиях параграфов этой главы сочетания «проектирование системы», «разработка системы» заменяются соче-

танием «модернизация системы». В последующих главах и параграфах должна указываться и рассматриваться **только** модернизируемая часть.

Приведенные типовые содержания специальной части дипломного проекта можно рассматривать как расширенные. При выполнении конкретной темы проекта **отдельные** параграфы могут быть изъяты, и наоборот, **могут** быть добавлены другие параграфы, характерные для разрабатываемой темы.

Уточнение содержания специальной части осуществляется студентом **совместно** с руководителем проекта в соответствии с темой и материалом, собранным студентом за время **преддипломной** практики. При уточнении содержания проекта в заголовки параграфов необходимо включать конкретные названия **разрабатываемых** систем, блоков.

Отсутствие экспериментальной части в проекте может заменяться математическим моделированием работы системы (**схемы**) с использованием пакетов прикладных программ, эмуляцией и отладкой программ.

3.3.2.5 Основные этапы разработки и модернизации микропроцессорных систем

Содержание дипломного проекта является отражением основных этапов реального проектирование и модернизации любой микропроцессорной системы [1, 2, 3]. Одной из основных задач дипломной работы и является подробное знакомство студента с этапами реального проектирования микропроцессорной системы на производстве. Перечислим эти этапы:

- *системный анализ* объекта контроля и проектируемой микропроцессорной системы;
- *выбор типа используемого микропроцессора*, однокристалльного контроллера и определение структуры микропроцессорного контроллера;
- *разработка аппаратных средств* микропроцессорной системы;
- *разработка программного и информационного обеспечения* микропроцессорной системы;

- совместная отладка программного обеспечения и аппаратных средств; оценка характеристик построенной системы.

Следует отметить, что каждый из этапов проектирования может описываться в различных главах содержания специальной части. Рассмотрим подробнее содержание каждого из перечисленных этапов проектирования и модернизации системы.

Выполняемые работы на каждом этапе опишем в хронологическом порядке, т.е. в порядке их выполнения. Это поможет студенту правильно организовать свою работу во время дипломного проектирования.

3.3.2.6 Системный анализ объекта контроля и проектируемой микропроцессорной системы

К основным работам, выполняемым на этом этапе проектирования, можно отнести:

- описание алгоритма работы объекта контроля или управления;
- анализ вариантов построения системы;
- разработка технического задания на проект;
- осуществление математического описания системы и математическое моделирование работы;
- составление общего алгоритма работы системы;
- разбиение функций системы на программно и аппаратно реализуемые;
- определение требований к микропроцессорным контроллерам, ЭВМ и другим устройствам системы;
- построение структурной схемы системы.

Дадим краткое пояснение каждому виду работ.

Вначале осуществляется подробный анализ объекта контроля и управления. Описывается назначение объекта. На основе построенной структурной схемы объекта составляется словесный алгоритм работы объекта. Приводятся основные технические характеристики объекта. Определяются основ-

ные цели и задачи, решаемые проектируемой микропроцессорной системой.

На основе патентного поиска, обзора периодической и другой литературы *анализируются возможные варианты* построения подобных систем управления. В настоящее время в качестве периодической литературы могут быть *рекомендованы журналы [4, 5, 6]* либо специальные журналы той области техники, к которой относится объект управления.

Результатом анализа является определение положительных и отрицательных сторон каждого из перечисленных вариантов реализаций и разработка своего варианта построения системы. Определяется требуемое количество контроллеров и ЭВМ в системе, а также структура их соединения (радиальная, магистральная, смешенная) и характер взаимодействия (с централизованным или децентрализованным управлением, иерархическая или *нет*, связанная или несвязная) [2, 7, 8]. Определяется количество и диапазон изменения контролируемых сигналов объекта, а также сигналов управления объектом.

Разрабатывается *техническое задание* на проектирование и обобщенная *структурная схема микропроцессорной системы*. Дается краткое экономическое и техническое обоснование предложенного варианта.

Техническое задание должно определять назначение, выполняемые функции, структуру разрабатываемой системы, основные технические параметры, также могут определяться элементная база, условия эксплуатации, параметры надежности работы устройства и другие важные технические характеристики.

В рамках данного этапа *осуществляют математическое описание* системы. Данный этап может предполагать идентификацию объекта. Далее исходя *из* целей и задач управления осуществляют выбор типа, расчет параметров и *описание регулятора* в форме *z-нерекурсивной функции* [9-12, 18], регулятора состояния [9, 10], конечного логического автомата [13, 14], логических функций [13, 14, 18], функций принадлежности нечеткого регулятора [19] или последовательности математических операций (например, в случае нелинейного, оптимального регулятора или фильтра) [9, 12]. Работа конечных

логических автоматов может поясняться на чертежах двоичным графом работы или *сетью* Петри [21].

При разработке *систем сбора и обработки*, к которым относятся системы автоматизации исследований, учета, контроля и диагностики, экспертные системы, *осуществляется* математическое описание следующих алгоритмов: адаптивной статической и динамической идентификации [9, 10, 12] (используя методы планирования эксперимента, *корреляционный метод идентификации*, модели АРСС или Бокса - Дженкинса, методы теорий нейронных сетей, нечетких множеств, частотные методы идентификации и др.), оценки *состояния* (используя наблюдатели состояния, фильтры Калмана и др.) [9, 10, 12], распознавания образов [19, 20], цифровой фильтрации [16, 17], быстрого преобразований Фурье [15], помехоустойчивого кодирования информации [22], обработки правил из базы знаний экспертных систем и др.

При математическом описании используемого алгоритма в системе осуществляется расчет требуемых для его реализации *параметров*, определение характеристик, форматов данных для хранения и преобразования информации. Определяется подробная последовательность математических действий, необходимая для его реализации в системе (*словесный математический алгоритм*). Осуществляется выбор частоты дискретизации сигналов в системе.

После определения реализуемых математических алгоритмов разрабатывается общий (укрупненный) *алгоритм работы микропроцессорной системы*, он может состоять из отдельных алгоритмов работы каждого контроллера или ЭВМ в системе.

На этапе разработки математического алгоритма определяются требования к микропроцессорным контроллерам:

- по точности и скорости *аналогово-цифрового и цифро-аналогового преобразования*;
- по скорости расчета *регулирующего воздействия* (частота дискретизации сигналов в системе), *времени реакции на изменение входной величины* (для логического регулятора);

- по **объему** хранимой *предыстории* управления объектом, **параметров**, следовательно, по требуемому объему памяти;
- по скорости передачи информации другим контроллерам или ЭВМ и др.

Формулируются требования к датчикам и исполнительным устройствам системы, нормирующим усилителям, согласующим устройствам. Эти требования включают диапазон изменения и параметры входных и выходных величин, максимальную допустимую погрешность преобразования и др. [23].

Если необходимо, осуществляется выбор того или иного принципа формирования управляющего воздействия — *модуляции* (АИМ, ШИМ, ЧИМ или другие) [24, 25]. Определяются основные параметры **устройств** формирования управляющих воздействий.

Все сформулированные требования включаются в *техническое задание* на проектирование.

После **математического** описания возможны *математическое моделирование* работы регулятора и проверка работоспособности реализуемых алгоритмов с использованием прикладных программных пакетов моделирования систем (Matlab (Simulink), MathCad, Maple, Mathematica, Statistica). В результате возможно уточнение требуемых параметров АЦП и ЦАП, например, определение минимальной допустимой разрядности. Определяются статические и динамические характеристики системы.

На основе общей схемы **алгоритма** работы системы *осуществляется разбиение всех функций системы на аппаратно и программно реализуемые*. Большинство функций могут быть реализованы либо программным, либо аппаратным способом. В первом случае требуется минимальное количество дополнительных аппаратных средств, но скорость выполнения функции может быть низкой. Во втором случае, наоборот, требуется использование специальных аппаратных средств, реализующих **функцию**, но при этом **скорость** выполнения функции выше, чем при программной **реализации**. Например, реализация арифметических операций в формате с плавающей точкой в системе может реализовываться либо в виде специ-

альных подпрограмм, либо с использованием специального устройства — арифметического **сопроцессора** или **специализированного** устройства, реализованного на основе программируемых логических **интегральных** схем (ПЛИС) [41]. Для реализации быстрых алгоритмов фильтрации, преобразования Фурье, вычисления сверток, разностных уравнений могут применяться специализированные сигнальные процессоры [8, 26, 33], что **обеспечит** при **необходимости** высокую скорость расчетов.

Предварительное разбиение функций по способу реализации осуществляется в соответствии с требуемым временем их выполнения и на основе оценки затрат на их аппаратную реализацию.

Аппаратно реализуемые функции определяют структуру аппаратной части микропроцессорной системы и находят отражение на *структурной схеме микропроцессорной системы*. Программно реализуемые определяют структуру **программного** обеспечения микропроцессорной системы и находят отражение на схемах алгоритмах программного обеспечения.

На *структурной схеме микропроцессорной системы* отображаются все используемые в системе МПК, ЭВМ (вплоть до их структуры), а также блоки, реализующие дополнительные функции на аппаратном уровне (устройства согласования с **объектом** — УСО, **исполнительные** устройства, датчики, устройства обеспечения связи, отсчета времени и др.). Обязательно на структурной схеме должны быть выделены блоки, которые подробно разрабатываются в проекте, а также блоки, с которыми они непосредственно взаимодействуют. Описание структурной схемы заключается в отражении названия и назначения каждого ее блока.

Информационная *структурная схема базы данных* или моделей данных может отображаться на чертежах в случае реализации в системе данных информационных структур.

Содержание данного этапа находит отражение в первой и второй главах специальной части пояснительной **записки**. Задачей студента является определение наполнения каждой из глав в соответствии с перечисленными работами.

3.3.2.7 Выбор типов используемых микропроцессоров, однокристалльных контроллеров и определение структуры микропроцессорных контроллеров

Основу любой микропроцессорной системы составляют микропроцессорные контроллеры (МПК). При этом программно реализуемые функции системы во многом определяют технические характеристики МПК, а точнее технические характеристики микропроцессорных устройств (однокристалльных микроконтроллеров (ОМК) или микропроцессоров (ОМП)), на основе которых и реализуется МПК. Основными характеристиками, по которым ведут выбор ОМК и ОМП, для МПК являются: разрядность процессора; быстродействие; объем адресуемой памяти (ОЗУ и ПЗУ); особенности системы команд.

Однако немаловажную роль при выборе ОМК и ОМП играет номенклатура встроенных периферийных устройств (таймеров, последовательных интерфейсов, параллельных портов ввода-вывода, АЦП, модулей ШИМ, модулей обработки прерываний и др.). возможность режимов пониженного электропотребления, характеристики питающего напряжения. В некоторых случаях промышленного применения контроллеров важны также следующие параметры: диапазон рабочих температур, потребляемая мощность.

Рассмотрим классификацию применяемых в настоящее время ОМК:

- *8-разрядные периферийные ОМК*, к которым можно отнести PIC-контроллеры (Microchip, <http://www.microchip.com>) [27, 28], контроллеры семейства UPI-42 (Intel, <http://www.intel.com>) [29], контроллеры AVR (Atmel, <http://www.atmel.com>) и другие подобные. Они используются для построения простых систем логического управления (PIC16C5X, PIC16C6X, I8042), небольших локальных систем цифрового автоматического управления, не требующих высокой скорости и точности (PIC16C7X, PIC17CXX, PIC1400), иногда они используются для построения «интеллектуальных» датчиков систем сбора и обработки информации. Часто эти ОМК используют как вспомогательные процессоры управления **ВВОДОМ-ВЫВО-**

- дом в контроллерах высокой и средней производительности.
- *8-разрядные универсальные ОМК*, к которым можно отнести контроллеры семейств MCS-48, MCS-51/151/251 (Intel, Atmel, <http://www.atmel.com> и других производителей) [29], контроллеры семейств HC5-HC11 (Motorola, <http://www.motorola.ru>) [32, 42] и другие подобные. Они используются для построения локальных МПК систем программно-логического, цифрового автоматического управления и систем сбора, обработки информации средней и малой производительности. Достаточная производительность, простота системы команд, внутренней архитектуры и большая номенклатура встроенных в ОМК дополнительных устройств определяет широкое распространение их в настоящее время.
 - *16-разрядные универсальные ОМК*, к которым можно отнести контроллеры семейств MCS-96/196/296 (Intel) [30], контроллеры семейства C16X (Infineon, <http://www.infineon.com>) [31], контроллеры семейств HC12, HC16 [32] (Motorola), Z8 (Zilog, <http://www.zilog.com>). Это высокопроизводительные контроллеры, предназначенные для использования в различных системах реального времени: цифрового, логического управления, сбора и обработки информации, системах связи, обработки речи и изображений, где требуется высокая скорость реакции на внешние события. Система команд этих контроллеров оптимизирована по быстродействию (RISC-архитектура) либо ориентирована на быструю обработку сигналов и включает специальные команды реализации нечетких регуляторов, быстрого вычисления сверток сигналов. Широкая номенклатура встроенных устройств (процессор событий, коммуникационный процессор, модули быстрой обработки прерываний) позволяет строить на его базе высокоэффективные распределенные микропроцессорные системы.
 - *32-разрядные ОМК*, к которым можно отнести контроллеры семейства ARM на основе расширенной RISC-архитектуры — THUMB с экономией памяти типа ARM7DTMI

(Atmel, Intel), контроллеры на основе процессорных ядер CPU32, ColdFire, PowerPC (Motorola) [32] и другие подобные. Используются в специальных системах, требующих достаточно высокой производительности, они реализуют команды сигнальной обработки. Быстродействие порядка 15–60 MIPS (такты частота до 350 МГц).

— *Контроллеры (процессоры) цифровой обработки сигналов (DSP)*, к которым относятся сигнальные процессоры семейства TMS320C3X/4X (Texas Instruments, <http://www.ti.com>), SHARC (Analog Device), μ PD77XX (NEC), K1813BE1 (Россия) и другие [33]. Они характеризуются либо высокой скоростью выполнения операций с плавающей точкой, либо системой команд, ориентированной на выполнение операций быстрого преобразования Фурье, фильтрации сигналов. Используются как вспомогательные процессоры в эффективных системах управления реального времени. Имеют разрядность АЛУ 16–32 бита и производительность до 120 MFLOPS (миллионов операций с плавающей точкой в секунду).

ОМП в настоящее время используются в промышленных МПК, однако при самостоятельной разработке контроллеров в проекте их использование не всегда оправдано. Это связано с необходимостью использования большого количества дополнительных внешних периферийных устройств. Но их использование возможно, если это выгодно с точки зрения унификации устройств, если имеется разработанное ПО, если тип ОМП диктуется потребителем, и в других подобных случаях.

ОМП, применяемые в МПК, — 16-, 32- или 64-разрядные, в основном IBM-используемые (180x86, Pentium I, III, K1810BM86) [34], либо 16–64-разрядные архитектуры фирмы Motorola, или простейшие 8-разрядные (18085, K1821BM85, Z80, MC68XX) [35] фирм производителей Intel, Motorola, Zilog и др.

Правильность выбора ОМП или ОМК для МПК по быстродействию в простейшем случае может быть оценена путем написания пробного фрагмента программы.

Для этого выбирается наиболее критичная к времени выполнения программно реализуемая функция системы. Эта функция кодируется на языке ассемблера выбранного ОМК (ОМП)

и затем подсчитывается время ее выполнения как суммарное время выполнения всех команд фрагмента. Если полученное время меньше либо равно максимально возможному, то выбор осуществлен верно. Иначе требуется, либо применить другой ОМК (ОМП), либо данную функцию реализовать аппаратно. Однако нужно помнить: применение высокопроизводительных ОМК (ОМП) увеличивает стоимость системы.

Определение времени выполнения фрагмента программы удобно осуществлять, используя инструментальные средства разработки ПО МПК — программы-симуляторы (программно-логические модели).

Разрабатывается или выбирается структура МПК на основе выбранного ОМК (ОМП) и исходя из требуемого количества каналов аналогового и дискретного ввода-вывода, объема требуемой памяти, номенклатуры периферийных устройств (таймеров, последовательных интерфейсов и др.). При этом важен выбор типа системной магистрали контроллера (ISA, PCI, VME, MultiBus II, И-41, I2C...) [36]; она определяет скорость обмена информацией между блоками контроллера.

При разработке или выборе МПК для проектируемой системы следует придерживаться следующей последовательности действий:

- подобрать промышленный микропроцессорный (ПМП) контроллер, удовлетворяющий техническим и экономическим требованиям, реализованный на основе выбранного ОМП (ОМК);
- реализовать микропроцессорный контроллер (МПК) самостоятельно на основе ОМК, если подобрать ПМП не удалось;
- реализовать микропроцессорный контроллер (МПК) самостоятельно на основе ОМП, если это выгодно с экономической или технической точки зрения.

Выбор промышленных МПК осуществляют по каталогам и техническим описаниям фирм производителей или распространителей, либо используя техническое описание в периодической литературе [4, 5, 6]. В настоящее время широко используются контроллеры следующих фирм производителей: Фитон (Москва), Каскод (С.-Петербург), РЕР (Германия),

Siemens (Германия), Motorola (США), Octagon Systems (США) и др.

Краткие сведения о выпускаемых контроллерах могут быть найдены на WEB-страницах фирм ProSoft (<http://www.prosoft.ru>), RTSoft (<http://www.rtsoft.ru>), Siemens (<http://www.siemens.ru>), Фитон (<http://www.phyton.ru>), Motorola (<http://www.motorola.ru>).

При выборе промышленного МПК немаловажную роль играет наличие развитого инструментального обеспечения по его программированию: кросс-компиляторов с языков высокого уровня, программ отладчиков, операционных систем реального времени, инструментальных сред разработки ПО с использованием CASE-средств.

Содержание данного этапа разработки системы находит отражение в 3-й главе специальной части пояснительной записки.

3.3.2.8 Разработка аппаратных средств микропроцессорной системы

Включает две стадии: разработки функциональных и разработки принципиальных схем блоков системы.

Начинается с построения *функциональной схемы микропроцессорной системы* иди разрабатываемых блоков. При этом каждый из блоков разбивается на субблоки. Предварительно определяются элементная база, тип интегральных схем реализации каждого субблока.

В случае разработки МПК должна быть приведена его функциональная схема, а также функциональные схемы всех разрабатываемых блоков системы.

На схеме должны быть отражены все субблоки, которые выполняют те или иные функции, определяющие работу контроллера или системы в целом. Субблоки должны объединяться шинами и управляющими сигналами, которые имеют обозначения (например: А0-А15, ШД, ЧТЗУ и др.). Степень детализации схемы должна быть достаточной, чтобы описать подробно все режимы работы контроллера или блоков и чтобы была понятна работа элементов принципиальной схемы, входящих в каждый блок.

Отдельные субблоки могут быть **детализированы** вплоть до обозначения, подобному обозначению на принципиальных схемах.

По функциональной схеме описывается работа (на уровне сигналов) проектируемых блоков и МПК.

Разрабатывается *карта распределения памяти* контроллера и карта распределения устройств **ввода-вывода** в адресном пространстве. Оценивается требуемый объем ОЗУ и ПЗУ контроллера.

Разработка *принципиальных схем* начинается с определения элементной базы реализации каждого блока системы. Осуществляются выбор и обоснование технологии используемых интегральных схем.

При реализации блоков или субблоков для уменьшения количества используемых микросхем, где это возможно, лучше применять специализированные программируемые СБИС, предназначенные **для** реализации подобных функций. К ним можно отнести программируемый периферийный адаптер I8255 Intel (K580BB55); универсальный синхронно-асинхронный последовательный приемопередатчик I8251 Intel (K580BB51), I8250 Intel; контроллер клавиатуры и индикаторов I8079 Intel (K580BB79) и др.

Модули ПЗУ контроллера реализуют на основе ИС Flash-памяти (с электрическим стиранием информации, **EEPROM**), что обеспечивает возможность изменения управляющих программ контроллера без замены ИС. Возможно применение в качестве ПЗУ ИС однократно программируемых (**PROM**) или с **ультрафиолетовым** стиранием (**EPROM**), но следует помнить, что в ряде производств применение последней запрещено или ограничено.

Модули энергонезависимой оперативной памяти реализуют на основе **КМОП** ИС ОЗУ статического типа с независимым источником питания (батареей, аккумулятором) или ИС Flash-памяти. Во втором случае необходимо оценить время безотказной работы по максимальному количеству циклов записи-стирания информации, а также следует учесть, что время записи информации во Flash-память на 1–3 порядка больше **времени** считывания.

Для уменьшения габаритных размеров модулей памяти возможно **использование** ИС памяти с последовательными

интерфейсами типа I2C, SPI, MicroWire, однако при их использовании возрастает время доступа к памяти.

Типы ИС ПЗУ и ОЗУ используются как отечественного, так и зарубежного производства, например, фирм Atmel, Microchip, Sumsung, UMC, Texas Instruments и др. Каталоги и краткие описания ИС можно найти на фирменных компакт-дисках или на WEB-серверах соответствующих фирм.

В качестве элементов индикации в контроллерах используют либо линейки семисегментных индикаторов, либо малогабаритные жидкокристаллические индикаторы и панели (фирм Bolymin и др.). Последние позволяют выводить практически любую символьную информацию на 2–4 строки по 20 символов в каждой, имеют встроенный контроллер индикаторов и просто подключаются к системной магистрали проектируемого микропроцессорного контроллера.

Далее осуществляют выбор элементов и расчет основных электронных узлов схемы контроллера и системы:

- нормирующих усилителей для АЦП и аналоговых коммутаторов;
- выходных каскадов исполнительных устройств: тиристорных или транзисторных схем;
- схем оптоэлектронной развязки;
- устройств согласования с линией связи;
- мостовых схемы реализации ШИМ для управления асинхронным двигателем или двигателем постоянного тока;
- схем формирования управляющих импульсов для тиристоров и др.

Определяется количество компенсирующих емкостей для цифровых интегральных схем, значение нагрузочных резисторов для схем с открытым коллектором и шин.

Если в системе происходит взаимодействие между контроллерами, ЭВМ, то осуществляется выбор используемого последовательного интерфейса (RS-232C, RS-485), промышленной сети — field bus (CAN, Profibus) [4, 5, 6] или локальной вычислительной сети (Ethernet, Arcnet, FastEthernet) [36, 40]. Производится выбор среды передачи: коаксиальный кабель, витая пара или оптическое волокно. При этом реализу-

ется или используется встроенный адаптер сети или последовательного интерфейса. Анализируется необходимость использования модемов.

Реализацию сложных комбинационных схем (например, селекторов адреса) или внешних логических автоматов удобно осуществлять с использованием матричных логических схем (ПЗУ, ПЛМ, ПЛИС (PLD, CPLD, FPGA, SOC)) [40, 41]. В случае их использования разрабатываются карты прошивок с использованием специального программного обеспечения.

Современные ПЛИС (программируемые логические интегральные схемы) позволяют реализовывать на их основе логические автоматы практически любой сложности. Например, возможна реализация на аппаратном уровне устройства быстрого преобразования Фурье, устройств, реализующих арифметические операции с плавающей точкой или быстрое вычисление управляющих воздействий по передаточным функциям регуляторов, и др. Как правило, скорость вычислений при этом выше, чем при реализации этих функций в микропроцессорных контроллерах на программном уровне. Существуют ПЛИС, позволяющие оперативно в процессе работы перегружать свою карту прошивки, тем самым изменять режим функционирования на аппаратном уровне. Подобные ПЛИС выпускаются фирмами Altera (<http://www.altera.com>), Atmel (<http://www.atmel.com>), Xilinx (<http://www.xilinx.com>). Для их прошивки используются специальные инструментальные среды разработки (например, MAX+PLUS II (Altera)), которые позволяют:

- осуществлять программирование структуры ПЛИС на специальных языках описания аппаратуры (AHDL, VHDL) [40, 41];
- отлаживать составленные программы на языках описания аппаратуры и схемы;
- измерять в режиме эмуляции время функционирования ПЛИС;
- осуществлять непосредственно программирование ПЛИС и др.

Таким образом, если ПЛИС используется в проекте,

приводится карта прошивки на языке программирования и функциональные схемы внутреннего дизайна ПЛИС с описанием.

Для каждой разработанной принципиальной схемы составляются *перечни элементов*. Оценивается потребление разработанных схем и определяются требования к источнику питания.

Выбор основных электронных компонентов для разрабатываемой системы удобно вести с использованием справочных Internet-сайтов типа <http://www.chipinfo.ru> или с использованием электронных справочников на CD.

Содержание данного этапа находит отражение в 3-й главе специальной части пояснительной записки.

3.3.2.9 Разработка программного обеспечения микропроцессорной системы

На основе *общего алгоритма работы микропроцессорной системы* разрабатываются алгоритмы работы каждого контроллера или ЭВМ верхнего уровня в системе в соответствии с выполняемыми ими функциями.

Определяется использование стандартных функций той или иной операционной системы или *операционной системы реального времени (ОС РВ)*, функций программы монитор контроллера, функций библиотек стандартных подпрограмм.

Использование ОС РВ в контроллере или ЭВМ ВУ позволяет регламентировать *наибольшее* время реакции контроллера на те или иные внешние события, осуществлять параллельное слежение за несколькими событиями одновременно в строго определенных временных рамках (планировщик реального времени). В настоящее время используются следующие исполнительные ОС РВ: RTX, OS9, *LinuxOS*, *QNX* и др.

При разработке алгоритмов осуществляется разбивка на *подпрограммы, подпрограммы обработки прерываний*. Название и выполняемые функции каждой подпрограммы описываются.

В проекте, как правило, осуществляется детальная проработка только одного из алгоритмов, непосредственно свя-

занного с обслуживанием разработанного модуля, который в дальнейшем будет программно реализован. В этом алгоритме осуществляется подробная детализация каждой процедуры. При этом определяются алгоритмы всех программно реализуемых функций системы. Осуществляется выбор *методов программной реализации* основных функций:

- расчета разностных уравнений (передаточных функций) [8];
- расчета логических функций и выходных значений конечных логических автоматов [37, 38];
- реализации арифметических функций с *плавающей точкой* (операции умножения, деления) [38];
- реализации основных математических функций (синус, косинус, радикал и т.п.) [38];
- реализации быстрого преобразования Фурье [15];
- устранения дребезга контактных датчиков [1] и др.

При этом может *разрабатываться структурная схема программного обеспечения* системы, на которой отображаются все основные составные части ПО и их размещение на контроллерах и ЭВМ системы.

Разрабатывается таблица распределения основных переменных и констант в *памяти* контроллера с указанием имени, размещения в памяти и назначения.

Если в системе реализуются взаимодействия между контроллерами, ЭВМ, то в проекте могут разрабатываться *протокол взаимодействия, форматы передаваемых сообщений (кадры)*. При этом используются модификации стандартных протоколов: HDLC, SDLC, Profibus-DP, CAN, CSMA/CD, TSP/IP [4, 5, 39].

Определяется язык *программирования контроллера, инструментальной среды* разработки и отладки программного обеспечения. Следует иметь в виду, что при программировании на языках высокого уровня объем получаемого программного кода может получиться значительно больше, **чем** при программировании той же функции на языке низкого уровня. И время **выполнения** полученного кода может оказаться в этом случае существенно больше.

Инструментальная кросс-среда выбирается с точки зрения поддержки требуемого языка программирования, требуемых отладочных функций (**симулятор**, отладчик) для выбранного контроллера, простоты и удобства интерфейса с пользователем.

К данному обеспечению можно отнести среды ISAGraf (для систем фирм PEP, Motorola), UltraLogic (Octogon Systems), HI+ (Motorola), μ Vision (Siemens, Intel), Studio-96 (Intel), Genesis (Motorola, Intel), Step7-Micro/Win (Siemens-Simatic) и др.

Ряд сред разработки программного обеспечения (ISAGraf, UltraLogic, Genesis, Matlab) поддерживают *языки визуального графического программирования*: язык последовательных логических схем, язык функциональных блоковых **диаграмм**, язык релейных диаграмм и др. В этом случае написание программы заменяется составлением той или иной графической схемы, которая затем автоматически компилируется в язык высокого уровня (Си) или коды требуемого микропроцессорного устройства.

Правильность разработанного *программного обеспечения проверяется с использованием программ-симуляторов*, при этом **осуществляется** контрольный расчет с использованием конкретных числовых данных. Полученный результат сравнивается с эталонным результатом, который можно получить на профессиональных моделирующих программах для систем. После сравнения делается вывод о работоспособности. Осуществляется *оценка времени* выполнения основных запрограммированных функций.

Программное обеспечение ЭВМ верхнего уровня системы разрабатывается с использованием языков высокого уровня (Си, Паскаль) или языков визуального программирования (Delphi, C++ Builder) в среде ОС типа Windows, OS/2. При этом реализуются **функции** распределенных СУБД, алгоритмы экспертных систем и другие требуемые функции управления и контроля. При разработке могут использоваться системы разработки и управления распределенными базами данных типа Paradox, Oracle.

Содержание данного этапа находит отражение в 4-й главе специальной части пояснительной записки.

3.3.2.10 Совместная отладка программного обеспечения и аппаратных средств; оценка характеристик построенной системы

Это экспериментальная часть дипломного проекта. Она может отсутствовать в проекте или заменяться математическим моделированием системы, отладкой программного обеспечения в среде программ-симуляторов.

Если студентом самостоятельно проводилась отладка аппаратных средств системы, то это отражается в дипломном проекте. Приводится краткое описание приборов, с помощью которых проводилась отладка, приводится список выявленных неисправностей, возможна разработка инструкции по наладке и устранению выявленных неисправностей.

Отладка программного обеспечения (ПО) может осуществляться на макетном образце системы или с использованием оценочных МП модулей, имитирующих их работу. ПО записывается в оценочный модуль или макет и осуществляется измерение характеристик системы и сравнение с требуемыми, при этом осуществляется имитация внешних сигналов с объекта. Результаты измерения приводятся в виде временных или иных диаграмм в пояснительной записке. Делаются выводы.

В экспериментальной части возможна разработка тестовых процедур для проверки работоспособности основных узлов МПК с описанием их схем алгоритмов и принципов использования.

Содержание данного этана находит отражение в 5-й главе специальной части пояснительной записки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Сташин В.В., Урусов А.В., Мологонцева О.Ф.* Проектирование цифровых устройств на однокристалльных контроллерах. М.: Энергоатомиздат, 1990. — 224 с.
2. *Бесекерский В.А., Изранцев В.В.* Системы автоматического управления с микроЭВМ. М.: Наука, 1987. — 320 с.
3. *Каган Б.М., Сташин В.В.* Основы проектирования мик-

- ропроцессорных устройств автоматики. М.: Энергоатомиздат, 1987. — 304 с.
4. Мир компьютерной автоматизации. 1996–2003. № 1–4.
 5. Современные технологии и автоматизация. 1996–2003. № 1–4.
 6. Chip News (Новости микросхемотехники). 1997–2003. № 1–12 (<http://chipnews.gaw.ru>).
 7. Микропроцессорные системы автоматического управления/ Под ред. В.А. Бесекерского. Л.: Машиностроение, 1988. — 320 с.
 8. Хвоц С.Т., Варлинский Н.Н., Попов Е.А. Микропроцессоры и микроЭВМ в системах автоматического управления. Л.: Машиностроение, 1988. — 640 с.
 9. Куо Б. Теория и проектирование цифровых систем управления. М.: Машиностроение, 1986. — 447 с.
 10. Острём К., Виттенмарк Б. Системы управления с ЭВМ. М.: Мир, 1987. — 480 с.
 11. Микропроцессорные автоматические системы регулирования/ Под ред. В.В.Солодовникова. М.: Высш. шк., 1991. — 255 с.
 12. Александров А.Г. Оптимальные и адаптивные системы. М.: Высш. шк., 1989. — 263 с.
 13. Путьрев Е.И. Перестраиваемые автоматы и микропроцессорные системы. М.: Наука, 1984. — 192 с.
 14. Савельев А.Я. Арифметические и логические основы цифровых автоматов. М.: Высш. шк., 1980. — 248 с.
 15. Лосев В.В. Микропроцессорные устройства обработки информации. Алгоритмы цифровой обработки. Минск: Вышэйш. шк., 1990. — 131 с.
 16. Хемминг Р.В. Цифровые фильтры. М.: Недра. 1987. — 220 с.
 17. Седое А.В. Методические указания к контрольным работам по курсу "Алгоритмическое обеспечение микропроцессорных систем". Новочеркасск: ЮРГТУ, 1999. — 20 с.
 18. Седое А.В., Кравченко К.В. Методические указания к лабораторным работам по курсу "Алгоритмическое обес-

- печение микропроцессорных систем". Новочеркасск: ЮРГТУ, 1999. — 20 с.
19. Прикладные нечеткие системы /Под ред. Т. Тэрано, К. Асан, М. Сугэно. М.: Мир, 1993. — 368 с.
 20. Генкин В.Л., Ерош И.Л., Москалев Э.С. Системы распознавания автоматизированных производств. Л.: Машиностроение, 1988. — 245 с.
 21. Советов Б.Я., Кутузов О.И., Головин Ю.А. и др. Применение микропроцессорных средств в системах передачи информации. М.: Высш. шк., 1987. — 256 с.
 22. Тугевич В.Н. Телемеханика. М.: Высш.шк., 1985. — 425 с.
 23. Виглеб Г. Датчики. М.: Мир, 1989. — 192 с.
 24. Герман-Галкин С.Г., Лебедев В.Д. и др. Цифровые электроприводы с транзисторными преобразователями. Л.: Энергоатомиздат, 1986. — 248 с.
 25. Теория автоматического управления. Часть вторая/ Под ред. А.А. Воронова. М.: Высш. шк., 1986. — 382 с.
 26. Клингман Э. Проектирование специализированных микропроцессорных систем. М.: Мир, 1985. — 362 с.
 27. Однокристалльные микроконтроллеры Microchip: PIC16C5X / Под ред. А.Н. Владимирова. Рига: Ormix, 1996. — 120 с.
 28. Однокристалльные микроконтроллеры Microchip: PIC16C6X/7X / Под ред. А.Н. Владимирова. Рига: Ormix, 1997. — 150 с.
 29. Боборыкин А.В., Липовецкий Г.П. и др. Однокристалльные микроЭВМ. М.: МИКАП, 1994. — 400 с.
 30. Казаченко В.Ф. Микроконтроллеры: Руководство по применению 16-разрядных микроконтроллеров Intel MCS-196/296 во встроенных системах управления. М.: Эком, 1997. — 685 с.
 31. C167 Derivatives: 16-Bit CMOS Single-Chip Microcontrollers. User's Manual 03.96 Version 2.0. Siemens, 1996. — 360 p.
 32. Костин Г.Ю. Микроконтроллеры фирмы Motorola. М.: КТЦ-МК, 1997. — 40 с.

33. *Куприянов М.С., Матюшкин Б.Д.* Цифровая обработка сигналов: процессоры, алгоритмы, средства проектирования. СПб.: Политехника, 2000. — 592 с.
34. *Григорьев В.Л.* Микропроцессор i486. Кн. 1–4. М.: Бинном, 1993.
35. *Рафикузаман М.* Микропроцессоры и машинное проектирование микропроцессорных систем. Кн. 1–2. М.: Мир, 1988. — 281 с., 312 с.
36. *Мячев А.А., Степанов В.Н., Щербо В.К.* Интерфейсы систем обработки данных. М.: Радио и связь, 1989. — 415 с.
37. *Алексеев В.Н.* и др. Микропроцессорные средства производственных систем. Л.: Машиностроение, 1988. — 287 с.
38. *Майоров В.Г., Гаврилов А.М.* Практический курс программирования микропроцессорных систем. М.: Машиностроение, 1989. — 266 с.
39. *Блэк Ю.* Сети ЭВМ: протоколы, стандарты, интерфейсы. М.: Мир, 1990. — 510 с.
40. *Угрюмов Е.П.* Цифровая схемотехника. М.: ВНУ, 2000. — 515 с.
41. *Стешенко В.Б.* ПЛИС фирмы ALTERA: проектирование устройств обработки сигналов. М.: Додека, 2000. — 128 с.
42. *Ремизевич Т.В.* Микроконтроллеры для встраиваемых приложений: от общих подходов - к семействам HC05 и HC08 фирмы Motorola. М.: Додека, 2000. — 272 с.

3.3.3 Содержание специальной части по схемотехнической реализации проектируемых устройств и систем

Тема дипломного проекта определяется материалами преддипломной практики. Ниже приводятся возможные варианты тем по электронике и микросхемотехнике, по промышленным электронным устройствам:

- устройство контроля параметров объекта (температуры, давления, расхода жидкости, газа и т.д.);
- управляемый многофазный выпрямитель;
- система управления многофазным выпрямителем;

- многофазный инвертор напряжения (тока);
- система управления многофазным инвертором напряжения (тока);
- многофазный преобразователь частоты;
- система управления многофазными преобразователями частоты;
- лабораторный стенд, формирующий напряжения и токи различной формы (синусоидальной, экспоненциальной, линейной, треугольной и т.д.);
- электронное устройство сопряжения системы контроля (или управления) с ПЭВМ.

Типовое содержание специальной части дипломного проекта состоит из двух разделов.

Обзорно-постановочный раздел (анализ технического задания и формулирование требований к разрабатываемому устройству (системе)).

- Описание параметров, которые подлежат контролю или управлению.
- Описание алгоритма работы проектируемого устройства.
- Сравнительный анализ возможных вариантов схем, реализующих данный алгоритм.

Расчетная часть

- *Разработка структурной и функциональной схем.*
 - Описание структурной схемы и функционального назначения каждого ее узла.
 - Выбор элементной базы для отдельных функциональных узлов устройства.
 - Составление функциональной схемы.
- *Разработка принципиальной схемы.*
 - Разработка аналоговых узлов:
 - выбор элементной базы;
 - расчет параметров (с изложением методики расчета).
 - Разработка цифровых узлов:
 - предварительный выбор элементной базы;

- абстрактный синтез (математическое описание и расчет);
- структурный синтез (разработка схемы на конкретных элементах определенной ранее серии);
- временной анализ полученной схемы.
 - Расчет надежности спроектированного устройства.
 - Моделирование на ЭВМ работы основных узлов принципиальной схемы:
- выбор пакета программ, моделирующего работу электронных устройств;
- выбор режима, в котором будет выполнен анализ;
- результаты анализа и выводы к ним;
- корректировка параметров схемы (если в этом есть необходимость).

3.3.3.1 Обзорно-постановочный раздел

Анализируя техническое задание, необходимо:

- сформулировать основные требования, которым должно удовлетворять проектируемое устройство. Прежде всего необходимо отметить, разрабатывается новое устройство или модернизируется существующее; кроме того, является оно частью системы или автономным устройством; каким должно быть его конструктивное исполнение; каков рабочий диапазон температур; если разрабатывается система управления, нужно решить, требуется разработка блока питания, и если да, то каковы его основные параметры;
- составить перечень параметров, которые необходимо измерять, контролировать, преобразовывать или регулировать и с какой допустимой погрешностью;
- составить (описать) алгоритм работы проектируемого устройства;
- привести известные (типовые) решения подобной задачи. Например, при проектировании силового блока, если вид схемы не оговорен в задании, прежде всего нужно решить, по какой схеме он может быть выполнен (например, для инвертора использовать мостовую или полумос-

товую схему и т.д.). Для этой цели нужно изучить техническую литературу, выполнить патентный поиск «о разрабатываемой теме и на этом основании предложить варианты **технического** исполнения разрабатываемого устройства.

3.3.3.2 Расчетная часть

Структурная схема любого устройства содержит три типовых узла: входной, основной, выходной.

Вначале необходимо описать, в соответствии с полученным заданием, функции, которые должен выполнять каждый из названных узлов.

Входной узел. Для устройств контроля параметров объекта входной узел включает датчики и преобразователи контролируемых сигналов.

Для силовой схемы преобразователей напряжения, тока, частоты и т.д. входным воздействием является входное напряжение, ток **или** частота, которые подлежат преобразованию. Работа схемы управления должна быть синхронизирована с частотой выпрямляемого или преобразуемого напряжения, следовательно, входным **воздействием** также является частота преобразуемого параметра. В инверторах схема управления сама задает **частоту** переключения силовых **переключателей** и входным устройством можно считать генератор, формирующий управляющие сигналы с частотой, которая определена **в** техническом задании.

При проектировании устройства сопряжения входной узел принимает выходные сигналы, сформированные микроконтроллером для передачи в ЭВМ более высокого уровня.

Основной блок реализует заданный алгоритм работы устройства.

Выходной узел. Если разрабатывается система управления, аппаратная **реализация** выходного узла определяется функциональным назначением проектируемого устройства.

В качестве выходных устройств могут использоваться

различные мощные усилители аналоговых **или** импульсных сигналов, или устройства, передающие информацию в линию связи с ЭВМ.

Для силовой схемы выходным является блок сопряжения с **нагрузкой**.

Разработку *функциональной схемы* нужно начать с выбора *элементной базы*.

Для *силового* устройства нужно выбрать тип *силовых ключей*, которые наиболее полно **будут** отвечать требованиям технического задания (тиристоры, **симисторы** или какой-то тип **транзисторов** — полевые, биполярные, биполярные с изолированным затвором IGBT).

При разработке силового электронного **преобразователя** электрической энергии основное внимание необходимо уделить выбору элементной базы, так как свойства, характеристики и параметры силовых схем зависят от применяемых полупроводниковых приборов. Следует отметить, что в мощных преобразователях электрической **энергии** полупроводниковые приборы работают в наиболее экономичном *ключевом* режиме, т.е. в режиме коммутации различных узлов схемы.

Следовательно, *исходными данными* при проектировании любого силового устройства являются следующие параметры нагрузки: коммутируемые ток I_n , напряжение нагрузки U_n и частота переключения F полупроводниковых ключей в режиме коммутации. Кроме того, должны быть учтены нестандартные режимы, например возможные **повышения** напряжения и т.д.

Задачей разработчика является проектирование схемы, надежно работающей при заданных технических условиях и потребляющей минимальную мощность в элементах коммутации.

С этой точки зрения нужен идеальный силовой ключ: способный практически *мгновенно* ($t_{\text{вкл}} = 0$) при нулевой мощности *управления* ($P_{\text{упр}} = I_{\text{упр}} \times U_{\text{упр}} = 0$) переключать *бесконечно большие* токи и блокировать *бесконечно большие* напряжения; обладать *нулевым* внутренним сопротивлением при *прямом* включении (во включенном — открытом состоянии) $r_{\text{пр}} = 0$ ($U_{\text{пр}} = 0$) и *бесконечно большим* сопротивлением при

обратном включении (в отключенном — закрытом состоянии) $I_{обр} = \infty$ ($I_{обр} = 0$). Кроме того, силовые полупроводниковые ключи должны быть полностью управляемыми, т.е. включаться и выключаться по цепи управления. Так как реально таких ключей нет, нужно из многообразия существующих в настоящее время силовых полупроводниковых приборов выбрать тот тип, который в наибольшей степени отвечает заданным техническим требованиям, предъявляемым к разрабатываемому устройству и оговоренным в техническом задании.

В настоящее время в силовых преобразователях находят широкое применение силовые биполярные транзисторы, силовые полевые транзисторы, транзисторы, совмещающие в себе свойства полевых и биполярных транзисторов, так называемые IGBT транзисторы (комбинированный прибор, на входе которого имеется полевой транзистор, а на выходе — биполярный), не полностью и полностью управляемые тиристоры.

Для грамотного выбора конкретного типа ключа нужно знать примерную сравнительную оценку параметров перечисленных выше приборов и рекомендации по их техническому использованию. Такие данные приводятся в технической литературе, а каталогах фирм Mitsubishi Electric, International Rectifier [5], Motorola, Semikron, в каталогах заводов отечественных производителей тиристоров (Саранск) и Таллинского завода (Эстония), а также на сайтах в системе Internet.

Рассмотрим коротко характеристики и параметры основных видов силовых ключей.

Биполярный транзистор (БТ) (используется в силовых схемах с включением по схеме общего эмиттера ОЭ).

Достоинства:

- полная управляемость по цепи базы ($I_{упр} = I_b$);
- малое напряжение насыщения в открытом состоянии ($U_{кз\text{ нас}} \leq (1 \div 2)B$);
- относительно высокое быстродействие (рабочая частота $F < (1 \div 3) \text{ МГц}$).

Недостатки:

- зависимость коэффициента передачи тока базы ($\beta = h_{21э}$),

равного коэффициенту усиления по току в схеме ОЭ, от тока коллектора I_k : чем выше рабочий ток I_k , тем меньше коэффициент усиления ($\beta = h_{21э}$); при высоких уровнях инжекции, т.е. при больших значениях тока I_k , коэффициент передачи тока базы становится равным $\beta - h_{21э} < 10$. Следовательно, чтобы поддерживать ток I_k на рабочем уровне, необходимо увеличивать во входной цепи управляющий ток базы I_b и мощность, расходуемую в цепи управления.

Одним из способов увеличения коэффициента передачи тока ($\beta = h_{21э}$) является изготовление в одном корпусе (в виде модуля) нескольких транзисторов, включенных по схеме Дарлингтона (составного транзистора), например КТ827; в этом случае коэффициент передачи

$$\Sigma\beta = \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \dots \cdot \beta_n,$$

где n — количество транзисторов в модуле. Но при таком включении возрастает падение напряжения на открытом (насыщенном) транзисторе $U_{кэнас}$ и, следовательно, потребляемая мощность в выходной цепи.

Также для примера можно сослаться на схему биполярного составного транзистора с параллельным обратным диодом, выполненном на отдельном кристалле MJ10100 фирмы Motorola, которая позволяет использовать такие транзисторы в схемах преобразователей мостовой и полумостовой конфигурации.

Совершенство конструкции составных силовых БТ позволяет их широкое применение при токах, не превышающих 100 А, и при напряжениях не более 1000 В.

Полевые транзисторы (ПТ) (класс МДП — транзисторов с изолированным затвором — используется в силовых схемах с включением по схеме общего истока ОИ). Достоинства:

- бесконечно малая потребляемая мощность во входной цепи (цепи управления), так как входной ток $I_{зн} \approx 0$ за счет бесконечно большого входного сопротивления $r_{зн} \approx \infty$;

- высокое **быстродействие**, так как в образовании выходного тока I_c (тока *стока*) в отличие от БТ участвует один вид зарядов (или электроны, или дырки).

Недостатки:

- высокое выходное сопротивление $r_{сн}$ (сопротивленце канала исток-сток), которое растет с **увеличением** напряжения $U_{сн}$, что приводит к высоким потерям мощности в силовом ключе.

Применение различных **технологических** приемов, уменьшающих сопротивление канала, в частности выпуск многоканальных так называемых **VMДП** структур с **V-образным** каналом и другой конфигурацией каналов, дает возможность применять ПТ в преобразователях **высокой частоты** с напряжением не более 100 В.

Тиристоры (управляемые полупроводниковые диоды).

Достоинства:

- возможность коммутировать большие мощности: *токи* нагрузки, измеряемые в **килоамперах**, блокируемые *напряжения*, измеряемые в **киловольтах**;
- малая **мощность**, расходуемая в **цепи** управления, так как управление выполняется короткими импульсами, длительность t_n которых соизмерима с временем включения тиристора $t_{вкл}$ и составляет не более нескольких десятков микросекунд:

$$t_n = (2 \div 3) t_{вкл};$$

- наличие силовых **оптотиристор**ов, позволяющих гальванически **разделить** входную цепь тиристора и схему, формирующую импульсы управления.

Недостатки:

- низкое быстродействие при выключении из-за сложной **четырёхслойной** структуры тиристора, время выключения $t_{вык}$ может **составлять** сотни микросекунд; фактически рабочая частота преобразователя F полностью определяется временем **выключения** $t_{вык}$.

$$F = \frac{1}{(10 + 20)t_{\text{вык}}};$$

- возможность по цепи управления *только включать* тиристоры; *отключение* для основной массы тиристоров выполняется *по анодной (выходной) цепи* (или подачей обратного напряжения, или снижением анодного тока ниже тока удержания).

Выпускаемые, так называемые *двухоперационные*, тиристоры, позволяющие включать и выключать тиристоры по цепи управления, потребляют пока слишком большую мощность в цепи управления и их применение экономически не выгодно.

В настоящее время ведутся разработки «комбинированных» тиристоров, у которых в цепь управления будут встроены полевые транзисторы. Такого типа приборы проходят успешные испытания.

Транзисторы JGBT (биполярные транзисторы с изолированным затвором).

Компромиссным *техническим* решением, позволившим объединить положительные качества как ПТ, так и БТ транзисторов, явилась разработка биполярных транзисторов с изолированным затвором, названных *IJBT транзисторами*.

Эти транзисторы представляют собой комбинацию силовых полевого МДП и биполярного транзисторов, причем технология изготовления ПТ почти сохранена. В результате получен универсальный прибор с высоким входным сопротивлением и низким выходным сопротивлением, даже несколько более низким, чем у БТ транзистора. Кроме того, они обладают хорошими силовыми показателями. Приведем их основные характеристики.

Достоинства:

- *способность* коммутировать *токи* нагрузки до 800 — 1000 А, блокируемые *напряжения* 600–800 В;
- малая *мощность*, расходуемая в цепи управления, так как на входе включен полевой транзистор;
- высокое *быстродействие*, свойственное БТ.

Рабочими являются три поколения IGBT транзисторов.

Совершенствуя структуру и технологию производства прибора, старались добиться повышения быстродействия и увеличения пробивного напряжения. В настоящее время разрабатывается четвертое поколение, у которого блокируемые напряжения составляют 1200 В и даже 1700 В. Для рабочих токов добиваются высокой скорости изменения $\frac{dI}{dt}$, но это связано с понижением надежности и возможным перегревом структуры.

Схемы управления силовыми ключами

Основной проблемой при разработке силовых преобразователей является разработка надежной помехозащищенной схемы управления. Как известно, такие схемы выполняются на импульсных трансформаторах или с оптоэлектронной развязкой (с помощью оптронов или, при очень высоких напряжениях, с помощью специальных оптоволоконных систем передачи сигналов) между входной цепью силового прибора и схемой управления. Проблемы также возникают в мостовых и полумостовых схемах при управлении ключами так называемого «верхнего» уровня по отношению к нагрузке, которые не связаны непосредственно с «землей», с общей шиной силовой схемы.

Каждая схема, формирующая импульсы управления, предназначена для передачи импульса управления заданной формы (длительности) и мощности. Электроэнергия к схеме управления подводится от сети через низкочастотный понижающий трансформатор или от независимого (изолированного) источника постоянного напряжения. В настоящее время, чтобы разделить низковольтные, так называемые «информационные сигналы», обычно имеющие уровни ТТЛ логики и мощные усилители — формирователи сигнала, выпускают управляющие интегральные микросхемы — драйверы. Драйверы принимают информационные сигналы и вырабатывают сигналы заданной формы и мощности для конкретного типа силового ключа. Кроме того, драйверы имеют встроенные оптоэлектронные и трансформаторные узлы для развязки входных и выходных цепей. Имеются драйверы, предусматривающие подключение внешних цепей развязки. Выпускаются специ-

альные драйверы, состоящие из двух блоков управления силовых ключей «верхнего» и «нижнего» уровней (для мостовых и полумостовых схем).

Проектирование *функциональной схемы системы управления* также нужно начать с выбора *элементной базы*. Уже на уровне функциональной схемы нужно решить вопрос, будет каждый отдельный блок *цифровым* или *аналоговым*. При решении этого вопроса нужно учитывать внешние связи и условия работы разрабатываемого устройства в целом и каждого блока в отдельности. Необходимо оценить, какая элементная база наиболее надежно и дешево обеспечит заданную погрешность, ремонтпригодность и взаимозаменяемость деталей блока, и, кроме того, обязательно учитывать **требования заказчика**, по заданию которого выполняется дипломный проект.

Если будет принято решение о передаче и обработке информации в цифровом коде, то уже при **выборе датчиков** нужно по возможности отдавать предпочтение тем, которые формируют на выходе цифровой сигнал.

При применении аналоговых датчиков нужно **помнить**, что в этом случае, как правило, требуются *нормирующие усилители* для передачи сигнала в основной блок.

Так как в большинстве случаев устройство содержит как аналоговые, так и цифровые блоки, возникает необходимость в **использовании** аналого-цифровых (АЦП) и **цифроаналоговых** (ЦАП) преобразователей [1–4, 6–8].

Выбирая схему ЦАП или АЦП, можно воспользоваться выпускаемыми промышленностью интегральными микросхемами (ИМС) [6–8] или составить его модель, используя программные средства.

Стандартные отечественные ИМС имеют систему электрических параметров, отражающую особенности их построения и функционирования, которая объединяет несколько десятков параметров. Важнейшие из них, наиболее полно описывающие работу **преобразователей** в статическом и динамическом режимах при воздействии внешних факторов, включены в **нормативно-техническую** документацию и могут быть использованы при разработке принципиальной схемы. При разработке функциональной схемы необходимо и достаточно

проверить соответствие техническим характеристикам устройства (системы) следующих параметров ЦАП (АЦП) [7, 8].

Статические параметры

Число разрядов B — количество разрядов кода, связанного с аналоговой величиной, которое может воспринимать ЦАП или вырабатывать АЦП. (Для двоичных АЦП и ЦАП в соответствии с ГОСТ 24736-81 под числом разрядов понимается двоичный логарифм максимального числа кодовых комбинаций на входе ЦАП или выходе АЦП.)

Дифференциальная нелинейность (δ_{LD}) — отклонение разности двух аналоговых сигналов, соответствующих соседним кодам, от значения единицы младшего разряда МР. Измеряется δ_{LD} в процентах от значения диапазона входного (выходного) сигнала или в единицах МР. Превышение δ_{LD} значения ± 1 МР приводит к немонотонности характеристики преобразования. (Монотонность характеристики преобразования — идентичность знака приращения мгновенных значений входного и выходного сигналов преобразователя.)

Динамические параметры

Время преобразования $t_{прб}(t_c)$ — интервал времени от момента заданного изменения сигнала на входе АЦП (аналоговом или цифровом) до появления на его выходе соответствующего устойчивого кода.

Максимальная частота преобразования $f_{прб\max}(f_{c\max})$ — наибольшая частота дискретизации, при которой заданные параметры соответствуют установленным нормам.

Время установления выходного напряжения или тока $t_{уст}$ и $t_{уст i}$ ($t_{стп}$, $t_{стi}$) — интервал времени от момента заданного изменения кода на входе ЦАП до момента, при котором выходное аналоговое напряжение или ток окончательно войдут в зону шириной ± 1 МР (или другой оговоренной величины), симметрично расположенную относительно установившегося значения.

Приведенные статические параметры характеризуют точность преобразования аналогового или цифрового сигнала (значения этих параметров для отечественных ИМС примерно следующие: число разрядов $b = 8, 10, 12$; дифференци-

альная нелинейность (δ_{LD}) изменяется в следующих пределах: $\pm 0,012, \pm 0,025, \dots \pm 0,1\%$.

Динамические (временные) *параметры* определяют быстроедействие схемы управления и ограничивают максимальную частоту входного сигнала для ЦАП и выходного для АЦП.

Рассчитать число разрядов B , т.е. определить шаг квантования сигнала по уровню и шаг дискретизации по времени, можно зная погрешность преобразования (она должна быть одного порядка с (δ_{LD})).

Математической базой для этой цели является теория преобразования непрерывных сигналов в дискретные, изложенная в технической литературе.

Если исходная *функция* имеет вторую производную, например, *преобразовывается* синусоидальный *сигнал* и т.д., то составив математическую модель (описание) сигнала и определив его первую и вторую производные, можно вычислить шаг дискретизации и, следовательно, число разрядов B в двоичном коде.

Если вторая производная равна нулю (например, для периодически линейно возрастающей или линейно убывающей *функции*), можно воспользоваться теоремой Котельникова и определить шаг квантования по уровню и так же, как и в предыдущем случае, параметр b .

Выбирая элементную базу, работающую с ЦАП или АЦП, нужно проверять соответствие ее временных параметров динамическим параметрам применяемого преобразователя. В частности, необходимо, чтобы суммарное время срабатывания цепей управления ЦАП или АЦП составляло не более 0,1–0,5 от значения единицы младшего разряда МР.

При обработке аналоговых сигналов возникает необходимость в использовании фильтров, наибольшее распространение среди которых, находят активные фильтры.

Активные фильтры построены из сопротивлений, конденсаторов и усилителей (обычно *операционных* — ОУ) и предназначены для того, чтобы из всех подаваемых на их вход сигналов пропускать на выход сигналы лишь некоторых заранее заданных частот. Эти обладающие частотной *избирательностью* схемы *используются* для усиления или ослабления определенных частот. Например, для защиты от помех *необхо-*

ДИМО исключать **из** спектра сигнала высокие частоты, т.е. использовать фильтр низкой частоты (**ФНЧ**). Для повышения мощности передаваемых по линиям связи **цифровых** кодов их преобразуют в аналоговые сигналы определенной частоты: одна **из** частот соответствует высокому уровню сигнала (единице), другая — низкому (нулю). При таком кодировании цифровых сигналов, чтобы исключить ошибки при приеме информации, нужно выделить каждую частоту, применяя полосовые (**полосно-пропускающие**) фильтры **ППФ**. Можно привести еще ряд примеров, подтверждающих необходимость **применения** фильтров.

Основными характеристиками фильтров являются передаточная функция $H(s)$ и амплитудно-частотная характеристика АЧХ $|H(j\omega)|$ (или **фазо-частотная ФЧХ** $\varphi(\omega)$).

Передаточные функции цепей (содержащих пассивные элементы и **ОУ, работающие** в линейном режиме) представляют собой отношение двух операторных полиномов. Аппроксимация характеристик активных фильтров сводится к выбору таких коэффициентов **этих** полиномов, которые обеспечивают наилучшее в том или ином смысле приближение к желаемым амплитудно-частотной (АЧХ) или **фазо-частотной (ФЧХ)** характеристикам фильтра.

Наиболее широко **применяются** следующие типы активных фильтров, отличающихся друг от друга подходом к нахождению наилучшей **аппроксимации**: фильтры **Баттерворта, Чебышева, инверсный Чебышева, эллиптический, Бесселя** [4, 6, 10].

Основные параметры, характеризующие фильтр:

F_c (ω_c) — частота среза (спада) характеристики АЧХ (или F_1, F_2 — диапазон частот, которые, например, пропускает фильтр);

n — порядок фильтра (степень полинома знаменателя передаточной функции или число ее полюсов, $n = 1, \dots, 10$);

TW — ширина переходной области между полосами пропускания и заграждения (она характеризуется скоростью спада АЧХ и может принимать значения от $0,0153 F_c$ до $9,9228 F_c$);

A_1 — заранее выбранное число, значение которого *должно*

- превышать АЧХ в полосе пропускания (принятые значения: 0,1, 0,5, 1, 2, 3 дБ);
- A2 — заранее выбранное число, значение которого *не должно превышать АЧХ* в полосе задерживания — заграждения (принятые значения: 20, 30, 35, 40 ... 100 дБ);
- Q — добротность полюсов: $Q \leq 10$ — низкая; $Q \geq 10$... 100 — высокая.

Вопрос об использовании фильтров и их типе и перечисленных выше параметрах должен быть решен на основании анализа технического задания при разработке функциональной схемы. Так, если характеристика не должна иметь пульсаций (должна быть «гладкой»), но допустима довольно значительная протяженность переходной области TW , то целесообразно использовать фильтры Баттерворта.

Наибольшую скорость спада АЧХ в переходной области (между полосами пропускания и заграждения) имеет эллиптический фильтр. Далее следуют фильтры Чебышева, инверсный Чебышева и Баттерворта. Наихудшим в этом смысле является фильтр Бесселя. Однако при скачке входного сигнала (импульсном воздействии) выходное напряжение фильтра Бесселя устанавливается наиболее быстро, а у эллиптического фильтра и фильтра Чебышева — наиболее медленно.

Передаточные функции фильтров могут быть разложены на сомножители 2-го и 1-го порядка.

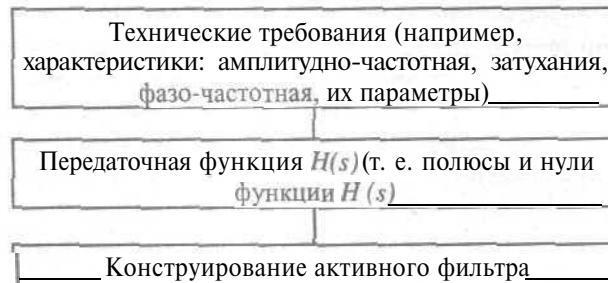
Каскадное соединение фильтров 2-го порядка (если порядок четный) или одного звена 1-го порядка и звеньев 2-го порядка (при нечетном порядке) позволяет выполнить фильтр любого порядка. Каскадное проектирование фильтра является самым распространенным методом расчета активных фильтров по умеренным требованиям. Именно на этом методе основаны все практические расчеты, описываемые в литературе [4, 6, 9].

Выбор такой методики объясняется тем обстоятельством, что в современных системах связи и обработки данных значительная часть обработки сигнала осуществляется с помощью цифровых БИС. Поэтому требования на периферийные аналоговые фильтры часто умеренные, что соответствует, в частности, относительно низкой добротности полюсов. С другой стороны, еще больше снижается минимум потребляемой

мощности. В этих условиях каскадное проектирование звеньев второго порядка на одном усилителе представляет почти идеальное решение проблемы фильтрации.

Каскадное проектирование имеет еще **преимущество** в простоте расчетов, подгонке элементов, настройке фильтра и минимальной мощности. Последнее обусловлено тем, что число **операционных** усилителей в звене фильтра второго порядка может изменяться в соответствии с заданными параметрами на фильтр. Так, малоизбирательный (т. е. с низкой добротностью полюсов) фильтр можно строить на одном ОУ, тогда как для обеспечения стабильной работы звена с более высокой добротностью может потребоваться звено на двух **или** трех усилителях.

Алгоритм проектирования АФ может быть представлен следующей схемой:



По заданным техническим требованиям на амплитудно-частотную ($|H(j\omega)|$), фазо-частотную ($\varphi(\omega)$) или характеристику затухания можно синтезировать такую передаточную функцию $H(s)$, которая будет удовлетворять этим требованиям. Поскольку определена подходящая функция $H(s)$, далее начинается этап конструирования активного фильтра. Он состоит в выборе схемы активного фильтра, обладающей передаточной функцией $H(s)$. При этом, в зависимости от назначения, на эту схему накладываются дополнительные **ограничения** (например, минимальная потребляемая мощность — количество ОУ в звене 2-го порядка; минимальная чувствительность — значения коэффициентов A_1 , A_2 и добротности Q и т.д.)

Для высококачественных фильтров, т. е. при высоких добротностях полюсов и требованиях очень высокой чувстви-

ности, можно применять многоусилительные звенья, т. е. каскадное соединение звеньев второго порядка на нескольких усилителях каждое и при необходимости дополнительное согласование между звеньями.

Реальные **амплитудно-частотные** характеристики лучше (более близки к идеальным) для фильтров более высокого порядка. Однако повышение **порядка** связано с усложнением схем и более высокой стоимостью. Таким образом, один из аспектов разработки фильтров связан с получением реализуемой характеристики, аппроксимирующей с некоторой заданной степенью точности идеальную характеристику при наименьших затратах.

Из многочисленных фильтровых звеньев второго порядка (на одном и нескольких усилителях), пригодных для каскадного проектирования, желательно отбирать те, которые лучше всего удовлетворяют требованиям простоты расчета и качеству реализуемых параметров. В частности, можно делать выбор по минимальной мощности, простоте настройки и по умеренным требованиям на допуски используемых элементов.

Функции и структуры систем управления (СУ) многофазными преобразователями

Система управления СУ предназначена для выработки импульсов управления силовыми ключами преобразователя; они могут быть как *аналоговыми*, так и *цифровыми*, и *импульсными*.

Функционально СУ представляет отдельный законченный блок. Но в схемотехническом и конструктивном исполнении она является частью общей информационной системы проектируемого устройства, которая с помощью **датчиков** контролирует состояние всех блоков устройства, передает информацию регулятору, дает команды на включение средств защиты, **осуществляет** связь с ЭВМ высокого уровня, передавая информацию о состоянии блоков устройства.

В связи с этим характеристики и параметры СУ определяются схемой и режимом работы преобразователя. Например, в управляемых выпрямителях, инверторах, ведомых сетях, и других устройствах применяется **фазово-импульсный** способ регулирования напряжения. Задачей системы управ-

ления является формирование импульса управления, момент подачи которого сдвинут на угол α по отношению к началу периода синусоидальной кривой сетевого напряжения. Это классический подробно описанный литературе способ управления.

Функциональные аналоговые блоки такой системы: генератор линейно изменяющегося напряжения, работающий синхронно с частотой сети, совместно с компаратором формирующий угол задержки α , усилители — формователи длительности импульсов управления — имеют разработанную методику расчета.

В автономных инверторах, импульсных преобразователях постоянного напряжения применяется широтно-импульсный способ регулирования выходного напряжения, который предусматривает изменение длительности управляющего импульса, поддерживающего силовой ключ в открытом состоянии при неизменной частоте следования импульсов. Существует также частотно-импульсный способ регулирования: длительность импульса постоянна, меняется частота их следования, но этот способ широкого применения не нашел. Названные два способа регулирования реализуются обычно цифровыми системами управления.

Цифровые и импульсные системы находят в последнее время широкое применение и в данном разделе рассматривается методика проектирования на дискретных цифровых элементах СУ с жестким алгоритмом переключения во времени, работающих в ключевом режиме силовых приборов (тиристоров, симисторов, силовых транзисторов: биполярных БТ, полевых ПТ, биполярных транзисторов с изолированным затвором, так называемых IGBT транзисторов).

Основные функциональные узлы системы управления (СУ) преобразователями: генератор импульсов (ГИ), задающий частоту переключения силовых приборов (f_n); цифровой автомат (ЦА), реализующий алгоритм работы устройства управления; импульсный усилитель мощности (ИУМ), формирующий сигналы заданной мощности и длительности для управления силовыми переключателями.

Генератор импульсов (ГИ) выполняется на цифровых интегральных микросхемах (ИМС), частота его колебаний мо-

жет быть стабилизирована кварцевым резонатором. В зависимости от назначения преобразователя, например для управляемых выпрямителей, как говорилось выше, работа ГИ может синхронизироваться с частотой силовой сети, для СУ автономных инверторов ГИ могут работать в автоколебательном режиме.

Импульсный усилитель (ИУМ) может быть выполнен на транзисторах по схеме с общим эмиттером, у которого связь с входной цепью управляемого прибора трансформаторная. Такая схема применяется при параллельном включении двух или более силовых приборов. Схема ИУМ на эмиттерном повторителе с непосредственной связью применяется при управлении одним силовым ключом.

Исходными данными для проектирования ИУМ являются параметры цепи управления силового ключа.

*Для симисторов и тиристоров —
статические:*

— входная мощность (отпирающие ток: 0,1–0,5 А и напряжение: 5–10 В);

динамические:

— время включения ($t_{\text{вкл}} \leq 5\text{--}20$ мкс);

— время выключения ($t_{\text{выкл}} \leq 20\text{--}300$ мкс).

*Для биполярных транзисторов —
статические:*

— ток нагрузки (ток коллектора (или эмиттера)) транзистора;

— коэффициент передачи тока базы $f_{215}(\beta)$;

динамические:

— внутренние емкости переходов (коллекторного и эмиттерного),

— время рассасывания зарядов в базе;

— граничная частота $f_{\text{гр}}$ ($f_{h21\sigma}, f_{h21\tau}$).

Статические параметры определяют мощность импульса, который формирует ИУМ, а динамические определяют время действия импульса, его длительность.

Для надежного включения тиристор (симистор) длительность импульса управления должна быть в 1,5–2 раза боль-

ше их времени включения $t_{\text{вкл}}$ при высокой скорости нарастания импульса (крутом переднем фронте). Для транзисторов — длительность импульса управления должна быть равна времени их открытого состояния (в общем случае $0,5T$, $T=1/f_n$).

Если *непосредственное* подключение выполняется через оптрон, то соответственно исходными данными для расчета ИУМ будут параметры входной цепи *оптрона*.

Если к силовому ключу выпускается драйвер, то он выполняет, как говорилось выше, функции усилителя мощности и устройства гальванической развязки между схемой управления и силовым блоком. Но нужно помнить, что кроме логического импульса *управления* на драйвер должно быть подано напряжение питания.

Основным узлом системы управления является маломощное цифровое устройство (цифровой автомат — ЦА), определяющее порядок переключения каждого из ключей в соответствии с алгоритмом работы силовой схемы. Главной задачей при проектировании ЦА является *составление четкого формального алгоритма* его работы в виде временных диаграмм и таблицы переходов. Таблица переходов отражает в каждый фиксированный момент времени (заданный частотой переключения силовых *приборов* f_n); состояние ключа (замкнут — «1»; разомкнут — «0»); причем нужно помнить: нижний *предел* f_n ограничен только условиями работы системы, а верхний необходимо согласовывать с временными параметрами элементной базы, на которой выполняется ЦА.

Далее процесс проектирования ЦА, выполняемого на дискретной логике — на простейших ячейках памяти — триггерах — с жесткими обратными связями (ОС), — сводится к двум этапам:

- абстрактному синтезу (составлению на ЭВМ математической модели ЦА);
- *структурному синтезу* (реализации полученной модели на конкретной элементной базе — введению обратных связей между элементами памяти).

Применение таких автоматов очень удобно, так как ЦА выполняется на недорогой общедоступной элементной базе и, следовательно, является *ремонтнопригодным* в любых ус-

ловиях эксплуатации. ЦА занимает малый объем, так как количество ячеек памяти — триггеров — определяется количеством силовых ключей, а логическое устройство, реализующее ОС, при грамотно выполненном абстрактном синтезе (использовании *машинного метода проектирования*) также представляет собой простую компактную схему.

Основным ограничением в применении таких устройств может быть **ветвление** алгоритма работы устройства (количество ключей роли не играет). Если по условиям работы алгоритм переключения изменяется не более трех раз, то использование таких устройств может быть технически оправдано. Если алгоритм сильно разветвлен, то необходимы применение микроконтроллера и программная реализация алгоритма.

При передаче **функций** управления микроконтроллеру можно рекомендовать использовать контроллеры нового поколения, так называемые PIC контроллеры.

PIC16CXX — это 8-разрядные микроконтроллеры с RISC архитектурой, производимые фирмой Microchip Technology. Это семейство микроконтроллеров отличается низкой ценой, низким энергопотреблением и высокой скоростью. Микроконтроллеры имеют встроенное **ЭППЗУ** программы, ОЗУ данных и выпускаются в 18 и 28 выводных корпусах.

PIC OTP — это однократно программируемые пользователем контроллеры, предназначенные для полностью отстированных и законченных изделий, в которых не будет происходить дальнейших изменений кода. Эти контроллеры выпускаются в дешевых пластиковых корпусах с предварительно заданным типом внешнего генератора — кварцевым или RC.

Для отладки программ и макетирования выпускается вариант контроллеров с ультрафиолетовым стиранием. Эти контроллеры допускают большое число циклов записи/стирания и имеют очень малое время стирания — обычно 1-2 мин. Однако цена таких контроллеров существенно выше, чем однократно программируемых, поэтому их невыгодно **устанавливать** в серийную продукцию.

Для изделий, программа которых может меняться, либо содержит какие-либо переменные части, таблицы, параметры **калибровки**, ключи и т.д., **выпускается** электрически стираемый и **перепрограммируемый** контроллер **PIC16C84**. Он так-

же содержит электрически перепрограммируемое ПЗУ данных. Такой контроллер удобно использовать для экспериментов. Он имеет *18 выводной корпус*.

Краткая характеристика семейства микроконтроллеров PIC 16CXX

Приведем описание микросхем семейства PIC и тех особенностей и преимуществ, которые выделяют эти микроконтроллеры среди других. Для применений, связанных с защитой информации, каждый PIC имеет бит секретности, который может быть запрограммирован для запрещения считывания программного кода и ПЗУ данных. При программировании сначала записывается программный код, проверяется на правильность записи, а затем устанавливается бит секретности. Если попытаться прочитать микросхему с установленным битом секретности, то для PIC16C5X старшие 8 разрядов кода будут считываться как 0, а младшие 4 разряда будут представлять собой скремблированные 12 разрядов команды. Для PIC16C84 аналогично 7 старших разрядов будут считываться нулями, а 7 младших разрядов будут представлять скремблированные 14 разрядов команды. Электрически перепрограммируемое ПЗУ данных PIC16C84 при установке бита защиты не может быть считано. На сайтах в системе Internet представлены все выпускаемые в настоящее время микроконтроллеры и даны их краткие характеристики.

Микроконтроллеры семейства PIC имеют очень эффективную систему команд, состоящую всего из 35 инструкций. Все инструкции выполняются за один цикл, за исключением условных переходов и команд, изменяющих программный счетчик, которые выполняются за 2 цикла. Один цикл выполнения инструкции состоит из 4 периодов тактовой частоты. Таким образом, при частоте 4 МГц время выполнения инструкции составляет 1 мксек. Каждая инструкция состоит из 14 бит, делящихся на код операции и операнд (возможна манипуляция с регистрами, ячейками памяти и непосредственными данными). С системой команд микроконтроллеров PIC16CXX так же можно ознакомиться на сайтах в системе Internet.

Высокая скорость выполнения команд в PIC контроллерах достигается за счет использования *двухшинной Гарвар-*

дской архитектуры вместо традиционной однотипной *Фон-Неймановской*. Гарвардская архитектура основывается на наборе регистров с разделенными шинами и адресным пространством для команд и для данных. Набор регистров означает, что все программные объекты, такие как порты ввода-вывода, ячейки памяти и Таймер, представляют собой физически реализованные аппаратные регистры.

Память данных (ОЗУ) для *РIS 16СХХ* имеет разрядность 8 бит, память программ (ППЗУ) имеет разрядность 12 бит для *РIS16С5Х* и 14 бит для *РIS16СХХ*. Использование *Гарвардской архитектуры* позволяет достичь *высокой скорости выполнения* битовых, байтовых и регистровых операций. Кроме того, Гарвардская архитектура *допускает конвейерное* выполнение инструкций, когда одновременно выполняется текущая инструкция и считывается следующая. В традиционной же *Фон-Неймановской* архитектуре команды и данные передаются через одну разделяемую или мультиплексируемую шину, тем самым ограничивая возможности конвейеризации.

Внутренние физические и логические компоненты, из которых состоит *РIS16СХХ*, аналогичны любому другому *микроконтроллеру*. Поэтому писать программы для *РIS* не сложнее, чем для любого другого процессора. Логика, и только логика. .. Конечно, *Гарвардская архитектура и большая разрядность* команды позволяют сделать *код* для *РIS* значительно *более компактным*, чем для других микроконтроллеров, и существенно *повысить скорость* выполнения программ.

Структура РIS контроллеров. Набор регистров РIS

Все программные объекты, с которыми может работать *РIS*, представляют собой физические регистры. Чтобы *понять*, как работает *РIS*, нужно разобраться с тем, какие регистры у него существуют и как с каждым из них работать. Начнем с набора операционных регистров. Этот набор состоит из регистра косвенной адресации (*f0*), регистра таймера/счетчика (*f1*), программного счетчика (*G*), регистра слова состояния (*f3*), регистра выбора (*f4*) и регистров ввода-вывода (*f5*, *f6*). Совершенно необходимо понять, как использовать эти регистры, поскольку они представляют основную часть программно доступных объектов микроконтроллера. Поскольку в основном

нужно понять, «как управлять», а не «как это делается внутри», в пособие включены **очень** простые примеры, показывающие возможные способы использования каждого регистра.

f0... Регистр косвенной адресации INDO

Регистр косвенной адресации Я) физически не существует. Он использует регистр выбора f4 для косвенной **выборки** одного из 64 возможных регистров. Любая команда, использующая f0, на самом деле обращается к регистру данных, на который указывает f4.

f1... Регистр таймера/счетчика TMRO

Регистр **таймера/счетчика TMRO** может быть записан и считан, как и любой **другой** регистр. TMRO может увеличиваться по внешнему сигналу, подаваемому на вывод RTCC, или по внутренней частоте, соответствующей частоте команд. Основное применение **таймера/счетчика** — подсчет числа внешних событий и измерение времени. Сигнал от внешнего или внутреннего источника также может быть предварительно поделен при помощи встроенного в PIC контроллер программируемого **делителя**.

f2... Программный счетчик PCL

Программный счетчик (PC) используется для генерации последовательности адресов ячеек ПЗУ программы, содержащих 14-разрядные команды. PC имеет разрядность 16 бит, что позволяет прямо адресовать **8К×14** ячеек ПЗУ. Для PIC16C84, однако, только **1К** ячеек физически доступен. Младшие 8 разрядов PC могут быть записаны и считаны через регистр C, старшие 5 разрядов загружаются из регистра PCLATCH, имеющего адрес **0Ah**.

В... Регистр слова состояния STATUS

Регистр слова состояния похож на регистр PSW, существующий в большинстве микропроцессоров. В нем находятся бит переноса, десятичного переноса и **нуля**, а также биты режима включения и биты страничной адресации.

f4... Регистр выбора FSR

Как было уже сказано, регистр выбора FSR используется вместе с регистром косвенной адресации f0 для косвенной

выборки одного из 64 возможных регистров. Физически задействовано 36 регистров ОЗУ пользователя, расположенных по адресам 0Ch–2Fh и 15 служебных регистров, расположенных по различным адресам.

f5, f6... Регистры ввода/вывода PORT A, PORT B

Регистры f5 и f6 соответствуют двум портам ввода-вывода, имеющимся у PIC16C84. Порт А имеет 5 разрядов RA4 - RA0, которые могут быть индивидуально запрограммированы как входы или выходы при помощи регистра TRIS A, имеющего адрес 85h. Порт В имеет 8 разрядов RB7 - RB0 и программируется при помощи регистра TRIS В, имеющего адрес 86h. Задание «1» в разряде регистра TRIS программирует соответствующий разряд порта как вход. При чтении порта считывается непосредственное состояние вывода, при записи в порт запись происходит в буферный регистр.

f8, f9... Регистры ЭППЗУ EEDATA, EEADR

PIC16C84 имеет встроенное электрически перепрограммируемое ПЗУ размером 64 байта, которое может быть считано и записано при помощи регистра данных EEDATA и регистра адреса EEADR. Запись нового байта длится около 10 мс и управляется встроенным таймером. Управление записью и считыванием осуществляется через регистр EECON1, имеющий адрес 88h. Для дополнительного контроля за записью служит регистр EECON2, имеющий адрес 89h.

РЕГИСТРЫ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ

Регистры общего назначения представляют собой статическое ОЗУ, расположенное по адресам 0Ch–2Fh. Всего в PIC16C84 можно использовать 36 ячеек ОЗУ.

СПЕЦИАЛЬНЫЕ РЕГИСТРЫ W, INTCON, OPTION

В завершение рассмотрим специальные регистры PIC. К ним относятся рабочий регистр W, используемый в большинстве команд в качестве регистра аккумулятора и регистры INTCON и OPTION. Регистр прерываний INTCON (адрес 0Bh) служит для управления режимами прерывания и содержит биты разрешения прерываний от различных источников и

флаги прерываний. Регистр режимов OPTION (адрес 81h) служит для задания источников сигнала для предварительного делителя и таймера/счетчика, а также для задания коэффициента деления предварительного делителя, активного фронта сигнала для RTCC и входа прерывания. Кроме того, при помощи регистра OPTION могут быть включены нагрузочные резисторы для разрядов порта В, запрограммированных как входы.

СТОРОЖЕВОЙ ТАЙМЕР WDT

Сторожевой таймер WDT предназначен для предотвращения катастрофических последствий от случайных сбоев программы. Он также может быть использован в приложениях, связанных со счетом времени, например, в детекторе пропущенных импульсов. Идея использования сторожевого таймера состоит в регулярном его сбрасывании под управлением программы или внешнего воздействия до того, как закончится его выдержка времени и не произойдет сброс процессора. Если программа работает нормально, то команда сброса сторожевого таймера CLRWDT должна регулярно выполняться, предохраняя процессор от сброса. Если же микропроцессор случайно вышел за пределы программы (например, от сильной помехи по цепи питания) либо заиклился на каком-либо участке программы, команда сброса сторожевого таймера скорее всего не будет выполнена в течение достаточного времени. В этом случае произойдет полный сброс процессора, инициализирующий все регистры и приводящий систему в рабочее состояние.

Сторожевой таймер в PIC16C84 не требует каких-либо внешних компонентов и работает на встроенном RC генераторе, причем генерация не прекращается даже в случае отсутствия тактовой частоты процессора. Типовой период сторожевого таймера 18 мс. Можно подключить предварительный делитель на сторожевой таймер и увеличить его период вплоть до 2 с.

Еще одной функцией сторожевого таймера служит включение процессора из режима пониженного энергопотребления, в который процессор переводится командой SLEEP. В этом

режиме PIC16C84 потребляет очень малый ток — около 1 мкА. Перейти из этого режима в рабочий режим можно или по внешнему событию: нажатию кнопки, срабатыванию датчика, или по сторожевому таймеру.

ТАКТОВЫЙ ГЕНЕРАТОР

Для микроконтроллеров семейства PIC возможно использование четырех типов тактового генератора:

- XT — кварцевый резонатор;
- HS — высокочастотный кварцевый резонатор;
- LP — микропотребляющий кварцевый резонатор;
- RC — RC цепочка.

Задание типа используемого тактового генератора осуществляется в процессе программирования микросхемы. В случае задания вариантов XT, HS и LP к микросхеме подключается кварцевый или керамический резонатор либо внешний источник тактовой частоты, а в случае задания варианта RC — резистор и конденсатор. Конечно, керамический и особенно кварцевый резонатор значительно точнее и стабильнее, но если высокая точность отсчета времени не нужна, использование RC генератора может уменьшить стоимость и габариты устройства.

СХЕМА СБРОСА

Микроконтроллеры семейства PIC используют внутреннюю схему сброса по включению питания в сочетании с таймером запуска генератора, что позволяет в большинстве ситуаций обойтись без традиционного резистора и конденсатора. Достаточно просто подключить вход MCLR к источнику питания. Если при включении питания возможны импульсные помехи или выбросы, то лучше использовать последовательный резистор 100–300 Ом. Если питание нарастает очень медленно (медленнее, чем за 70 мс), либо работа идет на очень низких тактовых частотах, то необходимо использовать традиционную схему сброса из резистора и конденсатора.

Дополнительно в качестве примера рассмотрим структурную схему микроконтроллера PIC 16C64, имеющего широкое практическое применение. Эта микросхема выпускается в 28-выводном корпусе.

Структурная схема контроллера P/C 16C64

В структурную схему входят:

ПЗУ (ROM) $2k \times 14$;

ОЗУ (RAM) 128×8 , 4 блока регистров 32×8 — из них первый блок: регистры общего назначения, «орты, таймеры; остальные три блока прямо или косвенно адресуемые ячейки ОЗУ;

Стек (Stack) восьмиуровневый (допускает 8 уровней вложения подпрограмм);

АЛУ (ALU);

Регистр команд (Instruction reg);

Регистр косвенной адресации (FSR reg) позволяет осуществлять косвенную адресацию ОЗУ;

Регистр слова состояния (STATUS reg);

Порты ввода вывода:

Порт А — 6 разрядов;

Порт В — 8 разрядов, из них линия \overline{BO} , работая на прием, является запросом внешнего прерывания;

Порт С — 8 разрядов, из них RC3 -RC4 реализуют интерфейс SPI последовательного синхронного обмена с устройствами (например, системные часы); RC3 (SCK/SCL) синхронизация, RC4 (SDI/SDA) данные; кроме того, линии RC6 -RC7 — последовательный порт, схожий с COM портом;

Порт D — 8 разрядов с третьим состоянием выхода, используется для организации внешней шины адреса данных при работе с внешним ОЗУ и с внешними портами ввода/вывода;

Порт E — 3 разряда, используется для обслуживания внешнего ОЗУ

Сигналы:

$RE0/\overline{RD}$ — чтение;

$RE1/\overline{WR}$ — запись;

$RE2/\overline{CS}$ — выбор кристалла;

Внутренний синхронизатор (CCP1)

Регистр W (используемый как аккумулятор во всех операциях).

Сторожевой таймер (Watchdog) предназначен для предотвращения катастрофических последствий от случайных сбоев.

Каждый из микроконтроллеров имеет только ему присущие особенности. Например, в зависимости от назначения преобразователя, микроконтроллер PIC16C71 имеет встроенный модуль АЦП. Микроконтроллеры, предназначенные для работы в системах управления электродвигателями, имеют необходимое число программируемых ШИМ-генераторов, которые, получая от микроЭВМ информацию о требуемой частоте и скважности, самостоятельно осуществляют согласованное управление силовыми ключами инвертора и выполняют ряд других дополнительных функций.

Разработка *принципиальной схемы* заключается в выборе элементной базы и расчетах функциональных узлов, которые должны сопровождаться пояснениями и ссылками на использованную литературу, методические указания и программное обеспечение.

При использовании в проекте микроконтроллера по разработанному алгоритму должна быть составлена программа управления.

Анализ и настройку спроектированного устройства можно выполнить, используя любой из пакетов, моделирующих работу электронных схем: Micro-Cap 5, 6, 7 [13], APLAC 7.0, Design Lab 8.0, Electronics Workbench 5.0, 6.0, 7.0 или другие.

В дипломном проекте, кроме результатов анализа, желательно коротко написать о возможностях используемого пакета, привести модели основных активных элементов, на которых выполнено исследуемое устройство, указать, какие параметры подлежат коррекции. Кроме того, нужно обосновать выбор режима, в котором исследуется схема; например, для активного фильтра и различного рода аналоговых усилителей одной из основных характеристик является амплитудно-частотная АЧХ и т.д.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Быстрое Ю.А., Великсон Я.М. и др. Электроника: Справочная книга / Под ред. Быстрова Ю.А. СПб: Энергоатомиздат, 1996. — 544 с.
2. Опадчий Ю.Ф., Глудкин О.П., Гуров А.М. Аналоговая и цифровая электроника. М.: Радио и связь. 1996. — 780 с.

3. *Лачин В.И., Савелов Н.С.* Электроника: Учеб. пособие. Ростов н/Д, 2000. — 448 с.
4. *Лачин В.И., Савелов Н.С.* Электроника: Учеб. пособие. Ростов н/Д, 2002. — 572 с.
5. Силовые полупроводниковые приборы/ Пер. с англ., Под ред. В.В. Токарева. С разрешения фирмы International Rectifier. Воронеж, 1995.
6. *Титце У., Шенк К.* Полупроводниковая схемотехника/ Пер. с нем. М.: Мир, 1982. — 512 с.
7. *Федорков В.Г., Телец В.А., Десяренко В.П.* Микроэлектронные цифро-аналоговые и аналого-цифровые преобразователи. М.: Радио и связь, 1984. — 120 с.
8. *Марцинкявичюс А.-И. К., Багданскис Э.-А. К., Пошюнас Р.Л.* и др. Быстродействующие интегральные микросхемы ЦАП и АЦП и измерение их параметров. М.: Радио и связь, 1988. — 224 с.
9. *Джонсон Д., Джонсон Д.ж., Мур Г.* Справочник по активным фильтрам/ Пер. с англ. М.: Энергоатомиздат, 1983. — 128 с.
10. *Кауфман М., Сидман А.* Справочное руководство по расчетам схем в электронике. В 2 т./ Пер. с англ. М.: Энергоатомиздат, 1991.
11. Источники вторичного электропитания: Справочное пособие/ Под ред. Ю.И. Конева. М.: Радио и связь, 1983, 1992. — 279 с.
12. *Варакин Л.Е.* Бестрансформаторные усилители мощности. Справочник. М.: Радио и связь, 1991. — 128 с.
13. *Разевиг В.Д.* Система схемотехнического моделирования MICRO-CAP5. М., 1997. - 269 с.

3.3.4 Содержание специальной части по программному и алгоритмическому обеспечению проектируемых устройств и систем

3.3.4.1 Особенности разработки программного обеспечения в дипломном проекте

Дипломные проекты, соответствующие специальностям 210100, 200400 и близким к ним схемотехническим и системотехническим специальностям, обязательно содержат часть,

связанную с разработкой программного обеспечения (ПО) ЭВМ или проектируемой микропроцессорной системы. Эта часть проекта рассматривается как квалификационная, демонстрирующая достигнутый студентом уровень знаний и навыков в области разработки программного обеспечения, владения языками программирования, а также работы с операционными системами, системным программным обеспечением и компьютерной техникой в целом.

Вопросы разработки ПО занимают достаточно большой объем в пояснительной записке дипломного проекта. В дипломных проектах по специальности 200400 и другим *схемотехническим* специальностям, а также в части проектов по специальности 210100 объем части, связанной с разработкой ПО, совпадает, но не превышает объема части, связанной с разработкой аппаратных средств. В проектах, выполняемых по специальности 210100 и иным *системотехническим* специальностям, часть, связанная с разработкой программного обеспечения, может превосходить объем части, связанной с разработкой аппаратных средств, и составлять основу специальной части дипломного проекта. Разработка и описание аппаратных средств в этом случае в проекте осуществляются упрощенно на уровне функциональных или простых принципиальных схем. Подобная ситуация может возникнуть в случаях, если:

- разрабатывается сложная микропроцессорная система в рамках комплексного дипломного проекта и одна из его частей, разрабатываемая одним студентом, относится к программному обеспечению;
- темой дипломного проекта является модернизация программного обеспечения системы, аппаратные средства которой уже построены;
- темой дипломного проекта является разработка программных средств для проектирования и моделирования работы систем автоматического управления, контроля, связи или иных электронных систем.

Конструкторско-технологическая часть в подобных проектах может заменяться разработкой инструкции по использованию построенного программного обеспечения,

3.3.4.2 Классификация программного обеспечения, разрабатываемого в дипломном проекте

Разрабатываемое в дипломном проекте ПО условно можно отнести к одному из трех типов:

- ПО управления системой;
- ПО автоматизированного проектирования;
- ПО моделирования систем.

ПО управления системой представляет собой совокупность программ, непосредственно участвующих в управлении устройством, системой и функционирующих в среде МПК или управляющей ЭВМ верхнего уровня. В частности, это могут быть и распределенные базы данных, работающие в системах реального времени.

ПО автоматизированного проектирования — совокупность программ, используемая для расчета и проектирования отдельных узлов системы или устройств. Это могут быть программы расчета специальных разрабатываемых датчиков, электромагнитных и других исполнительных устройств системы, программы компоновки элементов в заказной ИС, расчета специализированных измерительных усилителей и других электронных узлов, оптимизационные программы, программы тепловых расчетов и др.

ПО моделирования систем — программы, обеспечивающие моделирование работы рассматриваемой в проекте системы или ее отдельных устройств. Данные программы используются для уточнения и проверки характеристик спроектированных систем на основе их математического моделирования. К данному типу ПО также можно отнести и программы визуального, в том числе трехмерного моделирования, объектов для тренажерных или обучающих систем.

Каждое из перечисленных типов ПО имеет свои особенности разработки, отладки и использования. При этом, как правило, используются различные инструментальные средства разработки ПО.

В свою очередь ПО *управления системой* можно подразделить на:

- ПО непосредственного (физического) уровня управления отдельными блоками, модулями и устройствами МПК,

или управляющих ЭВМ. Это программы физического уровня управления, к **которым** можно отнести драйверы устройств, **процедуры** обслуживания и задания режимов работы блоков, модулей и устройств системы;

- *ПО прикладного (логического) уровня управления*, которые, базируясь на программах физического уровня, реализуют обработку, хранение и преобразование информации в соответствии с алгоритмами работы системы.

Программы физического уровня пишутся, как правило, на языке ассемблера микропроцессорной системы или на языке высокого уровня, но с ассемблерными вставками. Схема алгоритма этих программ во многом определяется электронной схемой контролируемого блока, особенностями управления его режимами работы. К **основным** требованиям, предъявляемым к этим программам, **обычно** относятся:

- обеспечение **достаточной** скорости управления блоком;
- **малый** объем памяти, занимаемый программой.

Подобные программы могут разрабатываться как *резидентные драйверы* устройств той или **иной** операционной системы (ОС).

Примеры и особенности построения программ и процедур управления физического уровня периферийными устройствами ЭВМ типа IBM можно найти в книгах [1, 2]. При написании таких программ на языках высокого уровня могут использоваться специальные библиотеки процедур, например, Turbo Professional для Pascal-программ в среде ОС MS DOS [3] и другие подобные для систем Delphi, Си. В этих программах могут использоваться прямые вызовы функций ОС MS DOS (процедуры прерывания DOS и BIOS) [4] либо прямое использование интерфейса прикладных программ ОС Windows (Windows API) [5].

ПО логического уровня управления, как и автоматизированного проектирования и моделирования систем, чаще всего разрабатывается с использованием универсальных языков **программирования** высокого уровня (Object Pascal (Delphi), Си, <http://www.borland.com>). Однако при разработке ПО этих **типов** могут использоваться и иные программные средства, например:

- программные пакеты математического моделирования технических систем (MATLAB (<http://www.mathwork.com>), Mathcad, MicroSim, Oread, MicroCap V);
- специальные среды разработки ПО верхнего уровня управления (SCADA-системы, Supervisory Control And Data Acquisition — управления верхнего уровня и сбора данных);
- пакеты разработки ПО специализированных систем (например, TRIO — среда разработки ПО для тренажеров, ДФЦТС, г. Новочеркасск; VHSB, Virtual Home Space Builder — система построения виртуальных трехмерных миров и др.);
- различные виды систем управления базами данных (СУБД);
- языки программирования для Internet-систем (HTML, Java).

При моделировании электронных и электрических схем с использованием специализированных программных пакетов (типа MicroCap V, MicroSim, PSpice и др.) как разработка программного обеспечения может рассматриваться создание программных моделей, описывающих функционирование различных аналоговых и цифровых интегральных схем на языках моделирования подобных принятому, например, в пакете PSpice или языках описания аппаратных средств AHDL, VHDL (Hardware Description Language).

Основные этапы разработки ПО управления системой физического уровня подробно изложены в п. 3.3.2.9 настоящих указаний.

При разработке же ПО управления системой логического уровня, как и автоматизированного проектирования, либо моделирования систем, эта очередность разработки в основном сохраняется, однако при этом необходимо учитывать некоторые особенности, в частности, зависимость этапов разработки от используемой методологии программирования, от характера используемых инструментальных средств и др. Останемся на этом в следующих параграфах.

3.3.4.3 Основные методологии разработки программного обеспечения в дипломном проекте

В настоящее время существуют две основные методологии разработки ПО [3, 5]:

- процедурно-ориентированное программирование;
- объектно-ориентированное программирование.

Первая из них базируется на рациональном процедурном разбиении программ при их разработке. Наиболее ярко идеи этого подхода проявляются в методе *модульного программирования*. Основные идеи этого метода таковы [3]:

- алгоритм, реализуемый в разрабатываемой программе, разбивается на отдельные модули (процедуры), причем каждый модуль реализует *единственную* и независимую функцию;
- *каждый* модуль имеет единственную точку входа и точку выхода;
- размер модуля стремятся минимизировать;
- основной алгоритм программы может быть представлен как упрощенный алгоритм вызова модулей в соответствии с реализуемыми функциями.

Чаще всего при использовании этой методологии реализуют подход так называемого *восходящего программирования* (от простого к сложному). В этом случае разработка программы идет от разработки отдельных модулей к разработке программы в *целом* путем функционального объединения модулей, вызывая их в соответствии с реализуемыми функциями в системе. Преимущества этого подхода в облегчении написания и отладки программ, так как отдельные модули могут разрабатываться и отлаживаться отдельно и параллельно.

Объектно-ориентированное программирование [5–7] предполагает, что разработка программы начинается с анализа и структурирования обрабатываемых в ней данных. Основной идеей этого подхода является связывание (*инкапсуляция*) данных и процедур их обработки в единое целое — *объект*. В результате такого связывания процедуры во многом теряют самостоятельное значение и могут рассматриваться только в контексте обрабатываемых ими данных. **В этом** случае при

программировании делается акцент на смысловую связь данных и алгоритмов их обработки.

Каждый программируемый объект характеризуется при этом *свойствами* и *методами*. *Свойства определяют* те или иные параметры созданного объекта (данные), а методы представляют *собой* процедуры обработки параметров объекта.

Механизм *наследования* свойств и методов объектами-потомками от объектов-родителей *позволяет* легко *наращивать* количество свойств и методов у объекта без переделки *объекта-родителя*. Это позволяет вести программирование отдельного объекта по принципу «от простого к сложному». Таким образом, *программист* может *строить* свои объекты на основе уже *существующих* стандартных объектов, добавляя нужные свойства и методы.

Инкапсуляция придает объектам свойства максимальной независимости от остальных частей программы, поэтому *объектно-ориентированный* подход удобно применять при разработке *библиотек* программирования.

Разработку прикладных программ на основе объектно-ориентированного подхода удобно осуществлять по *принципу нисходящего программирования*. Это означает: идти от построения и связывания самих объектов (определения их свойств, методов, событий) к написанию процедур, реализующих сами эти методы и вычисление (представление) тех или иных свойств объекта, а также *осуществляющих* обработку событий объекта.

Объектно-ориентированный подход при построении программы чаще всего используют совместно с *архитектурой, управляемой событиями* [5, 9]. Отличие программы, построенной в соответствии с архитектурой, *управляемой событиями*, от программы, построенной в соответствии с традиционной архитектурой, *управляемой данными*, состоит в следующем.

При *традиционной архитектуре* программа состоит из процедур, каждая из которых обрабатывает данные и передает полученные данные следующей процедуре и т.д. Если в процедуре происходит ввод данных, *например*, с клавиатуры, то процедура переходит на ожидание этого ввода и, как правило, других действий не осуществляет.

Программа, управляемая событиями, не имеет привычных переходов от процедуры к процедуре. При этом вводится понятие события, под которым понимают некоторую ситуацию, вызванную либо действием манипулятора «мышь», либо вводом информации с клавиатуры, либо какой-нибудь внутренней ситуацией, сложившейся при работе в программе. Возникновение события в программе вызывает передачу управления процедуре, связанной с этим событием (процедуре — обработчику события). Таким образом, вызов той или иной процедуры осуществляется только при возникновении события, связанного с ней, и очередность вызовов определяется очередностью возникновения событий. События же и процедуры их обработки определяются программистом во время создания программы.

Следует отметить, что достаточно часто используют смешанную архитектуру программы. Некоторые фрагменты удобнее реализовывать с использованием архитектуры, управляемой событиями, иные — с использованием традиционной архитектуры.

При объектно-ориентированном подходе с каждым объектом связывают целый перечень событий (events), при возникновении которых в объекте вызывается своя процедура-обработчик (method). Задача программиста при этом часто состоит в определении событий и написании своих процедур — обработчиков событий.

Объектно-ориентированный подход и управление событиями удобно использовать при реализации элементов интерфейса пользователя (различных видов меню, кнопок, окон ввода и вывода данных, мнемосхем, графиков и т.п.) [8, 9], при реализации СУБД (например, при разработке концептуальных баз данных) [8], а также при реализации достаточно сложных расчетных задач [10].

Однако следует отметить, что преимущества объектно-ориентированного программирования ярко проявляются при разработке лишь достаточно сложных расчетных программ. При программировании несложных алгоритмических действий, связанных, например, с расчетами по готовым формулам, когда сами обрабатываемые данные просты, использова-

ние объектно-ориентированного подхода приводит к излишним нагромождениям ненужных языковых конструкций [6, 7].

Широкое внедрение объектно-ориентированного подхода при создании прикладных систем происходит за счет распространения *визуальных средств быстрой разработки программ* (RAD-средств, Rapid Application Development) [8]. *RAD-средства* позволяют процесс написания модулей программ, выполняющих ввод-вывод информации на экран (форму), взаимодействие с базами данных, построение и управление диаграммами, мнемосхемами и другим, осуществлять как процесс размещения и рисования этих объектов на форме. Эти средства широко используются в так называемых языках *визуального программирования*: Visual Basic, Delphi, Visual C, Borland C++ Builder и др. (<http://www.borland.com>).

Средства визуального программирования полностью базируются на объектно-ориентированном подходе и архитектуре управления событиями.

Использование RAD-средств позволяет вести разработку программы, используя механизм «Two Way Tools», т. е. одновременно осуществлять разработку программы на визуальном уровне в автоматическом режиме и при этом также использовать традиционный способ составления исходных текстов программ на языке программирования.

При написании исходных текстов процедур, как в случае модульного, так и в случае объектно-ориентированного программирования, необходимо использовать метод *структурного программирования* [5, 6]. Этот метод основан на предположении, что программный код легче создается, читается и отлаживается, если он сконструирован без использования операторов безусловного перехода (типа GOTO). Структурное программирование предполагает использование операторных скобок (типа Begin ... end).

Выбор той или иной методологии программирования в дипломном проекте осуществляется исходя из реализуемого алгоритма, а также в соответствии с вышеизложенными рекомендациями. От этого выбора зависят и особенности описания программ в проекте. В случае процедурно-ориентированной методологии описываются реализованные процедуры и их входные и выходные параметры, в случае объектно-ориен-

тированной — реализованные объекты, их свойства, методы и события.

Большинство языков программирования высокого уровня в настоящее время поддерживают все изложенные методологии. Так, модульное и объектно-ориентированное программирование, а также архитектура программ, управляемая событиями в среде операционной системы (ОС) MS-DOS, поддерживаются языками программирования Borland Pascal 7.0, Turbo C++ и др. При разработке программ в среде ОС MS DOS для реализации различных элементов интерфейса пользователя (меню, кнопок, панелей для ввода-вывода данных, графиков, диаграмм и др.) могут использоваться объектно-ориентированные библиотеки типа Turbo Vision [9], библиотеки процедур Turbo Professional, Tool Box Graphics [3] или другие подобные.

В средах операционных систем Windows '95, '98, NT, '2000, 'Millennium объектно-ориентированное программирование и архитектура управления событиями поддерживаются на уровне операционной системы (Windows API) и легко реализуются средствами языков и сред программирования: Delphi, Borland Pascal for Windows, Visual Basic, C++ Builder, Matlab, Visual C, а также языками программирования СУБД: Paradox 5.0, Visual FoxPro 5.0, Oracle, Informix, Sybase и др.

На основе вышеизложенного студент в пояснительной записке дипломного проекта в части, связанной с разработкой ПО, должен привести:

- обоснование выбора методологии разработки ПО;
- обоснование выбора архитектуры построения программ (традиционная или управляемая событиями).

3.3.4.4 Выбор операционной системы и языка программирования разрабатываемого ПО

При разработке ПО управления логического уровня, автоматизированного проектирования и моделирования важной проблемой является выбор операционной системы для разработки и функционирования разрабатываемых программ.

В настоящее время наиболее часто используются следующие ОС: MS DOS 6.0 и выше, Novel DOS 7.0, MS DOS с

оболочкой Windows 3.11 [12], Windows 95/98, Windows NT Server и Workstation, Millennium, OS/2, UnixWare, Linux и др. Выбор той или иной ОС определяется многими критериями, основными из которых являются:

- особенности аппаратных средств используемой инструментальной или управляющей ЭВМ. В частности, микропроцессорная платформа: Intel, DEC Alpha, SPARC, HP, Motorola; **быстродействие**; объем ОЗУ, ПЗУ и тому подобные характеристики;
- требуемая поддержка сетевых конфигураций (в том числе с выделенным сервером или серверами, одноранговая сеть);
- требуемые особенности системы защиты от несанкционированного доступа к информации и система администрирования;
- поддержка режима многозадачности;
- надежность функционирования (например, наличие и особенность системы обработки ошибочных ситуаций) и поддержка режима реального времени (**важный** показатель при этом — скорость реакции на внешние события);
- особенности работы с памятью (линейное адресное пространство, сегментация памяти) и внешними устройствами.

Следует заметить, очень часто выбор ОС во **многом** определяется уже заранее predetermined языком программирования, инструментальной средой разработки программного обеспечения или используемой СУБД. Иногда выбор ОС диктуется заказчиком разрабатываемой системы на основе широкой распространенности этого типа ОС на данном производстве.

Выбор языка программирования и среды разработки ПО во многом определяется критериями, изложенными в предыдущем пункте. И как было уже упомянуто выше, при разработке ПО возможно использование:

- **универсальных** языков и сред программирования (типа Borland Pascal, C, Delphi и др.);

- сред разработки информационных систем или систем управления базами данных (СУБД);
- специальных сред разработки ПО верхнего уровня для многоуровневых систем управления — SCADA-систем (Supervisory Control And Data Acquisition — управления верхнего уровня и сбора данных) и др.

Выбор универсальных языков программирования высокого уровня и их сред программирования осуществляют по следующим параметрам:

- возможность программирования в среде, выбранной ОС (MS DOS, Windows, OS/2 и др.);
- поддержка объектно-ориентированной методологии программирования, архитектуры программ, управляемой событиями (если необходимо);
- возможность визуального программирования (если необходимо);
- наличие стандартных библиотек объектов и процедур требуемых свойств;
- поддержка работы с базами данных, поддержка элементов ActiveX (OLE, Object Linking and Embedding — технология связывания и погружения объектов), технологии DDE (Dynamic Data Exchange — динамический обмен данными), поддержка работы с библиотеками типа DLL и др. (если необходимо);
- поддержка взаимодействия с сетью Internet (протоколы FTP, WEB-сервер, электронная почта и др.) и с корпоративными сетями (типа Intranet и т.п.);
- эффективность компилятора (оценивается по объему генерируемого программного кода и скорости работы полученного программного модуля) и др.

Наиболее часто в настоящее время для разработки ПО используют среды программирования Borland Pascal V 7.0, Delphi 2.0–7.0, Borland C++ Builder 4.0, Borland C/C++ V5.0, Turbo C, Visual Basic V5.0 и др.

Если одной из основных функций разрабатываемого ПО является создание, накопление и обслуживание баз данных, то при разработке могут использоваться среды разработки ин-

формационных систем — системы управления базами данных (СУБД). Подробнее на особенностях их использования остановимся в следующих параграфах.

Другим инструментальным средством разработки ПО управления логического уровня являются *SCADA-системы* [11]. Они позволяют значительно упростить процесс написания ПО верхнего уровня для иерархических систем управления. На основе объектно-ориентированного и визуального подходов с помощью них процесс реального программирования заменяется процессом графической сборки программы из отдельных стандартных блоков в виде схемы. При этом используется терминология, привычная для инженеров-технологов, а необходимость специфических знаний вычислительной техники сведена к минимуму. Эти системы поддерживают взаимодействие с большинством серийных МПК, позволяют реализовывать различные алгоритмы первичной обработки сигналов с объекта, алгоритмы управления, алгоритмы создания и обслуживания распределенных систем и баз данных, алгоритмы резервирования основных МПК в системе.

SCADA-системы позволяют наглядно представлять информацию о работе системы в виде графиков, мнемосхем, диаграмм, таблиц, а также легко реализовывать визуальные объекты управления системой (кнопки, переключатели, ползунковые регуляторы и т.н.) на экране монитора. Наиболее распространенными в нашей стране являются SCADA-системы: Trace Mode (Россия), Image (Россия), Genesis, InTouch, Factory Link и др.

Выбор того или иного средства разработки во многом определяется его ценой, возможностью применения для конкретной задачи и условиями технического задания.

3.3.4.5 Особенности разработки программного обеспечения для проектирования и моделирования автоматических и электронных систем

Перед разработкой ПО этого типа студенту следует убедиться, что отсутствуют уже разработанные универсальные программы или среды автоматизированного проектирования

и моделирования, решающие поставленную техническую задачу. Например, работа большинства электронных схем может успешно моделироваться, оптимизироваться с использованием универсальных пакетов типа MicroSim, MicroCap, Electronic WorkBench и др. Предпосылкой для разработки своего ПО данного типа могут явиться отсутствие такого универсального пакета, высокая цена его приобретения, не соизмеримая с решаемой задачей, или иные ограничения.

Разработка ПО автоматизированного проектирования и моделирования систем может осуществляться с использованием универсальных языков программирования высокого уровня. Но в этом случае лучше использовать библиотеки стандартных подпрограмм и объектов, реализующие интерфейсные функции, основные численные методы (Tool Box, Tool Box Graphics, Turbo Professional, Turbo Vision) [3, 9] или другие требуемые функции.

Оптимальным вариантом разработки данного ПО во многих случаях может стать использование специализированных программных сред, предназначенных для математического моделирования технических объектов, математического анализа данных и автоматизированного проектирования (типа Matlab, MathCad, Mathematica, Statistica, Maple и др.) [10]. Последние версии перечисленных программных продуктов имеют достаточно мощные языки программирования, поддерживающие объектно-ориентированное и визуальное программирование. Основные отличия их от универсальных языков программирования — это реализация различных матричных, векторных операций, наличие библиотек подпрограмм и объектов, реализующих основные численные и аналитические методы решения большинства математических и технических задач.

Отличительной особенностью построения ПО для моделирования и проектирования систем является широкое использование в программах численных методов решения различных вычислительных задач [13, 14]. таких как:

- решение систем обыкновенных дифференциальных уравнений;
- решение систем линейных и нелинейных алгебраических уравнений;

- решение задач интерполяции, аппроксимации, экстраполяции;
- решение задач интегрирования, дифференцирования;
- проведение оптимизационных расчетов и др.

Эта особенность требует от студента умения осуществлять **выбор** численного метода, наиболее подходящего для решения поставленной задачи [12, 13]. Основными критериями выбора численного метода могут быть простота программной реализации; обеспечение требуемой точности расчета; обеспечение требуемой скорости расчета; возможность реализации при заданных ограничениях на объем памяти ЭВМ.

В этой связи должна быть проведена оценка погрешности расчета и моделирования на ЭВМ, которая складывается из трех составляющих [13, 14]: погрешности округления, погрешности численного метода, неустранимой погрешности. Погрешность округления возникает из-за усечения (округления) чисел в формате с плавающей точкой при представлении их в ЭВМ. Погрешность округления конкретной ЭВМ во многом определяется ее «машинным эpsilon». «Машинным эpsilon» называют максимальную относительную ошибку **округления** конкретной ЭВМ:

$$\varepsilon = k \cdot 2^{1-t},$$

где k — величина, определяемая способом округления (1 — отбрасывание; 0,5 — симметричное округление);

t — число двоичных разрядов представления мантиссы вещественного числа в ЭВМ или МПК.

Неустранимая погрешность определяется неточностью изначального математического описания задачи.

Важна в этом случае и оценка *обусловленности вычислительной задачи*, т. е. чувствительности ее решения к малым погрешностям исходных данных и погрешностям округления. Задачу называют хорошо обусловленной, если малым погрешностям исходных данных соответствуют малые погрешности решения, и плохо *обусловленной*, если возможны сильные изменения решения при малых изменениях исходных данных. Количественной мерой обусловленности и корректности задачи может являться *число обусловленности* [12, 13].

Кроме того, при построении любых вычислительных программ в проекте необходимо учитывать основные приемы программирования, позволяющие избежать катастрофического роста погрешности вычислений и неверной работы программ [13, 14]. К этим приемам необходимо отнести следующие способы работы с числами в формате с плавающей точкой (ПТ):

- суммирование длинных последовательностей чисел (рядов) лучше проводить от меньших чисел к большим числам;
- не осуществлять сравнение чисел в формате с ПТ непосредственно с нулем; лучше сравнивать модуль числа с малым числом, которое учтет ошибку округления ЭВМ;
- вычитание близких по значению чисел приводит к катастрофическому росту погрешности; лучше изменить порядок расчета, чтобы избежать подобной ситуации;
- проверку на равенство двух чисел лучше осуществлять как проверку разности этих чисел на то, что она меньше, чем заданная малая величина; малая величина позволит учесть ошибки округления при вычислении каждого из чисел и др.

Таким образом, можно подытожить, что если в разрабатываемых программах используются численные методы, то в дипломном проекте должны быть приведены критерии выбора того или иного численного метода для решения задачи. Кроме того, в программе должна оцениваться погрешность получаемого решения.

3.3.4.6 Реализация информационных баз данных в разрабатываемом программном обеспечении

Если в дипломном проекте разрабатывается достаточно сложная распределенная информационно-вычислительная система, которая осуществляет обработку, хранение и доступ к большим объемам информации, то ПО этой системы должно обеспечивать хранение этой информации в виде электронных баз данных и выполнять основные функции системы управления базой данных (СУБД).

В задачах обработки информации, основанных на системах баз данных и компьютерной сети, существуют два варианта расположения данных: *локальный* и *удаленный (распределенный)*. Локальные данные, как правило, располагаются на жестком диске компьютера, на котором работает пользователь, и находятся в монопольном ведении этого пользователя. Удаленные данные располагаются вне компьютера пользователя (*пользователей*) — на сервере (файл-сервере) компьютерной сети или на специально выделенных в сети для этих целей компьютерах.

Существуют две основные технологии работы с удаленными базами данных типа [8]: «файл-сервер» и «клиент-сервер».

В стандартной технологии «файл-сервер» данные располагаются на файл-серверах и являются по сути пассивными источниками информации. Вся ответственность за их получение, обработку, а также за поддержание целостности базы данных лежит на программе-приложении СУБД, запущенной с рабочей станции сети. Поскольку обработка данных осуществляется на рабочей станции, то по сети пересылается вся необходимая для этой обработки информация, хотя интересующий пользователя объем данных может быть значительно меньше пересылаемого.

Исторически на персональных компьютерах использовался именно этот подход как более простой в реализации. Однако большой объем пересылаемых по сети данных быстро исчерпывает возможности сети по передаче данных уже при небольшом числе пользователей, существенно ограничивая возможности роста. Дополнительные трудности возникают из-за необходимости синхронизации работы приложений СУБД, запущенных на разных рабочих станциях и работающих с одними и теми же данными на файл-сервере.

В технологии «клиент-сервер» для обработки данных выделяется специальное ядро — так называемый *сервер баз данных*, который принимает на себя функции обработки запросов всех пользователей, именуемых теперь *клиентами*. Сервер базы данных представляет собой программу, выполняющуюся, как правило, на мощном компьютере в сети. Приложения-клиенты посылают с рабочих станций запросы на выборку (встав-

ку, обновление, удаление) данных. При этом сервер выполняет всю «грязную» работу по отбору данных, отправляя клиенту только требуемую «выжимку». Такой подход обеспечивает решение трех важных задач:

- уменьшение нагрузки на сеть;
- уменьшение требований к компьютерам-клиентам;
- повышение надежности и сохранение логической целостности базы данных.

Выбор той или иной технологии работы зависит от размеров базы данных, характера и интенсивности обращений к базе, количества клиентов, производительности аппаратных средств и сети. Технология «клиент-сервер» может использоваться и при работе на одном компьютере в многозадачных ОС типа Windows и др. В этом случае программа-клиент обращается к программе-серверу с запросом, который та обрабатывает и результат передает клиенту.

Хранимая информация чаще всего представляется в форме *реляционных баз данных*, т. е. в виде взаимосвязанных через ключевые поля таблиц [8]. Для работы с реляционной базой данных в режиме «клиент-сервер» запросы клиентами для сервера обычно формируются на языке SQL (Structure Query Language) [8]. Программы, работающие с базой данных в режиме «клиент-сервер», используют программный интерфейс для отправки запросов и получения ответов от сервера. Этот интерфейс зависит от языка программирования или может быть спрятан в драйвере связи с базой данных (например, в драйвере ODBC, BDE или IDAPI) [8].

Универсальные языки программирования высокого уровня Delphi, Borland C++ Builder имеют достаточно мощные средства организации и работы с базами данных как в режимах прямой навигации, так и в режиме SQL-запросов. Эти средства включают расширенные библиотеки компонентов (VCL, Visual Component Library) работы с реляционными как *распределенными*, так и *локальными* базами данных. При этом поддерживаются форматы баз данных, принятые в СУБД, типа dBase (dbf-файлы), Paradox (db-файлы), BDE-Borland Database Engine (gdb-файлы) и др. Средства этих языков программирования обеспечивают взаимодействие с удаленными сервера-

ми данных, построенными на основе СУБД Oracle, Sybase, Informix, InterBase, MS SQL Server и др.

Построение программ работы с базами данных возможно с использованием и других языков программирования (Borland Pascal, Turbo C и др.), но при этом, как правило, используют библиотеки процедур или объектов работы с файлами баз данных и файл-серверами.

Для построения и управления базой данных возможно использование широко распространенных СУБД типа Paradox, dBase, FoxPro, Access, Clipper, InterBase, Sybase, Informix, Oracle, Clagion. В этом случае при разработке программы управления базой данных используется язык программирования выбранной СУБД.

Разработку реляционной базы данных для проектируемой системы можно осуществлять вручную, анализируя данные и разбивая их на таблицы, определяя ключевые поля, осуществляя нормализацию таблиц. Этот процесс называют созданием модели базы данных, или модели данных. Однако если информационная база сложна, то для проектирования часто используют специальный программный инструментарий — так называемые CASE-средства (Computer Aided Systems Engineering — компьютерные системы поддержки проектирования) [8]. Современные CASE-средства разработки информационных баз данных позволяют: создать модель реляционной базы данных, реализовать ее на компьютере физически, сгенерировать прототип для конечного пользовательского приложения. К современным CASE-средствам разработки баз данных относятся разработки ERWin 3.0, System Architect 3.1, S-Designer 4.0, MetaBase и др.

С использованием CASE-средств проектирование модели базы данных осуществляют графически в виде так называемой ER-диаграммы. На диаграмме связь между отдельными сущностями базы данных изображается в виде линий связи. Каждая сущность представляет по сути отдельную реляционную таблицу. Определяются ключевые поля, индексы, атрибуты и т.п. На основе ER-диаграммы формируется непосредственно физическая база данных на основе технологии «клиент-сервер» для конкретной СУБД.

Современные языки программирования Delphi, Borland C++ Builder в составе своих инструментальных сред разработки имеют средства переноса построенных с использованием CASE-средств моделей баз данных в виде ER-диаграмм в словарь данных языка. Эти средства переноса называют CASE Expert (<http://www.borland.com>) [8].

Если в дипломном проекте разрабатывается база данных для проектируемой системы, то в пояснительной записке должны быть отражены вопросы, связанные с вариантом расположения данных, технологией доступа, описана модель базы данных, выбраны средства управления базой данных. В случае использования CASE-средств разработки приведена ER-диаграмма базы данных.

3.3.4.7 Основные алгоритмы, реализуемые программным обеспечением микропроцессорных систем

Перечислим и кратко охарактеризуем основные алгоритмы, реализуемые ПО микропроцессорных систем. К ним относятся:

- алгоритмы программной реализации логических функций и логических автоматов в системах ПЛУ;
- алгоритмы расчета разностных уравнений, описывающих линейные регуляторы, цифровые фильтры в системах ЦАУ и СОИ;
- алгоритмы линейной и нелинейной цифровой фильтрации сигналов;
- алгоритмы вычисления математических функций;
- алгоритмы быстрого преобразования Фурье, Уолша и другие для отсчетов сигнала;
- алгоритмы управления с использованием нечетких регуляторов;
- алгоритмы распознавания образов и кластеризации;
- алгоритмы помехоустойчивого кодирования информации;
- алгоритмы тестирования ОЗУ, ПЗУ и процессора микропроцессорной системы;

--- алгоритмы сжатия и поиска информации и др.

Алгоритмы реализации логических функций в системах ПЛУ позволяют вычислять значения логических функций, представленных в виде совершенной дизъюнктивной нормальной формы (СДНФ):

$$y = \bigcup_{j=1}^m \left(\bigcap_{i=1}^k \tilde{x}_i \right),$$

где y — значение логической функции, x_i — входная логическая переменная или ее инверсное значение; m — число конъюнктов в СДНФ, k — число переменных в конъюнкте; \bigcup, \bigcap — операции логического сложения и умножения соответственно.

Можно выделить четыре основных алгоритма вычисления логической функции: операторный, табличный, бинарного дерева и масок [15, 17]. Выбор конкретного алгоритма определяется требуемой скоростью расчета логической функции, требуемым для этого объемом памяти, возможностью гибкого изменения реализуемой логической функции без переделки программы.

Расчет же выходных значений логического автомата (Мура или Мили) можно осуществлять путем параллельного вычисления нескольких логических функций, образующих комбинационную схему автомата с сохранением и учетом значения логических переменных состояния автомата [16]. В более простых случаях для расчета выходных значений автомата программно реализуют логический граф состояния логического автомата [17].

Алгоритмы расчета разностных уравнений (1), описывающих линейные регуляторы, цифровые фильтры в системах ЦАУ и СОИ, позволяют вычислять значение управляющего воздействия или выходной величины с требуемой скоростью, используя при этом определенный объем памяти контроллера. Разностное уравнение при этом имеет вид

$$y[m] = \sum_{k=0}^s a_k \cdot x[m-k] - \sum_{k=1}^n b_k \cdot y[m-k], \quad (1)$$

где $x[m-k]$, $y[m-k]$ — значения отсчетов входных и выходных сигналов фильтра, задержанные на k тактов, где a_0, \dots, a_n , b_1, \dots, b_n — коэффициенты линейного регулятора или фильтра.

Можно выделить три основных алгоритма расчета (1): прямого вычисления, алгоритм с заменой операции умножения сдвигом-сложением и табличный [15, 18]. Выбор конкретного алгоритма определяется задачей, но следует помнить, что алгоритм, имеющий большую скорость вычисления выходного значения, требует, как правило, большего объема памяти для хранения вспомогательных переменных.

Алгоритмы линейной и нелинейной цифровой фильтрации сигналов используются для устранения помех, а также выделения определенной полосы частот в измеренном сигнале. Выделение полосы частот осуществляется, как правило, с использованием линейных цифровых фильтров с конечной (КИХ) или бесконечной (БИХ) импульсной характеристикой [19, 20]. Фильтры с КИХ имеют идеальную линейную фазовую характеристику, фильтры с БИХ обеспечивают заданные показатели качества при невысоком порядке фильтра [19].

Для устранения единичных импульсных помех в сигнале используют либо нелинейные цифровые фильтры (например, медианный), либо фильтры, построенные на основе методов робастной цифровой фильтрации [21].

Алгоритмы вычисления математических функций представляют собой способы вычисления значения той или иной элементарной математической функции (типа синус, косинус, экспонента и др.) в среде микропроцессорного контроллера, если стандартные подпрограммы отсутствуют. В этом случае используют три подхода: табличный, разложение функций в ряды или применяют рекуррентные формулы [16]. Выбор конкретного подхода определяется требуемой скоростью и точностью вычислений. Наибольшую скорость имеет табличный метод, а точность — два последних. Например, если не требуется высокая скорость расчета, то вычисление корня квадратного из числа x можно осуществлять по рекуррентной формуле

$$y_{n+1} = 0,5(y_n + x/y_n),$$

где x — подкоренное значение; y_{n+1}, y_n — значение корня на двух последних итерациях.

Алгоритмы быстрого преобразования Фурье (БПФ) в МПС используют для вычисления спектра измеренного сигнала, вычисления корреляционных функций, умножения полиномов, помехоустойчивого кодирования и декодирования информации, быстрого расчета сверток сигналов, адаптивной фильтрации сигналов и др. [22] Эти алгоритмы представляют собой способы ускоренного расчета дискретного преобразования Фурье [22] для отсчетов $s(n)$ сигнала:

$$f(k) = \sum_{n=0}^{N-1} s(n) \cdot W^{kn}, k = 0, 1, \dots, N-1,$$

где $f(k)$ — последовательность отсчетов комплексного спектра для отсчетов сигнала $s(n)$;

$$W^{kn} = e^{-j \frac{2\pi kn}{N}} \text{ — поворачивающий множитель; } j = \sqrt{-1}.$$

Наиболее часто для выполнения БПФ используются алгоритмы Кули - Тьюки по основанию 2 с прореживанием по частоте или по времени [22]. Эти алгоритмы просты в понимании и легки в реализации. Для обеспечения высокой скорости расчета используют алгоритмы БПФ с переменным основанием или алгоритм Винограда для последовательностей малой длины.

Вместо БПФ в ряде случаев удобнее использовать иные более простые с расчетной точки зрения быстрые преобразования типа Уолша - Адамара и др. [22].

Алгоритмы управления с использованием нечетких регуляторов [23] широко используют в современных системах управления. Они позволяют реализовать регуляторы, разработка которых традиционными методами теории управления потребовала бы несоизмеримых затрат из-за сложности поведения объекта управления, его нелинейности или многомерности. Использование теории нечетких систем позволяет реализовывать эффективное управление, используя следующие нечеткие исходные данные: опыт и знания экспертов; напрямую

смоделированные действия оператора или созданные нечеткие модели **оборудования**.

Правила управления формулируются при этом в форме нечетких логических высказываний типа «если..., то...». В качестве переменных в правилах могут выступать лингвистические нечеткие переменные, **принимающие значения** типа «больше», «меньше», «немного больше», «немного меньше», «значительно больше» и т.п. С каждой входной и выходной переменной связана ее функция принадлежности. Такое описание **позволяет** легко **понимать** работу регулятора **оператору**, не связанному с его **разработкой**, а следовательно, корректировать его действия на языковом уровне (осуществлять обучение регулятора).

Определены операции над нечеткими переменными: нечеткое отрицание, нечеткое логическое произведение, нечеткая логическая сумма, импликация и др. Алгоритмы определения выходной величины **нечеткого** регулятора на основе нечетких правил называют построением нечетких выводов. В настоящее время **используются** два основных алгоритма построения нечетких выводов: алгоритм Мамдани и алгоритм **Сугэно** [23]. Первый алгоритм более **универсальный**, второй же имеет лучше сформулированные методики по построению систем нечетких выводов и легче алгоритмизируется.

Нечеткие принципы управления используются при построении автопилотов самолетов, устройств автовождения метрополитенов, устройств управления роботами-манипуляторами, доменными печами, прокатными станами, автомобилями и т.п. Ряд современных однокристальных микропроцессорных контроллеров, например фирмы Motorola (<http://www.motorola.ru>) в своей системе команд имеют реализованные операции над нечеткими **переменными**.

Алгоритмы распознавания образов и кластеризации [24, 25] применяются в микропроцессорных **робототехнических** системах распознавания визуальной обстановки, **распознавания** текстовой информации, звуковых сигналов, речи, визуального и иного контроля качества изделий, медицинской и технической диагностики, системах идентификации процессов и др. Основная задача систем распознавания образов — **отне-**

Простейшая процедура тестирования ОЗУ [27] реализует алгоритм записи информации в ячейку с последующим чтением и сравнением ее с ранее записанной информацией. В качестве записываемого байта **используются** значения типа 0AAH, 055H, 0H, 0FFH, байты типа «бегущая единица», «бегущий ноль» и др. Для выявления неисправностей с адресацией ячеек ОЗУ используют запись в ячейки младшего байта их адреса с последующим чтением и сравнением.

Алгоритмы сжатия и поиска информации характерны для систем, обрабатывающих большие массивы данных, электронные базы данных [7-9].

В заключение отметим, что в дипломном проекте могут использоваться и иные алгоритмы обработки информации для микропроцессорных систем. Выбор алгоритмов определяется решаемой технической задачей.

3.3.4.8 Детализация главы дипломного проекта по разработке алгоритмического и программного обеспечения

Типовое содержание специальной части дипломного проекта должно **корректироваться** в соответствии с задачами, решаемыми в конкретном дипломном проекте. Подытожив все вышесказанное, можно констатировать, что глава по разработке алгоритмического и программного обеспечения в общем случае может содержать:

- разработку и описание основных алгоритмов, реализуемых ПО. Отдельно **описываются** алгоритмы ПО МПК, отдельно ПО ЭВМ верхнего уровня и инструментальной ЭВМ. Степень детализации различных алгоритмов ПО определяется с руководителем проекта. Здесь же может приводиться описание используемых в ПО **численных методов**;
- разработку модели данных, если разрабатываемое ПО использует автоматизированные базы данных для хранения информации. При этом определяется расположение данных, технология доступа, выбираются средства управления базой данных;
- разработку и описание протоколов взаимодействия **кон-**

тролдеров между собой, с ЭВМ верхнего уровня в системе с использованием последовательных интерфейсов, корпоративных, промышленных сетей или Internet;

- выбор для каждого типа ПО инструментальной системы разработки, ОС, языка программирования, методологии разработки ПО, архитектуры построения программ. При этом осуществляется построение схем алгоритмов программ с разбивкой на процедуры. Описание реализуемых объектов: их свойств и методов, событий, взаимодействие объектов и т.п.;
- детальную проработку нескольких программных модулей с реализацией на языке программирования и отладкой. Разрабатываются подробные схемы алгоритмов этих модулей. Осуществляется описание интерфейса этих модулей, построение таблиц используемых переменных с краткими пояснениями и, возможно, с размещением в памяти;
- оценку работоспособности реализованных программных модулей на основе расчета контрольного примера.

Не все из приведенных работ могут быть отражены в главе по программному и алгоритмическому обеспечению, их перечень приводится как ориентир при составлении содержания главы проекта. Конкретное ее наполнение определяется темой проекта и уточняется студентом совместно с руководителем проекта.

Основные этапы разработки ПО для МПК разрабатываемой системы могут использоваться как справочная информация при разработке содержания главы по программному и алгоритмическому обеспечению. Они позволяют студенту понять наполнение главы и параграфов, касающихся разработки ПО МПК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Джордейт Р. Справочник программиста персональных компьютеров типа IBM. М.: Финансы и статистика, 1992. — 543 с.
2. Ю-Чжен Лю, Гибсон Г. Микропроцессоры семейства 8086/8088. М.: Радио и связь, 1987. — 510 с.

3. Довгаль С.И., Литвинов Б.Ю., Сбитнев А.И. Персональные ЭВМ: Турбо Паскаль V 7.0, объектное программирование, локальные сети. Киев: Информсистема сервис, 1993. — 470 с.
4. Брябрин В.М. Программное обеспечение персональных ЭВМ. М.: Наука, 1988. — 271 с.
5. Федоров А., Рогаткин Д.М. Borland Pascal в среде Windows. Киев: Диалектика, 1993. — 510 с.
6. Фаронов В.В. Турбо Паскаль. В 3 кн. ММВТУ-ФЕСТО Дидактик, 1992. — 304 с.
7. Буч Г. Объектно-ориентированное проектирование с примерами применения. Киев: Диалектика, 1994. — 528 с.
8. Орлик С.В. Секреты Delphi на примерах, М.: Бином, 1996. — 351 с.
9. Федоров А. Borland Pascal: практическое использование Turbo Vision 2.0. Киев: Диалектика, 1993. — 271 с.
10. Потемкин В.Г. Система Matlab 5 для студентов. М.: Диалог МИФИ, 1997. — 314 с.
11. Куцевич Н.А. SCADA — системы и муки выбора/ Мир компьютерной автоматизации. 1999. № 1. С. 72.
12. Эззель Б. Windows 98: руководство разработчика. В 2 т. Т. 1 — 672 с. Т. 2 — 416. Киев: изд-во «Ирина», 1999.
13. Вычислительные методы: программа, методические указания и контрольные задания./ Малащенко А.Г., Малащенко Л.И., Савелов Н.С., Седов А.В. Новочеркасск: НГТУ, 1995. — 26 с.
14. Каханер Д., Моулер К., Нэй С. Численные методы и программное обеспечение. М.: Мир, 1998. — 575 с.
15. Седое А.В., Кравченко К.В. Методические указания к лабораторным работам по курсу «Алгоритмическое обеспечение микропроцессорных систем». Новочеркасск: ГОРГТУ, 1999. — 20 с.
16. Майоров В.Г., Гаврилов А.И. Практический курс программирования микропроцессорных систем. М.: Машиностроение, 1989. — 266 с.
17. Микропроцессорные средства производственных систем/ Алексеев В.Н. и др. Л.: Машиностроение, 1988. — 287 с.
18. Хвоц С.Т., Варлинский Н.Н., Попов Е.А. Микропроцессоры и микроЭВМ в системах автоматического управления. Л.: Машиностроение, 1988. — 640 с.
19. Хемминг Р.В. Цифровые фильтры, М.: Недра, 1987. — 220 с.
20. Седов А.В. Методические указания к контрольным работам по

- курсу «Алгоритмическое обеспечение микропроцессорных систем». Новочеркасск: ЮРГТУ, 1999. — 20 с.
21. *Новицкий П.В., Зограф И.А.* Оценка погрешностей результатов измерений. Л.: Энергоатомиздат, 1991. — 300 с.
 22. *Лосев В.В.* Микропроцессорные устройства обработки информации: алгоритмы цифровой обработки. Минск: Вышэйш. шк., 1990. — 130 с.
 23. Прикладные нечеткие системы/ Под ред. Т. Тэрано и др. М.: Мир, 1993. — 370 с.
 24. *Генкин В.Л., Ерош И.Л., Москалев Э.С.* Системы распознавания автоматизированных производств. Л.: Машиностроение, 1988. — 245 с.
 25. *Седов А.В., Надтока И.И.* Системы контроля, распознавания и прогнозирования электропотребления: модели, методы, алгоритмы и средства. Ростов и/Д: Изд-во РГУ, 2002. — 320 с.
 26. *Тутевич В.Н.* Телемеханика. М.: Высш. шк., 1985. — 425 с.
 27. *Уильяме Г.Б.* Отладка микропроцессорных систем. М.: Энергоатомиздат, 1988. — 250 с.

3.3.5 Содержание специальной части по средствам автоматизированного анализа и проектирования устройств и систем

3.3.5.1 Схемотехническое моделирование в дипломном проектировании

Мощным и очень эффективным средством проектирования является схемотехническое моделирование [1, 2]. По существу схемотехническое моделирование представляет собой математическое моделирование устройства, описанного схемой. Обычно используются электрические принципиальные схемы. Но применяются также и функциональные схемы.

Квалифицированное использование схемотехнического моделирования в дипломном проектировании резко сокращает затраты времени на получение количественных результатов, необходимых для принятия проектных решений. Если такие результаты нужно получить в определенном объеме, то моделирование значительно сократит сроки выполнения со-

ответствующих этапов проектирования. Если же проектант ориентируется на определенный ресурс времени, то моделирование позволяет резко увеличить число прорабатываемых вариантов проекта и найти наилучший вариант. Это преимущество моделирования особенно ярко проявляется при автоматизированном синтезе.

Схемотехническое моделирование самым существенным образом повышает достоверность результатов, представляемых и защищаемых автором дипломного проекта. Современные программные системы дают высокоточные результаты моделирования. Немаловажным является тот факт, что эти системы позволяют документировать результаты моделирования. Настоятельно рекомендуется помещать наиболее важные информативные и убедительные результаты (графики, диаграммы, таблицы и др.) в пояснительную записку или графическую часть дипломного проекта. Эти данные окажут существенную помощь автору проекта в отстаивании своих выводов на защите дипломного проекта.

Вообще схемотехническое моделирование может рассматриваться как средство доказательства работоспособности спроектированного устройства. Конечно, наиболее убедительным аргументом в этом отношении являются результаты испытаний реального образца устройства. Но и результаты моделирования уже сами по себе вполне весомый аргумент.

Очень важна роль схемотехнического моделирования при глубоком изучении **принципа** действия рассматриваемого объекта, осознании **его** свойств и характерных особенностей. Изучение **принципиальной** или функциональной схемы, а также описания устройства или системы является необходимым, но не всегда достаточным условием для понимания сути технических решений. И здесь неоценимую помощь может оказать схемотехническое моделирование. Программные моделирующие системы с высокой точностью имитируют функционирующий объект и показывают его реакцию на **все** изменения в схеме. Поэтому вдумчивая работа с этими системами позволяет хорошо понять суть процессов, происходящих в объекте, и осознать влияние на эти процессы его параметров.

Полученные в процессе схемотехнического моделирования глубокие знания помогают найти наилучшие технические

решения и давать убедительные ответы во время защиты дипломного проекта.

В настоящее время особая важная роль схемотехнического моделирования является общепризнанной. Уровень как учебных, так и производственных проектов прямо определяется уровнем использующихся моделирующихся программных систем и степенью подготовки проектанта в области их применения. Поэтому рекомендуется включать в дипломный проект, который является квалификационной работой, раздел, посвященный схемотехническому моделированию (при условии, что оно сыграло важную роль при проектировании). Это позволяет автору проекта продемонстрировать свою подготовку в области моделирования.

Таким образом, использование схемотехнического моделирования в дипломном проектировании:

- позволяет находить наилучшие технические решения с минимально возможными затратами времени;
- может дать убедительные аргументы, подтверждающие работоспособность спроектированного устройства или системы;
- помогает осознать суть технических решений;
- демонстрирует подготовку автора проекта в области математического моделирования.

3.3.5.2 Основные возможности программных систем схемотехнического моделирования и рекомендации по их выбору

В настоящее время для схемотехнического моделирования широко используются программные системы Micro-Cap [3, 4], Electronics Workbench [8, 9], Design Center [5], DesignLab [6], OrCAD [7] и др. В системах Design Center, DesignLab и OrCAD используется широко известная программа моделирования электронных схем PSpice.

Некоторые из программных систем (Design Center, DesignLab, OrCAD) обеспечивают, кроме схемотехнического моделирования, также и автоматизированное проектирование печатных плат. Поэтому такие системы называют также системами сквозного проектирования.

Для разработки цифровых устройств на основе программируемых логических интегральных схем (интегральных микросхем с программируемой или репрограммируемой структурой), кроме систем сквозного проектирования, широко используются специализированные программные системы автоматизированного проектирования (MAX+PLUS II для разработки устройств на основе программируемых микросхем фирмы Altera, Foundation — для разработки устройств на основе микросхем фирмы Xilinx и др.).

Программные системы схемотехнического моделирования моделируют аналоговые, цифровые и смешанные схемы (состоящие из аналоговых и цифровых устройств). При этом в схемах допускается наличие обратных связей. При моделировании определяются как токи и напряжения, так и уровни логических сигналов.

Электрическая принципиальная схема (и никакая другая) настолько полно и детально характеризует разрабатываемое устройство, что моделирование на ее основе очень часто дает наиболее ценную информацию, необходимую для принятия проектных решений.

Большую помощь разработчику может оказать и моделирование на основе функциональной схемы.

Моделирование на основе принципиальной схемы позволяет определить:

- начальный (стационарный) режим работы устройства, т.е. получить значения токов и напряжений, а также уровни логических сигналов на выходах цифровых устройств при подключенных источниках питания и неизменных входных сигналах;
- переходный процесс (динамический режим) в устройстве при практически любом воздействии и практически любых начальных условиях;
- частотные свойства устройства в очень широком диапазоне частот;
- шумовые свойства устройства;
- влияние изменения параметров элементов схемы, источников питания, источников входных сигналов, а также температуры на режим работы устройства и его параметры (анализ чувствительности);

— наилучшее соотношение параметров элементов устройства, обеспечивающее экстремум целевой функции, заданной пользователем (параметрический синтез).

Программные системы оснащены совершенными графическими редакторами (редакторами схем), обеспечивающими быстрый ввод принципиальных и функциональных схем. Такие системы имеют развитые библиотеки моделей элементов электронных схем. Все это значительно упрощает моделирование.

Кроме схмотехнического моделирования, программные системы выполняют спектральный анализ сигналов, разлагая их в усеченные ряды Фурье, а также статистическую обработку результатов значительного количества численных экспериментов при изменении параметров элементов схемы в соответствии с выбранным законом распределения случайных величин.

В составе систем моделирования имеются программы расчета параметров математических моделей элементов схем. Для выполнения этого расчета пользователь должен осуществить ввод определенных справочных данных элемента.

Имеется возможность создавать новые и корректировать уже имеющиеся условные графические обозначения элементов схем. Для этих целей используются программы — редакторы графических символов.

Современные системы схмотехнического моделирования позволяют также разрабатывать устройства цифровой электроники на базе программируемых логических интегральных схем.

К примеру, программная система DesignLab обеспечивает разработку цифровых устройств на основе программируемых микросхем, производимых фирмами Altera, Xilinx, AMD, Atmel, Motorola и др.

Программные системы включают в себя специализированные программы автоматизированного структурного синтеза пассивных и активных фильтров.

Программные системы сквозного проектирования позволяют подготовить проект электронного устройства на основе печатной платы. Обычно оно вновь моделируется на схмотехническом уровне, но уже с учетом влияния на его работу

печатной платы. При этом величины токов и напряжений определяются не только параметрами элементов схемы, но и значениями паразитных индуктивностей, емкостей и сопротивлений проводников печатной платы. Результаты этого моделирования используются для корректировки принципиальной схемы и печатной платы.

Учет особенностей печатной платы при схемотехническом моделировании позволяет существенно улучшить качество проекта. При этом обеспечивается хорошее соответствие значений параметров устройства, определяемых в результате моделирования, и значений параметров реального электронного устройства, изготовленного по разработанному проекту.

После разработки печатной платы программная система сквозного проектирования может сформировать файлы, управляющие работой графопостроителей и обеспечивающие изготовление фотшаблонов, а также файлы, управляющие работой сверлильных станков с числовым программным управлением, использующихся при изготовлении печатных плат.

Данные, полученные системой сквозного проектирования, можно передавать в другие системы, использующиеся для разработки конструкторской документации, а также преобразовывать в другие форматы, если этого требует технологическое оборудование.

Изложенное показывает, что современные программные системы, обладающие широкими функциональными возможностями, позволяют успешно решать многие очень важные задачи, возникающие при проектировании.

Дадим рекомендации по выбору программной системы схемотехнического моделирования.

Система Electronics Workbench характерна тем, что использует изображения устройств, применяющихся при натуральных экспериментах (осциллографов, генераторов, логических анализаторов и др.). Это делает моделирование особенно наглядным. Она не требует значительного времени для изучения. Содержит простейшую программу разработки печатных плат. Рекомендуется для проектирования несложных устройств.

Система Micro-Cap по подходу к организации моделирования и представлению полученных данных близка к наиболее сложным профессиональным системам и вместе с тем про-

ста в освоении. Она, кроме многих других функций, обеспечивает синтез аналоговых пассивных и активных фильтров. Может использоваться совместно с программами разработки печатных плат. Рекомендуется пользователям, не имеющим большого опыта работы с системами схемотехнического моделирования, для проектирования достаточно сложных устройств.

Системы схемотехнического моделирования и сквозного проектирования Design Center, DesignLab и OrCAD являются сложными мощными профессиональными системами. Они используются на многих предприятиях России. Системы DesignLab и OrCAD позволяют, кроме прочего, моделировать программируемые логические интегральные микросхемы, производимые многими фирмами, совместно с другими цифровыми и аналоговыми элементами. Однако освоение этих систем может потребовать значительных затрат времени. Рекомендуются опытным пользователям при проектировании наиболее сложных устройств и систем.

Специализированные системы автоматизированного проектирования устройств на основе программируемых логических интегральных схем MAX+PLUS II, Foundation и др. рекомендуется использовать в случае, когда в качестве элементной базы выбраны микросхемы соответствующих фирм и отсутствуют сложные проблемы согласования спроектированных и других цифровых и аналоговых устройств.

3.3.5.3 Рекомендации по выбору объектов схемотехнического моделирования

Схемотехническое моделирование дает особенно полезные результаты и не требует чрезмерных затрат времени только в случае продуманного выбора объектов моделирования.

Далеко не всегда рациональным оказывается очевидный на первый взгляд подход, когда в качестве объекта моделирования выбирается вся электронная часть разрабатываемого устройства.

Часто наибольшую пользу дает моделирование отдельных фрагментов (узлов) проектируемой электронной схемы, дополненное моделированием объектов, не разрабатываемых

в рамках дипломного проекта, в том числе и тех, которые не описаны электрическими принципиальными или функциональными схемами.

Дадим соответствующие пояснения.

При разработке системы управления, контроля, защиты и диагностики одной из наиболее важных задач является всесторонний учет свойств и самой системы, и того исходного объекта, для которого проектируется данная система.

К примеру, при разработке системы управления силового преобразователя на основе биполярных транзисторов с изолированным затвором, который используется для питания электродвигателя, очень серьезной проблемой является совокупный учет свойств системы управления, транзисторов, преобразователя и электродвигателя. Без этого учета практически невозможно спроектировать не только конкурентоспособную, но и просто работоспособную систему управления. Конечно, здесь большую помощь может оказать длительный опыт проектирования систем управления для подобных исходных объектов. Но и при его наличии совместное схемотехническое моделирование транзисторного преобразователя, нагруженного на электродвигатель, и его системы управления поможет оптимизировать систему управления (а возможно, и схему преобразователя). Если же такого опыта нет, то схемотехническое моделирование объекта управления, взаимодействующего с управляющей системой, практически незаменимо.

Следует учитывать, что электрическими схемами могут быть описаны объекты различной физической природы. Схемотехническое моделирование разнородных объектов основано на подобию дифференциальных уравнений, описывающих различные динамические процессы. На схемотехническом уровне можно моделировать механические, гидродинамические, тепловые, диффузионные и другие процессы. Например, при схемотехническом моделировании устройств сильноточной электроники могут быть отражены процессы нагрева и охлаждения силовых электронных приборов.

Во многих случаях перед схемотехническим моделированием целесообразно осуществить корректировку принципиальных схем разрабатываемого устройства и объекта управления, контроля, защиты или диагностики.

Рациональная **корректировка** может значительно упростить ввод схемы, сократить время моделирования и **уменьшить** погрешность получаемых **результатов**. Иногда только **корректировка** делает моделирование возможным.

Основная задача при **корректировке** схемы состоит в выделении **фрагментов** и элементов, отражающих наиболее важные в отношении целей моделирования свойства и особенности рассматриваемого устройства и в исключении фрагментов и элементов, несущественных в отношении этих **целей**.

К примеру, из электрической принципиальной схемы следует исключить электрические соединители (электрические разъемы), если не ставится цель исследовать влияние их паразитных емкостей и сопротивлений на работу схемы (во многих схемах эти параметры практически не оказывают влияния на электрические процессы в схеме).

Как правило, не дает заметного положительного эффекта использование при моделировании стандартных, хорошо изученных и многократно испытанных фрагментов электронных схем, **работающих** в стандартных режимах и соединенных типовыми, рекомендованными линиями связи.

Пусть, к примеру, в разрабатываемой системе контроля используются стандартные устройства: датчик, линия связи и **16-разрядный** аналого-цифровой преобразователь. При моделировании остальной части системы указанные устройства могут быть заменены **16-разрядным** источником (генератором) цифровых сигналов, который будет формировать сигналы, заданные пользователем.

Наибольшую пользу схемотехническое моделирование может дать при анализе схем или фрагментов, в которых протекают наиболее сложные, различные по характеру, плохо поддающиеся прогнозу процессы. Такие процессы, в **частности**, имеют место в объектах, описываемых нелинейными системами обыкновенных дифференциальных **уравнений** высокого порядка. Отметим, что далеко **не** всегда такие объекты состоят из особенно большого числа элементов.

Приведем примеры **электронных** устройств, схемотехническое моделирование которых может быть особенно **полезным**:

— формирователи **импульсов** управления для силовых полупроводниковых приборов;

- разнообразные усилители электрических сигналов на различной элементной базе;
- управляемые и неуправляемые выпрямители;
- инверторы и регуляторы напряжения на тиристорах и силовых транзисторах;
- вторичные источники питания с компенсационными и импульсными стабилизаторами напряжения;
- пассивные и активные, слаботочные и силовые фильтры;
- генераторы гармонических колебаний и импульсных сигналов различной формы;
- цифровые и смешанные схемы на основе интегральных микросхем малой степени интеграции;
- цифровые устройства на основе программируемых логических интегральных схем;
- цифроаналоговые и аналого-цифровые преобразователи.

Приведем *примеры* процессов различной физической природы, которые могут быть отражены при схемотехническом моделировании:

- тепловые процессы в силовых полупроводниковых приборах;
- электромагнитные процессы в устройствах для индукционного нагрева;
- электромеханические процессы в электродвигателях.

3.3.5.4 **Рекомендации** по выполнению схемотехнического **моделирования**

Схемотехническое моделирование подобно экспериментальному исследованию макетного образца устройства (которое ранее было практически безальтернативным способом проверки идей разработчика), хотя при **моделировании** ставят численные эксперименты, а при макетных испытаниях экспериментируют с реальным объектом.

Перед моделированием, как и перед натурными испытаниями, необходимо определить конкретные цели **исследова-**

ний, общий план действий и детальный порядок выполнения отдельных экспериментов. Без этого трудно надеяться, что моделирование, как и испытание реального устройства, даст действительно полезные результаты.

Проектанту, имеющему опыт натуральных испытаний, рекомендуется **обращаться** к нему во время моделирования, так как это дисциплинирует и помогает правильно организовать моделирование.

Естественно, моделирование имеет и специфические **особенности** в сравнении с **испытаниями** макетов устройств. С одной стороны, оно предоставляет исследователю практически неограниченные возможности в отношении **элементной** базы, входных сигналов и определения значений всех необходимых пользователю величин (токов, напряжений, периодов колебаний и др.), а также гарантирует от аварий. Но, с другой стороны, оно требует наличия знаний в области математических моделей элементов и методов математического моделирования, так как результаты численных экспериментов **прямо зависят** от использующихся моделей и методов.

Одним из наиболее полезных принципов моделирования, способным существенно сократить затраты времени пользователя, является поэтапный переход от менее сложных к более сложным экспериментам.

В соответствии с этим принципом рекомендуется вначале разделить сложную схему на достаточно простые фрагменты, о работе которых у пользователя имеется ясное представление, и добиться для каждого из них правильных результатов моделирования при простых воздействиях. Только после этого указанные фрагменты можно объединять в сложную схему, которая должна моделироваться как единое целое.

Пусть, к примеру, преобразователь частоты содержит управляемый выпрямитель и инвертор. Тогда можно вначале отдельно отладить модель управляемого выпрямителя с резистивной нагрузкой, а также модель инвертора, питаемого от источника постоянного напряжения.

Если при моделировании отдельных **фрагментов** будут получены хорошие результаты, то моделирование всей схемы будет значительно облегчено. Если пользователь сразу же приступает к моделированию сложной схемы, то велика **вероят-**

ность чрезмерных затрат времени на поиск ошибок, корректировку схемы и настройку программной системы.

Моделирование как отдельных фрагментов, так и всей схемы во многих случаях целесообразно начинать с их наиболее простых вариантов, еще обеспечивающих выполнение заданных функций. Упрощение может быть достигнуто исключением из схемы элементов, являющихся второстепенными в отношении цели моделирования, а также использованием более простых математических моделей элементов.

К примеру, при моделировании инвертора вначале могут не использоваться RC-цепочки, предотвращающие перенапряжения силовых полупроводниковых приборов, и применяться простые варианты математических моделей этих приборов (в наиболее простом варианте такими моделями могут быть ключи).

Поэтапное моделирование, кроме сокращения затрат времени, способствует глубокому пониманию принципа действия устройства.

Часто наиболее информативные результаты как для аналоговых, так и для цифровых схем дает моделирование Динамических режимов. Однако при его выполнении могут возникнуть серьезные проблемы, обусловленные жесткостью системы обыкновенных дифференциальных уравнений, характеризующей схему.

Если при моделировании учитываются процессы, протекающие с разной степенью интенсивности, что обычно соответствует использованию подробных принципиальных схем и детализированных математических моделей элементов, то обычно система дифференциальных уравнений оказывается жесткой.

Основная проблема при моделировании схемы, описываемой жесткой системой, состоит в том, что программа не может развить шаг численного решения, существенно превосходящий наименьшую постоянную времени, характеризующую схему. Из-за этого моделирование переходного процесса на значительном отрезке времени требует большого числа шагов и значительных затрат машинного времени, а погрешность моделирования может оказаться чрезмерно большой. Иногда моделирование вообще оказывается невозможным.

В таком случае подробную схему и детализированные модели элементов рекомендуется использовать только при моделировании динамических режимов на малых отрезках времени, при анализе быстропротекающих процессов. Такие процессы, в частности, имеют место при переключениях транзисторов, работающих в ключевом режиме.

Перед анализом переходного процесса на большом отрезке времени схему целесообразно упростить с целью уменьшения жесткости соответствующей системы дифференциальных уравнений. Часто это может быть достигнуто исключением из схемы конденсаторов с малыми емкостями и катушек индуктивности с малыми индуктивностями, а также переходом на менее сложные математические модели элементов схем.

Пользователь должен быть готовым к тому, что программная система моделирования оказывается не в состоянии выполнить его задание.

Математическое моделирование статических и динамических режимов как линейных, так и нелинейных схем сводится к решению систем линейных алгебраических уравнений. Для решения этих систем используется метод LU-факторизации с выбором ведущего элемента. Типичной причиной прекращения моделирования является отсутствие ненулевого ведущего элемента на некотором этапе прямого хода (т.е. на этапе получения треугольных матриц L и U). Это означает, что матрица системы уравнений является вырожденной. В подобной ситуации программная система останавливает моделирование и делает сообщение о том, что матрица вырождена или что ненулевой ведущий элемент не найден. В этом случае пользователь обязан определить причину вырожденности матрицы, а затем соответствующим образом изменить схему или параметры элементов.

Укажем две типичные причины вырожденности:

- моделируемая схема имеет принципиально неопределенные режимы;
- при вводе схемы и параметров элементов допущены ошибки.

При неправильном выборе режима моделирования результаты могут иметь чрезмерную погрешность. Поэтому рекомендуется выполнять проверку правильности этого выбора.

Простым и эффективным способом проверки является уменьшение задаваемых пользователем максимально допустимых погрешностей, а также максимально допустимого шага решения и максимально допустимого изменения переменных на шаге решения (все это **означает** ужесточение требований в отношении погрешности расчета). Малое изменение результатов моделирования после указанного уменьшения подтверждает правильность выбора режима.

Может **оказаться**, что в библиотеках программной системы отсутствует математическая **модель** некоторого элемента схемы. В этом случае может быть использована математическая модель другого элемента, являющегося аналогом **применяемого**. Другой вариант решения проблемы — использование программы расчета математических моделей.

Хорошо продуманное, квалифицированное моделирование позволяет получать высокодостоверные результаты, обеспечивающие принятие правильных проектных решений.

3.3.5.5 Рекомендации по оформлению результатов схемотехнического моделирования

Программные системы способны выдавать данные в практически **неограниченном** объеме. Задача разработчика — рационально использовать эти возможности и представлять наиболее показательные результаты моделирования.

По каждому вычислительному эксперименту, нашедшему отражение в проекте, должны быть указаны:

- цель эксперимента;
- схема и математические модели элементов;
- порядок выполнения эксперимента;
- полученные результаты и **выводы**.

Здесь основная задача — как можно более кратко и определенно пояснить, для чего и как проводилось моделирование и что оно дало **разработчику**.

Для сокращения объема описания моделирования рекомендуется объединять эксперименты в серии (группы), для которых общими являются цель, схема, набор моделей и выводы.

Если определенность сохраняется, то вместо **изображе-**

ния отдельной схемы эксперимента следует делать соответствующую ссылку на электрическую принципиальную схему устройства (или на фрагмент этой схемы).

В случае использования стандартных математических моделей элементов со стандартными параметрами достаточно указать этот факт (и не приводить описания моделей).

Применение нестандартных математических моделей и параметров должно быть обосновано.

Из всего полученного объема для отражения в проекте должны быть отобраны только те данные, которые наиболее наглядно характеризуют разработанное устройство и позволяют сделать наиболее важные выводы.

Рациональное оформление результатов моделирования упростит поиск оптимальных технических решений и их отстаивание на защите дипломного проекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лачин В.И., Савелов Н.С. Электроника: Учеб. пособие. 3-е изд., перераб. и доп. Ростов н/Д изд-во «Феникс», 2002. — 576 с.
2. Алексеев О.В., Головков А.А., Пивоваров И.Ю., Чавка Г.Г. Автоматизация проектирования радиоэлектронных средств: Учеб. пособие. / Под ред. О.В. Алексеева. М.: Высш. шк., 2000. — 479 с.
3. Разевиг В.Д. Система схемотехнического моделирования MICRO-CAP V. М.: Солон, 1997. — 280 с.
4. Разевиг В.Д. Система схемотехнического моделирования Micro-Cap б. М.: Горячая линия — Телеком, 2001. — 344 с.
5. Разевиг В.Д. Система схемотехнического моделирования и проектирования печатных плат Design Center. М.: СК Пресс, 1996. — 272 с.
6. Разевиг В.Д. Система сквозного проектирования электронных устройств DesignLab 8.0. М.: Солон, 1999. — 704 с.
1. Разевиг В.Д. Система проектирования цифровых устройств OtCAD. М.: Солон-Р, 2000. — 160 с.
8. Электротехника и электроника в экспериментах и упражнениях: Практикум на Electronics Workbench: В 2 т. / Под общей

ред. Д.И. Панфилова. Т. 1. Электротехника. М.: ДОДЕКА, 1999. — 304 с.

9. Электротехника и электроника в экспериментах и упражнениях: Практикум на Electronics Workbench: В 2 т. / Под общей ред. Д.И. Панфилова. Т. 2. Электроника. М.: ДОДЕКА, 2000. — 288 с.

3.3.6 Содержание специальной части по обработке результатов экспериментальных исследований

Большое количество дипломных проектов может содержать экспериментальную часть, связанную с изготовлением макетного образца разрабатываемого устройства или системы (или части ее) и проведением экспериментальных исследований, которые являются неотъемлемой составляющей процесса проектирования различных устройств и систем.

В процессе выполнения дипломного проекта будущие специалисты учатся пользоваться приборами и оборудованием, самостоятельно проводить эксперименты, определяя их методики и программы. После завершения экспериментальных исследований проводится обработка результатов, их анализ и сопоставление с данными расчета и моделирования, на основании чего может быть выполнена корректировка расчетных методик и математических моделей. По данным экспериментов формулируются выводы и заключение, даются рекомендации по доработке и изготовлению опытного образца проектируемого устройства или системы.

3.3.6.1 Основные положения

Погрешностью измерения той или иной физической величины называют отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины. В зависимости от характера изменения различают следующие основные виды погрешностей: 1) систематические — погрешности, остающиеся постоянными или закономерно изменяющиеся при повторных измерениях физической величины; 2) случайные — погрешности, изменяющиеся случайным образом при повторных измерениях физической величины.

Систематические погрешности могут быть в значительной степени **уменьшены** или исключены путем **введения** соответствующих поправок, поверки измерительных приборов или устранения **источников** погрешностей. Применение того или иного способа устранения систематических погрешностей зависит от требуемой точности, **условий проведения** эксперимента, наличия **поправочных** формул.

Случайные погрешности имеют место при многократном измерении физической величины, когда повторные измерения проводятся одинаково тщательно при выполнении тех же условий. Результат измерений **всегда** содержит оба вида погрешностей, как систематическую, так и случайную.

В связи с этим погрешность результата измерения в общем случае нужно рассматривать как случайную величину. В этом случае **систематическая** погрешность — математическое ожидание этой величины, а случайная погрешность — **центрированная** случайная величина.

Анализ случайных погрешностей основывается на теории случайных ошибок, дающей возможность с определенной гарантией вычислить действительное значение измеренной величины и оценить возможные **ошибки**.

Основу теории случайных **ошибок** составляют предположения о том, что при большом числе измерений случайные погрешности одинаковой величины, но разного знака встречаются одинаково **часто**; большие погрешности встречаются реже, **чем** малые; при **бесконечно** большом числе измерений истинное значение измеряемой величины равно среднеарифметическому значению всех результатов измерений, а появление **того** или иного результата измерения как случайного события описывается нормальным законом распределения.

Различают генеральную и выборочную совокупность измерений. Под генеральной совокупностью подразумевают все множество возможных значений **измерений** x , или возможных значений погрешности Δx . Для выборочной совокупности число измерений n ограничено и в каждом конкретном случае строго определяется. Можно считать, что если $n > 30$, то среднее значение данной совокупности измерений \bar{x} приближается к его истинному значению.

Теория случайных ошибок позволяет оценить точность и надежность измерения при **данном** количестве замеров или **определить** минимальное количество замеров, гарантирующее требуемую (**заданную**) точность и надежность **измерений**. Наряду с этим возникает необходимость исключить грубые ошибки ряда и **определить** достоверность полученных данных.

3.3.6.2 Интервальная оценка погрешности результатов измерений

Основными характеристиками законов распределения погрешностей являются **математическое** ожидание и дисперсия. **Математическое** ожидание ряда наблюдений представляет собой величину, **относительно** которой рассеиваются результаты отдельных измерений. При отсутствии систематической погрешности и грубых промахов в ходе измерений **математическим** ожиданием будет истинное значение измеряемой **величины**.

Дисперсия характеризует степень рассеяния отдельных наблюдений вокруг математического ожидания. Чем меньше дисперсия, тем меньше разброс отдельных результатов, тем точнее выполнены измерения.

Оценкой **математического** ожидания ряда наблюдений может служить среднее арифметическое результатов отдельных наблюдений:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n},$$

где x_i — результаты отдельных наблюдений; n — число наблюдений.

При большой выборке и нормальном законе распределения для оценки дисперсии D можно использовать формулу

$$D = \sigma^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}. \quad (1)$$

Дисперсия характеризует однородность измерения. Для оценки изменчивости измерений **относительно** средних значений и **разброса** при нескольких выборках используется коэффициент вариации k_v :

$$k_v = \frac{\sigma}{\bar{x}},$$

где σ — среднеквадратичное отклонение ряда наблюдений.

Доверительным называется интервал значений x_i , в который попадает истинное значение x_d измеряемой величины с заданной вероятностью. **Доверительной вероятностью** (достоверностью) измерения называется вероятность того, что истинное значение измеряемой **величины** попадает в **данный** доверительный интервал, т.е. в зону $a \leq x_d \leq b$. Эта величина определяется в долях единицы или в процентах. Доверительная вероятность p_d описывается выражением

$$p_d = p[a \leq x_d \leq b] = \frac{1}{2} \left[\Phi \frac{(b - \bar{x})}{\sigma} - \Phi \frac{(a - \bar{x})}{\sigma} \right],$$

где $\Phi(t)$ — интегральная функция Лапласа (табл. 3.1), определяемая выражением

$$\Phi(t) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-t^2/2} dt.$$

Аргументом этой функции является гарантийный коэффициент t , определяемый соотношением

$$t = \mu / \sigma, \quad (2)$$

где $\mu = b - \bar{x}$; $\mu = -(a - \bar{x})$.

Если на основе определенных данных установлена доверительная **вероятность** p_d (часто ее принимают равной 0,90; 0,95; 0,9973), то устанавливается точность измерений (доверительный интервал 2μ на основе соотношения $p_d = \Phi(\mu/\sigma)$). При этом половина доверительного интервала

$$\mu = \sigma \arg \varphi(p_d) = \sigma t. \quad (3)$$

Здесь, при $n \geq 30$ $\arg \varphi(p_d)$ — аргумент функции Лапласа, а при $n < 30$ — функции Стьюдента (табл. 3.2). При этом доверительный интервал характеризует точность измерения данной выборки, а доверительная вероятность — достоверность измерения.

Таблица 3.1. Интегральная функция Лапласа

t	P_d	τ	P_d	T	P_d
0,00	0,0000	0,75	0,5467	1,50	0,8664
0,05	0,0399	0,80	0,5763	1,55	0,8789
0,10	0,0797	0,85	0,6047	1,60	0,8904
0,15	0,1192	0,90	0,6319	1,65	0,9011
0,20	0,4585	0,95	0,6579	1,70	0,9109
0,25	0,1974	1,00	0,6827	1,75	0,9199
0,30	0,2357	1,05	0,7063	1,80	0,9281
0,35	0,2737	1,10	0,7287	1,85	0,9357
0,40	0,3108	1,15	0,4106	1,90	0,9426
0,45	0,3473	1,20	0,7699	1,95	0,9488
0,50	0,3829	1,25	0,7887	2,00	0,9545
0,55	0,4177	1,30	0,8064	2,25	0,9756
0,60	0,4515	1,35	0,8230	2,50	0,9876
0,65	0,4843	1,40	0,8385	3,00	0,9973
0,70	0,5161	1,45	0,8529	4,00	0,9999

Пусть, например, выполнено 30 измерений напряжения на зажимах обмотки электромагнита при среднем значении напряжения $U = 170$ В и вычисленном значении среднеквадратического отклонения $\sigma = 3,1$ В.

Требуемую точность измерений можно определить для разных уровней доверительной вероятности ($p_d = 0,9; 0,95; 0,9973$), приняв значения t по табл. 3,1. В этом случае соответственно $\mu \approx 3,1 \times 1,65 = 5,1; \pm 3,1 \cdot 2,0 = 6,2; \pm 3,1 \cdot 3,0 = 9,3$ В. Следовательно, при данных условиях доверительный интервал возрастает примерно в два раза, если увеличить p_d только на 10 %.

Таблица 3.2. Коэффициент Стьюдента
(n — число параллельных серий опытов)

n	p_d					
	0,80	0,90	0,95	0,99	0,995	0,999
2	3,080	6,31	12,71	63,70	127,30	637,20
3	1,886	2,92	4,30	9,92	14,10	31,60
4	1,638	2,35	3,188	5,84	7,50	12,94
5	1,533	2,13	2,77	4,60	5,60	8,61
6	1,476	2,02	2,57	4,03	4,77	6,86
7	1,440	1,94	2,47	3,71	4,32	6,96
8	1,415	1,90	2,36	3,50	4,03	5,40
9	1,397	1,86	2,31	3,36	3,83	5,04
10	1,383	1,83	2,26	3,25	3,69	4,78
12	1,363	1,80	2,20	3,11	3,50	4,49
14	1,350	1,77	2,16	3,01	3,37	4,22
16	1,341	1,75	2,13	2,95	3,29	4,07
18	1,333	1,74	2,11	2,90	3,22	3,96
20	1,328	1,73	2,09	2,86	3,17	3,88
30	1,311	1,70	2,04	2,75	3,20	3,65
40	1,306	1,68	2,02	2,70	3,12	3,55
50	1,298	1,68	2,01	2,68	3,09	3,50
60	1,290	1,67	2,00	2,66	3,06	3,46
∞	1,282	1,64	1,96	2,58	2,81	3,29

Если необходимо определить достоверность измерений для установленного доверительного интервала, например $\mu = \pm 7B$, то по формуле (2) $t = \mu/\sigma = 7/3,1 = 2,26$. По табл. 3.1 для $t = 2,26$ определяем $p_d = 0,97$. Это означает, что в заданный доверительный интервал из 100 измерений не попадают только три. Значение $(1-p_d)$ называют уровнем значимости. Из него следует, что при нормальном законе распределения погрешность, превышающая доверительный интервал, будет встречаться один раз из n_n измерений, где

$$n_n = p_d/(1-p_d), \quad (4)$$

или иначе приходится браковать одно n_n из измерений. По данным приведенного выше примера, можно вычислить количество измерений, из которых одно измерение превышает

доверительный интервал. По формуле (4) при $p_d = 0,9$ определяется $n_n = 0,9/(1-0,9) = 9$ измерений. При p_d , равной 0,95 и 0,9973, соответственно 19 и 367 измерений.

3.3.6.3 Определение минимального количества измерений

При выполнении экспериментальных исследований с заданной точностью и достоверностью необходимо знать количество измерений, обеспечивающее положительный результат. В связи с этим одной из задач при статистических методах оценки является установление минимально достаточного числа измерений для данных условий. В этом случае задача сводится к установлению минимального объема выборки (числа измерений) N_{\min} при заданных значениях доверительного интервала 2μ и доверительной вероятности. При выполнении измерений необходимо знать их точность:

$$\Delta = \sigma_0 / \bar{x}, \quad (5)$$

где σ_0 — среднеарифметическое значение среднеквадратичного отклонения σ , равное $\sigma_0 = \sigma / \sqrt{n}$.

Значение σ_0 называют средней ошибкой. Доверительный интервал ошибки измерения Δ определяется аналогично для измерений $\mu = t\sigma_0$. По величине t можно определить доверительную вероятность ошибки измерений (используя табл. 3.1). По заданной точности Δ и доверительной вероятности измерения определяется минимальное количество измерений, гарантирующих требуемые значения Δ и p_d . В соответствии с уравнением (3) с учетом (5) можно получить

$$\mu = \sigma \arg \varphi(p_d) = \sigma_0 / \sqrt{nt}. \quad (6)$$

При $N_{\min} = n$ получаем

$$n_{\min} = \sigma^2 t^2 / \sigma_0^2 = k_g^2 t^2 / \Delta^2, \quad (7)$$

где L — точность измерений, %.

Для определения N_{\min} может быть принята следующая последовательность вычислений:

- 1) проводится предварительный эксперимент с количеством измерений l , которое составляет в зависимости от трудоемкости опыта от 20 до 50;
- 2) вычисляется среднеквадратичное отклонение a по формуле (1);
- 3) в соответствии с поставленными задачами эксперимента устанавливается требуемая точность измерений D , которая не должна превышать точности прибора;
- 4) устанавливается нормированное отклонение t , значение которого обычно задается;
- 5) по формуле (7) определяют n_{\min} , и тогда в дальнейшем в процессе эксперимента число измерений не должно быть меньше n_{\min} .

Например, при приемке тяговых двигателей в качестве одного из параметров измеряется сопротивление обмотки якоря. В соответствии с инструкцией требуется выполнять 25 измерений, при этом допустимое отклонение параметра $\pm 0,1$ мОм. Если предварительно вычисленное значение $\sigma = 0,4$ мОм, то можно определить, с какой достоверностью комиссия по приемке оценивает данный параметр.

В соответствии с инструкцией $D = 0,1$ мОм. Из формулы

(7) можно записать: $t = \sqrt{n} \frac{0,1}{0,4} = 1,25$. Согласно табл. 3.1 для $t = 1,25$ доверительная вероятность $p_d = 0,79$. Погрешность, превышающая доверительный интервал $2\mu = 0,2$ м, при такой малой вероятности согласно выражению (4) будет встречаться один раз $(0,79/(1-0,79) = 3,37)$ из четырех измерений, что недопустимо.

В связи с этим необходимо вычислить минимальное количество измерений с доверительной вероятностью p_d , равной 0,9 и 0,95. По формуле (7) имеем $N_{\min} = 43$ измерения при $p_d = 0,90$ и 64 измерения при $p_d = 0,95$, что значительно превышает установленные 25 измерений.

Оценки измерений с помощью s и σ_0 по приведенной методике справедливы при $n > 30$. При определении границы доверительного интервала при малых значениях n используют метод Стьюдента. Кривые распределения Стьюдента при $n \rightarrow \infty$ (практически при $n > 20$) переходят в кривые нормального распределения.

Для малой выборки доверительный интервал

$$\mu_{CT} = \sigma_0 \alpha_{CT}, \quad (8)$$

где α_{CT} — коэффициент Стьюдента, определяемый из табл. 3.2 по величине доверительной вероятности p_d .

По известной величине μ_{CT} можно вычислить действительное значение измеряемой величины для малой выборки:

$$x_d = \bar{x} \pm \mu_{CT} \quad (9)$$

При необходимости определения доверительной вероятности p_d по n известным измерениям малой выборки, при условии, что погрешность среднего значения не выйдет за пределы $\pm \mu_{CT}$ задачу решают в такой последовательности: вначале вычисляется среднее значение \bar{x} и $\alpha_{CT} = \mu_{CT} / \sigma_0$. С помощью величины α_{CT} , известного n и табл. 3.2 определяют доверительную вероятность,

3.3.6:4 Исключение грубых ошибок ряда

В процессе обработки экспериментальных данных возникает необходимость исключения грубых ошибок ряда. Появление этих ошибок вполне вероятно, а наличие их ощутимо влияет на результат измерений. Однако прежде чем исключать то или иное измерение, необходимо убедиться, что это действительно грубая ошибка, а не отклонение вследствие статистического разброса. Наиболее простым способом является правило трех сигм: разброс случайных величин не должен превышать

$$x_{max, min} = \bar{x} \pm 3\sigma. \quad (10)$$

Более достоверными являются методы, базирующиеся на использовании доверительного интервала. Пусть имеется статистический ряд малой выборки, подчиняющийся закону нормального распределения. При наличии **грубых ошибок** критерии их появления вычисляются по формулам

$$\beta_1 = \frac{(x_{\max} - \bar{x})}{\sigma} \sqrt{\frac{(n-1)}{n}},$$

$$\beta_2 = \frac{(\bar{x} - x_{\min})}{\sigma} \sqrt{\frac{(n-1)}{n}}, \quad (11)$$

где x_{\max} , x_{\min} — наибольшее и наименьшее значения **из n измерений**.

В табл. 3.3 приведены в зависимости от доверительной вероятности максимальные значения β_{\max} , возникающие вследствие статистического разброса. Если $\beta_1 > \beta_{\max}$, то значение x_{\max} необходимо исключить из статистического ряда как грубую погрешность. При $\beta_2 < \beta_{\min}$ исключается величина x_{\min} . После исключения грубых ошибок определяют новые значения \bar{x} и σ из $(n-1)$ или $(n-2)$ измерений.

Таблица 3.3. Критерий появления грубых ошибок

и	β_{\max} при p_d			n	β_{\max} при p_d		
	0,90	0,95	0,99		0,90	0,95	0,99
3	1,41	1,41	1,41	15	2,33	2,49	2,80
4	1,64	1,69	1,72	16	2,35	2,52	2,84
5	1,79	1,87	1,96	17	2,38	2,55	2,87
6	1,89	2,00	2,13	18	2,40	2,58	2,90
7	1,97	2,09	2,26	19	2,43	2,60	2,93
8	2,04	2,17	2,37	20	2,45	2,62	2,96
9	2,10	2,24	2,46	25	2,54	2,72	3,07
10	2,15	2,29	2,54	30	2,61	2,79	3,16
11	2,19	2,34	2,61	35	2,67	2,85	3,22
12	2,23	2,39	2,66	40	2,72	2,90	3,28
13	2,26	2,43	2,71	45	2,76	2,95	3,33
14	2,30	2,46	2,76	50	2,80	2,99	3,37

Второй метод установления грубых ошибок основан на использовании критерия Романовского и применим также для малой выборки. Методика выявления **грубых** ошибок сводится к следующему. Задаются доверительной **вероятностью** p_d и по табл. 3.4 в зависимости от n находится коэффициент q . Вычисляется предельно допустимая абсолютная **ошибка** одного измерения:

$$\varepsilon_{гр} = \sigma q. \quad (12)$$

Таблица 3.4. Коэффициент для вычисления предельно допустимой ошибки измерения

n	Значение q при p _d			
	0,95	0,98	0,99	0,995
2	15056	38,97	77,96	779,7
3	4,97	8,04	11,46	36,5
4	3,56	5,08	6,58	14,46
5	3,04	4,10	5,04	9,43
6	2,78	3,64	4,36	7,41
7	2,62	3,36	3,96	6,37
8	2,51	3,18	3,71	5,73
9	2,43	3,05	3,54	5,31
10	2,34	2,96	3,41	5,01
12	2,29	2,83	3,23	4,62
14	2,24	2,74	3,12	4,37
16	2,20	2,68	3,04	4,20
18	2,17	2,64	3,00	4,07
20	2,15	2,60	2,93	3,98
∞	1,96	2,33	2,58	3,29

Если $x - x_{\max} > \varepsilon_{гр}$, то измерение x_{\max} исключают из ряда наблюдений. Этот метод более требователен к очистке ряда наблюдений.

Таким образом, при анализе результатов измерений мож-

но применять для приближенной оценки погрешности и такую методику: вычислить по (1) среднеквадратичное отклонение σ , определить с помощью (5) до; принять доверительную вероятность P_d и найти доверительные интервалы μ_{CT} из (8); окончательно установить действительное значение измеряемой величины x_d по формуле (9).

В случае более глубокого анализа экспериментальных данных рекомендуется такая последовательность:

- 1) полученные экспериментальные данные анализируются к исключаются систематические ошибки;
- 2) обнаруживаются грубые ошибки и промахи: устанавливаются подозрительные значения x_{\max} и x_{\min} ; определяется среднеквадратичное отклонение σ , вычисляются по (11) критерии β_1 , β_2 и сопоставляются с β_{\max} , β_{\min} , исключаются, при необходимости, из статистического ряда x_{\max} или x_{\min} и формируется новый ряд;
- 3) вычисляются среднеарифметическое \bar{x} , погрешности отдельных измерений $(\bar{x} - x_i)$ и среднеквадратичное отклонение нового ряда a ;
- 4) находятся среднеквадратичное σ_0 серии измерений и коэффициент вариации k_v ;
- 5) при большой выборке задаются доверительной вероятностью $P_d = \Phi(t)$ или уравнением значимости $(1 - P_d)$ и по табл. 3.1 определяют t ;
- 6) при малой выборке ($n < 30$) в зависимости от принятой доверительной вероятности P_d и числа членов ряда n принимают коэффициент Стьюдента α_{CT} ; с помощью формулы (2) для большой выборки или (8) для малой выборки определяют доверительный интервал;
- 8) устанавливают по (9) действительное значение исследуемой величины.
- 9) оценивают относительную погрешность (%) результата серии измерений при заданной доверительной вероятности P_d .

$$\sigma = \frac{\sigma_{0\alpha_{Ст}}}{\lambda} 100. \quad (13)$$

Если погрешность серии измерений соизмерима с погрешностью прибора $B_{пр}$, то границы **доверительного интервала**

$$\mu_{Ст} = \sqrt{\sigma_0^2 \alpha_{Ст} + \left[\frac{\alpha_{Ст}(\infty)}{3} \right]}. \quad (14)$$

Формулой (14) следует пользоваться при $\sigma_0 \alpha_{Ст} \leq 3B_{пр}$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крутое В.И., Грушко И.М., Попов В.В. и др. Основы научных исследований: Учебник для техн. вузов. / Под ред. В.И. Крутова, В.В. Попова. М.: Высш. шк., 1989. — 400 с.
2. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике. 14-е изд. М.: ООО «Большая медведица» АПП «Джангар», 1999. — 864 с.
3. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М.: Наука, 1973. — 366 с.
4. Циглаев Б.М. Математическая обработка наблюдений. М.: Гос. изд. физ.-мат. лит., 1965. — 344 с.
5. Байда Л.И., Добротворский Н.С., Душин Е.М. и др. Электрические измерения: Учебник для вузов. Л.: Энергия. Ленинградское отделение, 1980. — 392 с.

3.4 КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРУЕМЫХ УСТРОЙСТВ И СИСТЕМ

3.4.1 Содержание конструкторско-технологической части

В конструкторско-технологической части разрабатывается конструкция и технология **изготовления** проектируемого

устройства или системы, а также составляется эксплуатационная документация. Глубина проработки диктуется сложностью аппаратных средств. Для технически сложных систем и устройств детально рассматриваются их отдельные фрагменты, например, конструктивно законченный электронный блок (ЭБ), имеющий собственный корпус, или функционально законченный бескорпусный электронный модуль. Остальная часть конструкции описывается в общих чертах с указанием требований, которые предъявляются с ее стороны к габаритным и установочным размерам и другим параметрам разрабатываемого блока или модуля.

Конкретное содержание конструкторско-технологической части устанавливается руководителем дипломного проекта и в общем случае предусматривает решение следующих задач;

- выбор размеров корпуса электронного блока;
- разработка чертежа общего вида или сборочного чертежа блока;
- разработка конструкции одного из печатных узлов устройства;
- выбор радиаторов для силовых полупроводниковых приборов;
- расчет параметров теплового режима ЭБ;
- проектирование системы виброизоляции ЭБ;
- описание технологии изготовления отдельных деталей, сборки и регулировки узлов и устройства в целом;
- разработка инструкции по эксплуатации устройства и др.

3.4.2 Выбор размеров корпуса электронного блока

Перед началом компоновки должно быть принято решение о том, в каком корпусе будет выполнено устройство: унифицированном или специально разработанном. Корпус собственной конструкции способен наиболее полно удовлетворить требования технического задания, но для него нужно разрабатывать рабочую документацию и технологию изготовле-

ния, приобретать необходимые материалы и комплектующие изделия.

В связи с этим при проектировании электронной аппаратуры широко используются унифицированные (базовые) несущие конструкции. Выбор системы базовых несущих конструкций, на основе которой будет компоноваться ЭБ, должен осуществляться с учетом назначения и условий эксплуатации устройства или системы. Для промышленной электроники и автоматики предпочтение следует отдавать системе УТК-20 унифицированных типовых конструкций агрегатных комплексов ГСП по ГОСТ 20504. В обоснованных случаях допускается использование систем по ГОСТ 26765.20 и ГОСТ 28601.1 — ГОСТ 28601.3. Важным преимуществом базовых несущих конструкций является то, что они производятся специализированными предприятиями по отработанной технологии. Это гарантирует высокое качество и относительно невысокую стоимость этих изделий.

Выбор размеров корпуса электронного блока производится методом аналитической компоновки [1, 2]. Площадь печатной платы, необходимая для размещения элементов функционального узла, определяется по формуле

$$S_{пл} = \frac{1}{K_{зн}} \sum_{i=1}^n S_{yi},$$

где S_{yi} — установочные площади элементов;

$K_{зн} = 0,5-0,7$ — средний коэффициент заполнения печатной платы.

При распределении элементов схемы устройства по печатным платам следует руководствоваться, как правило, функционально-узловым принципом, предполагающим размещение на каждой из плат одного функционально законченного узла целиком, что обеспечивает минимальное число внешних связей. В случае необходимости на одной плате могут располагаться несколько небольших функциональных узлов. Размещение элементов функционального узла на двух печатных платах допускается лишь в отдельных случаях, причем деление схемы на части должно производиться с учетом схемно-узлового принципа.

При использовании унифицированных несущих конструкций размеры печатных плат округляются до ближайших больших значений, взятых из числовых рядов, приводимых в стандартах. Размеры всех плат в этом случае должны быть одинаковыми. Например, в рекомендованной выше системе УТК-20 монтажные **вдвижные** платы (рис. 3.22) должны иметь размеры, указанные в табл. 3.5.

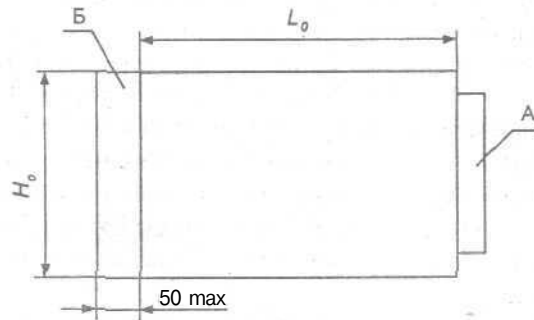


Рис. 3.22

А — зона размещения печатной вставки электрического соединителя, Б — зона размещения элементов настройки и регулирования

Таблица 3.5. Размеры монтажных **вдвижных** плат в системе УТК-20

H_0	115	155, 195, 235
L_0	80, 100, 120, 140, 160, 220	100, 140, 160, 220

Шаг установки монтажных **вдвижных** плат выбирается, исходя из максимальной высоты навесных элементов, и округляется до ближайшего большего стандартного значения. Зазор между максимально выступающими элементами соседних ячеек должен быть не менее 4–5 мм.

Массивные элементы (сетевой трансформатор, крупногабаритные конденсаторы блока питания и др.) размещаются на шасси, под которым чаще всего понимается металлическая пластина, закрепленная внутри несущего каркаса.

При компоновке ЭБ основным критерием должна быть минимизация его габаритных размеров, если в технических требованиях к устройству не задано иное. Размеры унифицированного корпуса ЭБ округляются до ближайших больших значений, взятых из соответствующих числовых рядов. В системе УТК-20 корпуса электронных блоков (рис. 3.23) должны иметь размеры, указанные в табл. 3.6.

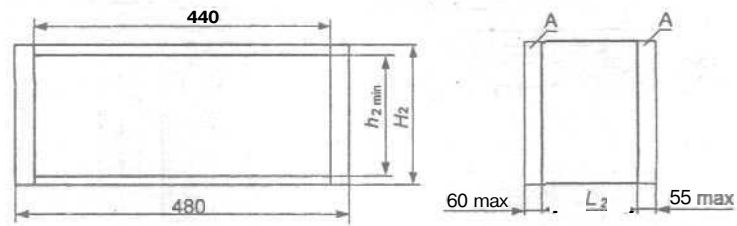


Рис. 3.23

А — зона размещения элементов коммутации, электрического монтажа и внешних конструктивных элементов

Таблица 3.6. Размеры корпусов блоков в системе УТК-20

H_2	78	118	158	198	238	278
h_2	60	100	140	180	220	260
L_2	180, 300, 420					

3.4.3 Разработка чертежа общего вида или сборочного чертежа блока

После выбора размеров корпуса и печатных плат проводится графическая компоновка ЭБ, в процессе которой уточняется взаимное расположение его составных частей. Крепление последних внутри несущего каркаса осуществляется с помощью дополнительных элементов несущей конструкции:

уголков, стоек, планок и т. п. Результатом графической компоновки является чертеж общего вида ЭБ. Вариант компоновки ЭБ в унифицированном приборном корпусе показан на рис. 3.24. Примеры оформления чертежей общего вида приведены в литературе [3].

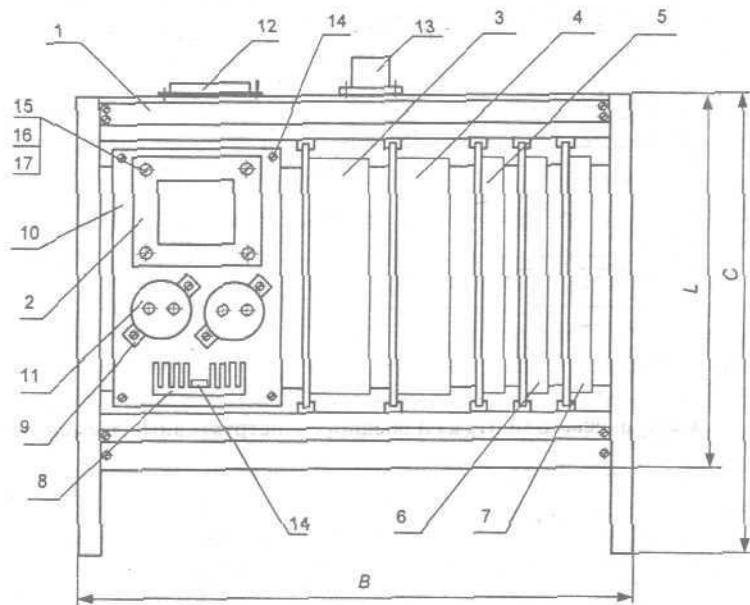


Рис. 3.24. Фрагмент чертежа общего вида ЭБ:

1 — блочный приборный каркас, 2 — трансформатор, 3—7— электронные модули, 8 — радиатор, 9 — хомут для крепления конденсатора, 10 — шасси, 11 — конденсатор, 12-13 — электрические соединители. 14 — транзистор, 15-17 — крепежные элементы (винт, гайка, шайба)

3.4.4 Рекомендации по конструированию печатной платы электронного узла

До начала конструирования в результате анализа схемы и условий эксплуатации узла формулируются следующие исходные данные:

- требования к размерам и форме печатной платы (ПП),

- габаритные ограничения, метод крепления и ориентация платы в корпусе устройства;
- типы навесных элементов, размещаемых на ПП;
- размещение и варианты установки регулировочных элементов;
- **интенсивность** механических и климатических воздействий на узел в процессе эксплуатации;
- напряжения и **токи** в отдельных цепях узла;
- **мощности**, рассеиваемые **теплонагруженными** элементами схемы;
- способ реализации внешних соединений печатного узла (электрический разъем, монтажные провода, спаиваемые в отверстия ПП, **винтовые** зажимы и т.п.);
- технологические ограничения на минимальную ширину печатных проводников, зазоров и другие, зависящие от того, где будут изготавливаться ПП.

Разработка **выполняется** с помощью специализированного пакета прикладных программ САПР. Среди профессионалов наибольшее распространение получил пакет **PCAD**. Технологическое оборудование для производства ПП адаптировано к этой программе, в связи с чем изготовители печатных плат **предпочитают** принимать заказы в формате последних версий **PCAD** **либо** непосредственно в формате для фотоплоттера Gerber.

Лишь в крайнем случае допускается разработка документации без использования САПР. При этом следует помнить, что в инженерной деятельности конструирование печатных плат «вручную» уже практически не используется.

Рекомендации по конструированию печатной платы состоят в следующем. Центры монтажных, переходных отверстий и контактных площадок обязательно располагаются в узлах координатной сетки. Центры отверстий под неформуемые выводы многовыводных элементов, расстояния между которыми не соответствуют шагу координатной сетки, размещаются таким образом, чтобы в узле сетки находился **центр** хотя бы одного отверстия.

Шаг координатной сетки выбирается равным 2,5 или 1,25 мм в прямоугольной системе координат. Для импортных элементов допускается применение дюймовой координатной сетки с шагом 2,54 или 1,27 мм. При наличии микросхем с шагом выводов менее 1,25 (1,27) мм используется более мелкий шаг координатной сетки.

Регулировочные элементы размещаются таким образом, чтобы после установки платы в аппаратуре к ним обеспечивался удобный доступ. Расположение элементов и трассировку соединений следует производить так, чтобы суммарная длина проводников была минимальной.

Элементы и цепи, между которыми возможно возникновение емкостных, индуктивных или гальванических паразитных связей, следует разносить дальше друг от друга. При невозможности пространственного разделения таких цепей используются экраны.

Земляные проводники целесообразно выполнять максимально возможной ширины. Следует разделять земляные проводники силовых и сигнальных цепей. Проводники шириной более 5 мм и экраны выполняются с перфорацией во избежание вспучивания фольги из-за газовыделения из диэлектрического основания ПП при пайке.

Варианты формовки выводов и установки элементов на печатную плату выбираются в соответствии с ГОСТ 29137-91. При наличии механических воздействий в процессе эксплуатации обеспечивается дополнительное крепление массивных элементов к ПП с помощью клея, хомутов и т.д. Для каждого вывода элемента предусматривается отдельное монтажное отверстие. Установка в одно отверстие двух выводов или объемных проводников не допускается.

Диаметр монтажного **металлизированного** отверстия должен быть на 0,15–0,5 мм больше диаметра вывода элемента. Диаметр сверления под металлизацию принимается на 0,1–0,15 мм больше диаметра металлизированного отверстия, но не менее 1/3 толщины платы.

Контактные площадки выбираются из библиотеки САПР или создаются разработчиком самостоятельно и могут иметь

форму круга, квадрата, многоугольника. Первый вывод многовыводного элемента должен отличаться от остальных формой контактной площадки. Примеры числовых значений размеров монтажных отверстий и контактных площадок приведены в табл. 3.7.

Таблица 3.7

Диаметр вывода элемента (диаметр описанной окружности для прямоугольного вывода), мм	Диаметр отверстия под металлизацию, мм	Диаметр контактной площадки, мм
До 0,6 включительно	0,9	1,9
Более 0,6 до 0,8 включительно	1,1	2,5
Более 0,8 до 1,0 включительно	1,3	2,8
Более 1,0 до 1,3 включительно	1,6	3,2

Не рекомендуется **иметь** на одной плате более шести различных диаметров отверстий.

Печатные **проводники** выполняются одинаковой ширины на всем протяжении и располагаются параллельно линиям координатной сетки либо под углом, кратным 15° . В узких местах проводники сужаются до минимально допустимых значений на возможно меньшей длине.

Ширина печатного проводника выбирается с учетом силы протекающего по нему тока и возникающего при этом падения напряжения. Допустимая плотность тока в печатном проводнике составляет 20 А/мм^2 , что соответствует правилу: на 1 А силы тока должно приходиться не менее 1 мм ширины проводника. При такой плотности тока перегрев печатного проводника относительно температуры окружающей среды не существен. При жестких габаритных ограничениях для проводников, работающих в однократном или циклическом режиме, допустимая плотность тока может быть **увеличена**, но не более чем до 50 А/мм^2 .

В случаях, когда необходимо обеспечить малое падение напряжения в цепи, ширина печатного проводника выбирается исходя из его электрического сопротивления, а не из плотности тока. Для печатной платы не следует без особой необходимости выбирать более 2-3 значений ширины проводника.

Ширина зазора между печатными проводниками (контактными площадками, проводником и контактной площадкой) **определяется** максимальным рабочим напряжением. Допустимые уровни напряжений, в зависимости от расстояния между двумя печатными проводниками, приведены в табл. 3.8 [4],

Таблица 3.8

ПП с изоляционным покрытием		ПП без защитного покрытия	
Амплитуда напряжения, В	Минимальный зазор, мм	Амплитуда напряжения, В	Минимальный зазор, мм
0-9	0,125	0-50	0,50
10-30	0,25	51-150	0,60
31-50	0,35	151-300	1,25
51-150	0,50	301-500	2,50
151-500	1,50	500	0,005 мм/В
500	0,003 мм/В		

Для **цепей** с низкими рабочими токами и напряжениями без крайней необходимости не следует принимать ширину проводников и зазоров между ними менее 0,5 мм. В узких местах **минимальные** размеры элементов печатного монтажа выбираются на основе технологических ограничений **используемого** метода изготовления ПП. Для наиболее распространенного комбинированного метода изготовления ПП технологические ограничения следующие:

- минимальная ширина проводника — 0,25 мм;
- минимальная ширина зазора между **проводниками** — 0,25 мм;
- минимальная ширина пояса контактной площадки — 0,35 мм."

3.4.5 Оформление конструкторской документации электронного узла

В результате разработки должны быть получены чертеж печатной платы, сборочный чертеж печатного узла и **специ-**

фикация. Если применяемая САПР не обеспечивает соблюдение требований ЕСКД, потребуется доработка чертежей платы с помощью графического редактора программ AutoCAD, Компас, Corel DRAW и др.

Чертеж ПП должен содержать основные проекции платы с печатными проводниками и отверстиями, необходимые дополнительные виды, таблицы, технические требования. На чертеже указывается вся информация, необходимая для изготовления ПП: способ изготовления, габаритные размеры, ширина печатных проводников и расстояния между ними, размеры всех отверстий и контактных площадок, координаты отверстий, маркировка обозначений элементов со стороны их установки, чистота обработки поверхностей ПП, допуски.

Координатная сетка наносится на всю поверхность печатной платы либо рисками по периметру контура ПП или на некотором расстоянии от него. Габаритные и другие размеры ПП, не связанные с печатным монтажом, указываются с помощью размерных и выносных линий. За ноль в прямоугольной системе координат рекомендуется принимать левый нижний угол ПП на ее главном виде.

При разработке платы «вручную» для упрощения графики чертежа все отверстия допускается показывать окружностями одинакового диаметра с зачернением соответствующих секторов.

Печатные проводники изображаются в виде отрезков утолщенных линий, проведенных параллельно линиям координатной сетки либо под углом, кратным 15° . Проводники шириной более 2,5 мм изображаются двумя линиями и штрихуются под углом 45° . Штриховкой или зачернением могут выделяться при необходимости и другие элементы печатного монтажа (экраны, контактные ламели и т.д.).

Сборочный чертеж имеет наименование и обозначение, аналогичное спецификации, но с кодом СБ. Сборочный чертеж при минимальном числе видов должен давать полное представление о расположении и способе крепления навесных элементов. Навесные элементы, если это не мешает правильному пониманию чертежа, изображаются упрощенно. При автома-

тизированном проектировании изображение элемента берется из библиотеки САПР, На видах сверху или слева допускается условное обозначение **объема**, занимаемого элементами, сплошной тонкой линией.

Позиционные обозначения навесных электронных элементов на сборочном чертеже обычно не указываются. При этом в технических требованиях делается запись «Позиционные обозначения элементов соответствуют ...ЭЗ» (указывается обозначение схемы электрической принципиальной узла). Номера позиций печатной платы и других оригинальных деталей и узлов обязательно проставляются на сборочном чертеже.

Список технических требований на чертеже помимо обязательных пунктов должен содержать специальные требования, характерные для данного конкретного узла.

При заполнении спецификации однотипные элементы записываются в следующей последовательности: резисторы — в порядке возрастания мощности и сопротивления, конденсаторы — в порядке возрастания рабочего напряжения и емкости, полупроводниковые приборы — в порядке возрастания индексов.

Примеры оформления чертежа ПП и сборочного чертежа электронного узла даны в приложениях Б, В.

3.4.6 Выбор радиаторов для охлаждения полупроводниковых приборов

Для надежного функционирования мощных полупроводниковых приборов необходимо обеспечить эффективный отвод выделяемой в них теплоты. Обычно это достигается увеличением поверхности **теплообмена** между прибором и окружающей средой за счет применения радиатора.

В электронной аппаратуре при мощностях рассеивания выше 5–10 Вт широко применяются ребристые и штыревые радиаторы (рис. 3.25). Их часто используют как элемент несущей конструкции, например в качестве задней панели **элект-**

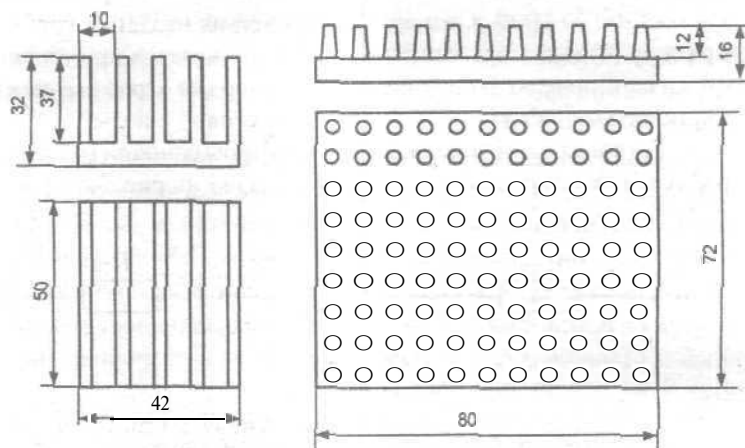


Рис. 3.25. Конструкции ребристого и штыревого радиаторов

ронного блока. Радиаторы этих типов могут быть односторонними и двусторонними. Ребристый радиатор в условиях естественной конвекции воздуха должен располагаться ребрами вертикально, а при наличии обдува — боковой поверхностью ребер по направлению потока воздуха. Штыревой радиатор при естественной конвекции работает более эффективно при горизонтальном расположении штырей; при обдуве поток воздуха должен быть направлен в торец радиатора. Зависимость эффективности охлаждения от направления потока воздуха у штыревых радиаторов проявляется в меньшей степени, чем у ребристых.

Радиаторы, как правило, изготавливаются из алюминиевых сплавов, обладающих высокой теплопроводностью и хорошими технологическими свойствами. Для интенсификации теплового излучения на их поверхности выполняется матовое покрытие со степенью черноты не ниже 0,85 путем оксидирования или окрашивания эмалями черного цвета.

Чтобы обеспечить плотное прилегание контактирующих поверхностей, основание радиатора в зоне установки прибора должно иметь параметр шероховатости R_a не более 2,5. Для уменьшения переходного термического сопротивления контактные поверхности рекомендуется покрывать теплопроводящей пастой КПТ-8, полиметилсилоксановыми жидкости ПМС с вяз-

костью 200 — 1000 сСт и др. Электрическая изоляция корпуса прибора от радиатора чаще всего осуществляется применением диэлектрических прокладок, например, из керамики-полимерного материала Номакон-GS или листовой слюды.

Тепловая схема охлаждения полупроводникового прибора, установленного на радиаторе, показана на рис. 3.26.

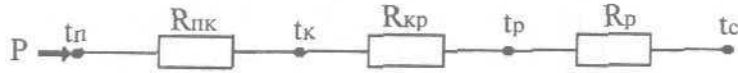


Рис. 3.26

P — мощность, рассеиваемая прибором;

$t_{п}, t_{к}$ — температуры $p-n$ перехода и корпуса прибора;

$t_{р}, t_{с}$ — температуры радиатора и окружающей среды;

$R_{пк}$ — тепловое сопротивление $p-n$ переход — корпус прибора;

$R_{кп}$ — тепловое сопротивление корпус прибора — радиатор;

$R_{р}$ — тепловое сопротивление радиатора.

Тепловое сопротивление $R_{пк}$ зависит от конструкции полупроводникового прибора и приводится в перечне его параметров.

Контактное тепловое сопротивление перехода корпус прибора — радиатор

$$R_{кп} = R_{уд}/S,$$

где $R_{уд}$ — удельное тепловое сопротивление контакта, $^{\circ}\text{C}\cdot\text{см}^2/\text{Вт}$;

S — площадь контакта прибора с радиатором, см^2 .

Тепловое сопротивление радиатора

$$R_{р} = \Delta t_{р}/P,$$

где $\Delta t_{р} = t_{р} - t_{с}$;

$t_{р}$ — температура радиатора в месте установки прибора.

С учетом приведенной тепловой схемы температура $p-n$ перехода

$$t_{п} = t_{с} + P(R_{пк} + R_{кп} + R_{р}).$$

Температура корпуса прибора

$$t_{к} = t_{с} + P(R_{кп} + R_{р}).$$

Температура радиатора

$$t_p = t_c + P \cdot R_p.$$

Для мощностей рассеивания порядка нескольких ватт выпускаются унифицированные радиаторы. Задача разработчика состоит в правильном выборе типоразмера такого радиатора в соответствии с приводимой ниже методикой:

1) Из выражения для температуры p - n перехода рассчитывается максимально допустимое тепловое сопротивление радиатора, $^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$:

$$R_{p \max} = \frac{t_{п \max} K_H - t_c - P(R_{пк} + R_{кп})}{P},$$

где $t_{п \max}$ — предельно допустимая температура p - n перехода, взятая из справочных данных прибора, $^{\circ}\text{C}$;

t_c — заданная максимально возможная температура окружающей среды, $^{\circ}\text{C}$;

$K_H = 0,8$ — коэффициент тепловой нагрузки элемента.

При вычислении $R_{кп}$ площадь S определяется из габаритного чертежа полупроводникового прибора, $R_{уд}$ — по табл. 3.9 [5].

2) В соответствии с формулой для теплового сопротивления радиатора рассчитывается

$$\Delta t_p = R_{p \max} \cdot P.$$

С помощью характеристик $R_p = f(\Delta t_p)$, приводимых в справочных данных унифицированных радиаторов, подбирается типоразмер, у которого при полученном значении Δt_p будет выполняться условие $R_p \leq R_{p \max}$.

3) Проверочный расчет температуры p - n перехода прибора.

Уточняется

$$\Delta t_p = R_p \cdot P,$$

где R_p — тепловое сопротивление выбранного радиатора при рассчитанном в п. 2 значении Δt_p .

Таблица 3.9. Значения удельного теплового контактного сопротивления прибор-радиатор

Способ установки прибора на радиатор	$K_{уп}$, °С·см ² /Вт
Без прокладки	1,14-1,52
Без прокладки, с пастой КПП-8	0,38-0,76
Без прокладки, со смазкой ПМС-200	1,14
Без прокладки, со смазкой ЦИАТИМ	1,14-1,33
Через прокладку из слюды толщиной 30 мкм	1,98
Через прокладку из слюды толщиной 50 мкм	2,39
Через прокладку из слюды толщиной 30 мкм с пастой КПП-8	0,83
Через прокладку из слюды толщиной 50 мкм с пастой КПП-8	1,14
Через прокладку из триацетатной пленки толщиной 50 мкм с пастой КПП-8	2,85

Для уточненного значения Δt_p по характеристике $R_p = f(\Delta t_p)$ определяется R_p , для которого по формулам для температуры $p-n$ перехода и температуры корпуса прибора рассчитываются $t_{п}$ и $t_{к}$.

Если рассчитанные температуры не превышают допустимых значений, радиатор выбран правильно. В противном случае необходимо взять радиатор с меньшим тепловым сопротивлением R_p и повторить расчет.

Характеристики $R_p = f(\Delta t_p)$ радиаторов, изображенных на рис. 3.25, для условий естественного охлаждения приведены в табл. 3.10.

Радиатор с требуемыми параметрами можно сконструировать самостоятельно, используя методику, указанную в [5].

Существенно повысить рассеиваемую мощность без увеличения размеров радиатора позволяет его обдув с помощью осевого вентилятора.

Таблица 3. 10. Характеристики радиаторов, изображенных на рис. 3.25

$\Delta t_p, ^\circ\text{C}$	$R_p, ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, для радиаторов		$\Delta t_p, ^\circ\text{C}$	$R_p, ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, для радиаторов	
	ребри- стый	штыре- вой		ребри- стый	штыре- вой
0	6,60	7,50	30	3,85	2,70
2	6,28	6,86	32	3,77	2,62
4	5,96	6,22	34	3,69	2,54
6	5,56	5,12	36	3,59	2,45
8	5,32	4,94	38	3,53	2,40
10	5,25	4,70	40	3,50	2,38
12	5,07	4,40	42	3,46	2,34
14	4,89	4,10	44	3,42	2,30
16	4,64	3,73	46	3,36	2,25
18	4,48	3,51	48	3,32	2,22
20	4,40	3,40	50	3,30	2,20
22	4,28	3,24	55	3,20	2,10
24	4,16	3,08	60	3,10	2,07
26	4,02	2,88	65	3,05	2,05
28	3,94	2,76	70	3,00	2,00

3.4.7 Расчет параметров теплового режима блока

Тепловой расчет электронного блока проводится в два этапа. На первом этапе рассчитывается **среднеобъемный** перегрев воздуха в блоке **относительно** температуры окружающей среды. На втором этапе, используя **значение** этого перегрева, вычисляют температуру корпуса элемента с наиболее напряженным тепловым режимом.

Для блоков различной конструкции с воздушным охлаждением задача **первого** этапа часто решается коэффициентным методом [6]. В соответствии с **этим** методом перегрев корпуса блока (нагретой зоны) относительно температуры окружающей среды можно представить в виде произведения коэффициентов, каждый из которых **зависит** только от одного фактора, влияющего на величину указанного перегрева. К числу та-

ких факторов относятся удельная тепловая мощность, рассеиваемая корпусом блока (нагретой зоной), коэффициент перфорации корпуса, давление среды, окружающей корпус (нагретую зону), и др.

Функциональные зависимости между указанными коэффициентами и влияющими факторами представлены в виде эмпирических соотношений, полученных в результате экспериментальных исследований тепловых режимов реальных электронных устройств. Для получения правильных результатов следует использовать требуемые единицы измерения исходных данных.

При расчете теплового режима реальный электронный блок заменяют упрощенной тепловой моделью с сосредоточенными параметрами. В упрощенной модели объем аппарата, в котором расположены тепловыделяющие элементы, условно заменяют одним телом простой формы с изотермической поверхностью, так называемой *нагретой зоной*. В рассматриваемой ниже методике нагретая зона имеет форму параллелепипеда.

В методике расчета [6, 7] приняты следующие допущения:

- коэффициенты теплообмена наружной и внутренней поверхностей корпуса блока, а также внутри нагретой зоны блока зависят от физических параметров среды, геометрических размеров и средних перепадов температур, но не зависят от координат;
- распространение тепла от элементов по печатной плате происходит аналогично процессу в бесконечном плоском ребре постоянной толщины. Данное допущение основано на том, что эквивалентные теплопроводности печатных плат в различных направлениях имеют значения одного порядка;
- отсутствуют кондуктивные (т.е. за счет явления теплопроводности) теплостоки от элементов и корпуса блока;
- область печатной платы, ограниченная проекцией корпуса элемента, считается изотермической;
- элементы на печатной плате рассматриваются в виде цилиндрических источников тепла с площадью поверхности, равной площади реального корпуса элемента.

Перечень исходных данных, необходимых для выполнения расчета, приведен в таблице 3.11.

Таблица 3.11. Исходные данные для расчета теплового режима

Наименование параметра	Обозначение	Единица измерения
Температура окружающей среды	t_0	°C
Допустимая температура корпуса наименее теплостойкого элемента	$t_{доп}$	°C
Суммарная мощность, рассеиваемая блоком	P_0	Вт
Давление окружающей среды	U_0	Па
Давление внутри корпуса блока	H_2	Па
Площадь основания элемента, для которого рассчитывается температура	$S_{Э0}$	м ²
Суммарная площадь поверхности элемента, для которого рассчитывается температура	$S_Э$	м ²
Коэффициент теплоотдачи конвекцией	α_k	Вт/(м ² ·°C)
Коэффициент теплоотдачи излучением	a	Вт/(м ² ·°C)
Теплопроводность печатной платы	λ_n	Вт/(м·°C)
Толщина печатной платы	δ_n	м
Ширина воздушного зазора между печатной платой и установленным на нее элементом	δ_3	м
Теплопроводность воздушного зазора между печатной платой и элементом	λ_3	Вт/(м·°C)
Мощность рассеивания элемента, для которого рассчитывается температура	P_3	Вт

Порядок расчета теплового режима блока с естественным воздушным охлаждением:

1) Удельная мощность, рассеиваемая корпусом блока, Вт/м²,

$$q_k = \frac{P_3}{2(l_1l_3 + l_2l_3 + l_1l_2)},$$

где l_1, l_2, l_3 — соответственно *длина*, ширина и высота корпуса блока.

2) Коэффициент, учитывающий перфорацию корпуса блока:

$$K_{кп} = 0,06^A \text{ при } 0 \leq A \leq 0,125;$$

$$K_{кп} = 0,82 \times 0,32^A \text{ при } 0,125 < A \leq 0,3;$$

$$K_{кп} = 0,74 \times 0,49^A \text{ при } 0,3 < A \leq 0,6;$$

$$K_{кп} = 0,6 \times 0,7^A \text{ при } 0,6 < A \leq 1,0.$$

Здесь *вспомогательный* параметр A рассчитывается по формуле

$$A = \frac{S_n}{2[l_1 l_2 + (l_1 + l_2) l_3]},$$

где S_n — суммарная площадь вентиляционных отверстий в корпусе блока.

Для блока с перфорированным корпусом в первом приближении рекомендуется принять $A = 0,3$.

3) Перегрев корпуса блока *относительно* температуры окружающей среды при $S_n = 0$ и нормальном атмосферном давлении, °С,

$$\Theta_{к0} = 0,1472 q_k - 0,2962 \cdot 10^{-3} q_k^2 + 0,3127 \cdot 10^{-6} q_k^3,$$

где $0 < q_k < 600$ Вт/м².

Данное выражение справедливо для блоков, корпус которых покрыт эмалевыми матовыми красками различного цвета.

4) Коэффициент, учитывающий давление окружающей среды,

$$K_{f1} = 0,82 + \frac{1}{0,925 + 4,6 \cdot 10^{-5} H_1},$$

где $700 \leq H_1 \leq 1,2 \cdot 10^5$ Па.

5) Перегрев корпуса блока *относительно* температуры окружающей среды в реальных условиях, °С,

$$\Theta_k = \Theta_{к0} K_{H1} K_{кп}.$$

б) Коэффициент заполнения объема блока

$$K_3 = \frac{\sum V_i}{l_1 l_2 l_3},$$

где V_i — объемы, занимаемые электронными компонентами, печатными платами и другими деталями блока, размещенными внутри корпуса.

7) Удельная мощность, рассеиваемая нагретой зоной блока, Вт/м²,

$$q_3 = \frac{P_3}{2[l_1 l_2 + (l_1 + l_2)l_3 K_3]}.$$

8) Среднеобъемный перегрев нагретой зоны при $S_n = 0$ и нормальном давлении внутри корпуса блока, °С,

$$\Theta_{30} = 0,139q_3 - 0,1223 \cdot 10^{-3} q_3^2 + 0,0698 \cdot 10^{-6} q_3^3,$$

где $0 < q_3 \leq 800$ Вт/м².

9) Коэффициент, учитывающий давление воздуха внутри корпуса блока,

$$K_{H_2} = 0,8 + \frac{1}{1,25 + 3,8 \cdot 10^{-5} H_2},$$

где $700 < H_2 < 1,2 \cdot 10^5$ Па.

10) Изменение давления снаружи корпуса блока влияет на перегрев корпуса относительно температуры окружающей среды, а внутри корпуса — на перегрев нагретой зоны относительно температуры корпуса блока. Исходя из этого, среднеобъемный перегрев нагретой зоны блока относительно температуры окружающей среды, °С,

$$\Theta_3 = \Theta_k + (\Theta_{30} - \Theta_{k0}) K_{H_2} K_{xn}.$$

11) Среднеобъемный перегрев воздуха внутри блока относительно температуры окружающей среды, °С,

$$\Theta_B = \frac{\Theta_3 + \Theta_k}{2}.$$

12) Эквивалентный радиус элемента, установленного на печатной плате, м,

$$R = \sqrt{\frac{S_{\text{ЭЭ}}}{\pi}}.$$

13) Параметр m , м⁻¹,

$$m = \sqrt{\frac{2 \left(\alpha_k \sqrt{\frac{H_2}{10^5}} + \alpha \right)}{\lambda_n \delta_n}}.$$

где α_k и α , — коэффициенты теплоотдачи конвекцией и излучением с поверхности печатной платы, на которой установлен тепловыделяющий элемент.

При выполнении расчетов рекомендуется при естественном воздушном охлаждении принимать α и α_k равными 5 Вт/(м² · °С). Для платы из фольгированного стеклотекстолита можно принять $\lambda_n = 0,372$ Вт/(м · °С).

14) Коэффициент, учитывающий теплоотдачу с корпуса элемента, Вт/(м² · °С),

$$K_\alpha = \frac{23,54}{4,317 + \lg S_{\text{Э}}}$$

15) Вспомогательный коэффициент B , Вт/°С,:

-- при одностороннем расположении элементов на плате

$$B = \left(\alpha_k \sqrt{\frac{H_2}{10^5}} + \alpha \right) \pi R^2,$$

— при двустороннем расположении элементов на плате $B=0$.

16) Перегрев корпуса элемента относительно температуры воздуха внутри блока, °С,

$$\Theta_3 = \frac{R_3}{\left\{ \left[(K_\alpha - \alpha) \sqrt{\frac{H_2}{10^5}} + \alpha \right] (S_3 - S_{30}) + \left[\frac{\delta_3}{\lambda_3 \pi R^2} + \left(B + M \pi R \lambda_3 \delta_3 m \frac{K_1(mR)}{K_0(mR)} \right)^{-1} \right]^2 \right\}^{1/2}}$$

где M — обозначение, введенное для упрощения формы записи: $M = 2$ при двустороннем расположении элементов на плате; $M = 1$ при одностороннем расположении элементов;

$K_0(mR)$, $K_1(mR)$ — модифицированные функции Бесселя 2-го рода нулевого и первого порядка, приведенные в табл. 3.12 [8].

Ширину воздушного зазора δ_3 между печатной платой и установленным на ней элементом целесообразно принять равной 1 мм. Теплопроводность этого зазора λ_3 определяется из табл. 3.13 по рассчитанной температуре воздуха внутри блока:

$$t_B = \Theta_B + t_C.$$

17) Температура корпуса элемента

$$t_3 = \Theta_3 + \Theta_B + t_C.$$

Если рассчитанная температура элемента превышает допустимое значение, следует уточнить исходные данные (размер корпуса, коэффициент перфорации) и повторить расчет до получения удовлетворительного результата. В качестве допустимой температуры корпуса элемента можно выбрать 70 °С.

Для упрощения вычислений на основе данной методики написана компьютерная программа.

После этого для блока с перфорированным корпусом по выбранному значению A необходимо найти суммарную площадь вентиляционных отверстий, определить размеры и количество отверстий. Вентиляционные отверстия можно располагать на всех поверхностях корпуса, кроме передней и задней панели.

Таблица 3.12. Модифицированные функции Бесселя

mR	$K_0(mR)$	$K_1(mR)$	mR	$K_0(mR)$	$K_1(mR)$	mR	$K_0(mR)$	$K_1(mR)$
1,20	0,31850	0,43460	1,58	0,19283	0,24750	1,96	0,11963	0,14743
1,22	0,30990	0,42130	1,60	0,18796	0,24063	1,98	0,11672	0,14360
1,24	0,30160	0,40840	1,62	0,18320	0,23397	2,00	0,11390	0,13986
1,26	0,29360	0,39600	1,64	0,17860	0,22753	2,02	0,11113	0,13623
1,28	0,28590	0,38400	1,66	0,17411	0,22128	2,04	0,10845	0,13271
1,30	0,27820	0,37260	1,68	0,16974	0,21523	2,06	0,10582	0,12931
1,32	0,27100	0,36140	1,70	0,16550	0,20935	2,08	0,10326	0,12598
1,34	0,26370	0,35070	1,72	0,16137	0,20368	2,10	0,10078	0,12274
1,36	0,25680	0,34040	1,74	0,15735	0,19817	2,12	0,09836	0,11960
1,38	0,25020	0,33050	1,76	0,15343	0,19283	2,14	0,09599	0,11655
1,40	0,24366	0,32090	1,78	0,14963	0,18765	2,16	0,09370	0,11358
1,42	0,23733	0,31150	1,80	0,14593	0,18262	2,18	0,09145	0,11071
1,44	0,23118	0,30250	1,82	0,14233	0,17775	2,20	0,08927	0,10790
1,46	0,22522	0,29390	1,84	0,13883	0,17302	2,22	0,08713	0,10516
1,48	0,21944	0,28560	1,86	0,13540	0,16844	2,24	0,08506	0,10251
1,50	0,21380	0,27740	1,88	0,13209	0,16397	2,26	0,08303	0,09993
1,52	0,20833	0,26950	1,90	0,12885	0,15965	2,28	0,08107	0,09742
1,54	0,20302	0,26200	1,92	0,12569	0,15546	2,30	0,07913	0,09498
1,56	0,19786	0,25460	1,94	0,12263	0,15139			

Таблица 3.13 Теплопроводность сухого воздуха при давлении $1,013 \cdot 10^5$ Па

$t, ^\circ\text{C}$	$\lambda, \text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$	$t, ^\circ\text{C}$	$\lambda, \text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$
-50	0,0204	50	0,0283
-20	0,0228	60	0,0290
0	0,0244	70	0,0297
10	0,0251	80	0,0305
20	0,0260	90	0,0313
30	0,0268	100	0,0321
40	0,0276	120	0,0334

3.4.8 Проектирование системы виброизоляции электронного блока

Решение этой задачи необходимо для аппаратуры, устанавливаемой на подвижных объектах (автомобили, самолеты и др.) и стационарной промышленной аппаратуры, размещаемой в зоне воздействия вибраций, создаваемых технологическим оборудованием.

Виброизоляция осуществляется путем установки между электронным блоком и вибрирующим основанием упругих опор — амортизаторов. Блок совместно с амортизаторами образует колебательную систему, обладающую свойствами демпфирования и частотной селекции механических колебаний.

Демпфирование заключается в поглощении и рассеянии энергии механических колебаний амортизатором. Частотная селекция колебаний проявляется в том, что поведение конструкции зависит от соотношения частоты вибрации и собственной резонансной частоты системы виброизоляции. В резонансной области система виброизоляции является фильтром нижних частот, а при совпадении собственной частоты системы f_0 и частоты внешних воздействий/переходит в резонансный режим. Условием ослабления вибрации является выполнение условия $f > \sqrt{2}f_0$.

Качество виброизоляции характеризуется коэффициентом динамичности

$$\eta = \frac{A_{\text{бл}}}{A_{\text{осн}}} = \frac{G_{\text{бл}}}{G_{\text{осн}}},$$

где $A_{\text{бл}}$ и $A_{\text{осн}}$ — амплитуды колебаний блока и основания;

$G_{\text{бл}}$ и $G_{\text{осн}}$ — перегрузки блока и основания.

Перегрузка

$$G = \frac{ma}{mg} = \frac{a}{g},$$

где m — масса блока;

a — ускорение блока, обусловленное внешним механическим воздействием;

g — ускорение свободного падения.

Степень ослабления вибрации характеризуется также коэффициентом эффективности виброизоляции, выражаемым в процентах:

$$\varepsilon = (1 - \eta) 100.$$

Предполагается, что блок, установленный на амортизаторах, представляет собой колебательную систему с одной степенью свободы. Статические нагрузки P_i на амортизаторы определяются из условий статического равновесия системы. При использовании четырех амортизаторов эти условия имеют вид

$$\sum_{i=1}^4 P_i = mg; \quad \sum_{i=1}^4 P_i a_i = 0; \quad \sum_{i=1}^4 P_i b_i = 0; \quad \sum_{i=1}^4 P_i a_i b_i = 0,$$

где a_i , b_i — координаты точек крепления амортизаторов.

Для защиты электронной аппаратуры от механических воздействий наиболее часто используются следующие амортизаторы:

- **резинометаллические** типа АП с упругим элементом в виде резиновой втулки, закрепленной на металлическом фланце;

- пружинные с воздушным демпфированием типа АД, в которых экспоненциальная пружина помещена в резиновый баллончик, сообщающийся с атмосферой через отверстие малого диаметра;
- пружинные с фрикционным демпфированием типа АПН и др., в которых для успокоения колебаний применен специальный демпфер с сухим трением.

Расчет системы виброизоляции проводится в следующей последовательности [9]:

1) Выбирается схема установки амортизаторов под дном блока (рис. 3.27). Четыре амортизатора располагаются симметрично относительно геометрического центра блока. Определяются координаты a_1, a_2, b_1, b_2 центра тяжести блока. Если исходные данные для этого отсутствуют, можно принять $a_1 = a_2, b_1 = b_2$.

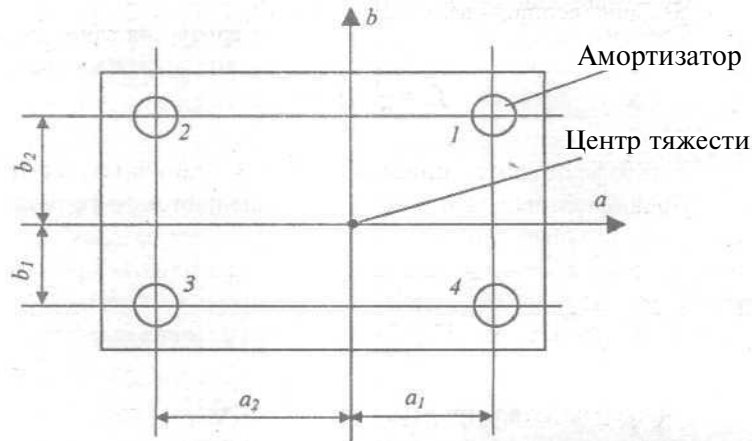


Рис. 3.27. Схема установки амортизаторов

2) Нагрузки P_i на амортизаторы определяются по формулам, полученным путем решения уравнений статического равновесия системы, Н,

$$P_1 = \frac{mga_2b_2}{(a_1 + a_2)(b_1 + b_2)}; \quad P_2 = \frac{mga_1b_2}{(a_1 + a_2)(b_1 + b_2)};$$

$$P = \frac{mga_1b_1}{(a_1+a_2)(b_1+b_2)} \cdot p = \frac{mga_2b_1}{(a_1+a_2)(b_1+b_2)},$$

где масса блока m должна быть выражена в килограммах, $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.

3) По табл. 3.14 — 3.15 выбираются амортизаторы, исходя из условия $P_{Hi} \geq P_i$. Номинальная нагрузка P_{Hi} выбранного амортизатора должна быть по возможности близка к рассчитанному значению P_i . Параметры различных типов амортизаторов приведены в работах [10, 11].

4) Суммарная жесткость амортизаторов

$$K = \sum_1^4 k_i,$$

где k_i — коэффициенты жесткости амортизаторов, Н/м.

5) Собственная частота системы, Гц,

$$f_o = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{m}}$$

6) Коэффициенты динамичности для граничных частот f_1 и f_2 заданного диапазона вибрации определяются по формуле

$$\eta_i = \frac{1}{\left| 1 - \left(\frac{f_i}{f_o} \right)^2 \right|}, \quad i = 1, 2.$$

Предполагается, что демпфированием можно пренебречь.

7) Амплитуды вибросмещения блока, мм,

$$A_{\text{бли}} = \eta_i A_{\text{оси}}, \quad i = 1, 2.$$

8) Амплитудные значения перегрузок, действующих на блок,

$$G_i = 0,004 A_{\text{бли}} f_i^2, \quad i = 1, 2.$$

Здесь $A_{\text{бли}}$ должны быть выражены в миллиметрах, f_i — в герцах.

Если полученные значения перегрузок превышают заданные значения, необходимо выбрать другой тип амортизаторов с более низкой жесткостью и повторить расчет. Для обеспечения требуемого ослабления вибрации на низких частотах может потребоваться применение специальных амортизаторов с собственной частотой порядка единиц герц.

В общем случае на амортизированную систему одновременно могут воздействовать вибрации в различных направлениях. Такие системы, имеющие несколько степеней свободы, рассмотрены в [10, 11].

9) Статические деформации амортизаторов под нагрузкой, мм,

$$Z_i = P_i / k_i, i = 1-4.$$

10) Толщины компенсирующих прокладок, мм,

$$h_i = Z_i - Z_{imin}.$$

В общем случае потребуются три компенсирующих прокладки, исключающие перекос блока, обусловленный различной статической деформацией амортизаторов под нагрузкой. При $h_i \leq 0,1$ мм прокладку можно не использовать.

11) Рассчитывается коэффициент эффективности виброизоляции Э.

Таблица 3.14. Параметры амортизаторов типа АП

Тип амортизатора	Номинальная нагрузка, Н	Коэффициент жесткости, Н/м	Тип амортизатора	Номинальная нагрузка, Н	Коэффициент жесткости, Н/м
АП-I-1	4,5	2900	АП-II-8	36,0	28400
АП-I-2	9,0	5800	АП-II-10	45,0	29000
АП-I-3	13,5	8700	АП-II-12	54,0	34000
АП-I-4	18,0	11900	АП-III-10	45,0	29000
АП-I-5	22,5	14500	АП-III-15	67,5	42000
АП-II-2	9,0	5800	АП-III-20	90,0	57000
АП-II-4	18,0	11900	АП-III-25	112,5	71000
АП-II-6	27,0	23800	АП-III-30	157,5	92000

Таблица 3.15. Параметры амортизаторов типа АД и АПН

Тип амортизатора	Номинальная нагрузка, Н	Коэффициент жесткости, Н/м	Тип амортизатора	Номинальная нагрузка, Н	Коэффициент жесткости, Н/м
АД-0,6	3,06–6,12	1200	АПН-1	5,0–10,0	6800
АД-1,5	10,2–15,3	2000	АПН-2	9,8–24,5	13700
АД-3	15,5–30,6	4000	АПН-3	19,6–49,0	22500
АД-5	30,6–51,0	7000	АПН-4	39,2–68,7	32300
АД-10	71,4–102,0	12000	АПН-5	58,9–98,1	49000
АД-15	102–153	19000	АПН-6	88,3–147,2	58800

3.4.9 Разработка инструкции по эксплуатации устройства

К эксплуатационным документам относятся руководство по эксплуатации, формуляр, паспорт и другие документы согласно ГОСТ 2.601-95. Разработка этих документов в полном объеме выходит за рамки дипломного проектирования. Однако в дипломном проекте может быть приведена инструкция по эксплуатации устройства, в которую входят материалы отдельных разделов руководства по эксплуатации.

Такая инструкция оформляется в соответствии с общими требованиями к текстовым документам и должна содержать следующие разделы:

- требования по технике безопасности (правила, которыми необходимо руководствоваться в процессе монтажа и эксплуатации устройства для исключения электро- и прочих видов травматизма персонала);
- подготовка устройства к работе (внешний осмотр устройства, последовательность его монтажа на объекте, регулировка устройства на месте установки и др.);
- порядок работы с устройством (рекомендации по правильному использованию устройства по назначению);
- указания по поверке устройства (только для средств измерения);
- техническое обслуживание (периодичность и основные

работы, проводимые при **планово-профилактическом** техническом обслуживании устройства в процессе эксплуатации);

— возможные неисправности и методы их устранения (форма представления раздела показана в табл. 3.16).

Таблица 3.16. **Возможные неисправности и методы их устранения**

Наименование и внешнее проявление неисправности	Вероятная причина	Метод устранения

3.4.10 Расчет надежности электронных устройств

Большинство промышленных электронных устройств являются **нерезервированными** восстанавливаемыми объектами. Поэтому ниже **рассматривается** методика оценки надежности устройств только этого класса. Для устройств со структурным резервированием необходимые формулы приведены в методических указаниях [12].

При выполнении расчета считается, что время работы устройства соответствует периоду нормальной эксплуатации, интенсивности отказов **элементов** являются постоянными, распределение времени безотказной работы подчиняется экспоненциальному закону. Предполагается также, что отказы элементов являются внезапными, полными и независимыми, причем элементы и устройство в целом могут **находиться** в двух состояниях: работоспособном или неработоспособном.

Расчетно-логическая схема нерезервированного устройства представляет собой цепочку последовательно соединенных элементов, отказ любого из которых приводит к отказу устройства в целом. **Интенсивности** отказов элементов зависят от их электрической **нагрузки**, температуры окружающей среды и других **факторов**, учитываемых с помощью поправочных коэффициентов.

Интенсивность отказов элементов i -го типа определяется по формуле

$$\lambda_i = \lambda_{oi} \alpha_i k_1 k_2 k_3,$$

где λ_{oi} — интенсивность отказов данного типа элементов при номинальной электрической нагрузке и нормальных условиях эксплуатации (табл. 3.17);

α_i — коэффициент, учитывающий влияние температуры окружающей среды и электрической нагрузки элемента (табл. 3.18); для элементов, не указанных в табл. 3.18, принимается $\alpha_i = 1$;

k_1 — коэффициент, учитывающий влияние механических факторов (табл. 3.19);

k_2 — коэффициент, учитывающий влияние климатических факторов (табл. 3.20);

f_{cj} — коэффициент, учитывающий влияние пониженного атмосферного давления (табл. 3.21).

Под коэффициентом электрической нагрузки k_{II} понимается отношение рабочего значения электрического параметра к его номинальному значению, установленному нормативно-технической документацией. В качестве определяющих обычно принимаются следующие параметры:

- рассеиваемая мощность — для транзисторов и резисторов;
- рабочее напряжение — для конденсаторов;
- прямой ток — для полупроводниковых выпрямительных диодов;
- ток стабилизации — для стабилитронов;
- выходной ток — для интегральных аналоговых микросхем и буферных цифровых микросхем;
- коэффициент разветвления по выходу — для прочих цифровых микросхем;
- ток через контакт — для электромагнитных реле и электрических соединителей;
- потребляемая мощность — для трансформаторов и дросселей.

Окончание таблицы 3.18

Наименование элемента	Температура, °C	Значения коэффициентов α_i при коэффициенте электрической нагрузки элементов k_H						
Резисторы	20	0,20	0,26	0,35	0,42	0,50	0,60	0,72
	30	0,27	0,34	0,43	0,51	0,62	0,75	0,88
	40	0,33	0,42	0,51	0,60	0,76	0,94	1,11
	50	0,40	0,50	0,59	0,71	0,92	1,17	1,38
	60	0,47	0,57	0,67	0,82	1,08	1,43	1,70
Конденсаторы	20	0,28	0,28	0,36	0,49	0,64	0,80	—
	30	0,30	0,30	0,38	0,50	0,70	0,94	—
	40	0,34	0,34	0,42	0,54	0,80	1,10	—
	50	0,38	0,38	0,49	0,63	0,95	1,43	—
	60	0,46	0,46	0,61	0,75	1,19	2,00	—
Трансформаторы, дроссели	20	—	0,10	0,10	0,10	0,20	0,30	0,60
	30	—	0,10	0,10	0,20	0,30	0,60	1,00
	40	—	0,20	0,20	0,20	0,50	1,20	1,80
	50	—	0,20	0,20	0,30	0,80	1,80	2,80
	60	—	0,30	0,30	0,40	1,20	2,50	4,10

Таблица 3.19. Значения коэффициентов k_1 для неамортизированной аппаратуры

Вид аппаратуры	Коэффициент k_1
Лабораторная	1,00
Наземная стационарная	1,07
Корабельная	1,37
Автомобильная	1,46
Железнодорожная	1,54
Авиационная	1,65

Таблица 3.20. Значения коэффициентов k_2

Влажность, %	Температура, °C	Коэффициент k_2
60-70	20-40	1,0
60-80	50-60	1,5
90-98	20-25	2,0
90-98	30-40	2,5

Таблица 3.21. Значения коэффициентов k_3

Высота, км	0-1	1-3	3-8	8-15	15-30
Коэффициент k_3	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4

Интенсивность отказов устройства в целом

$$\Lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i m_i,$$

где m_i — число элементов i -го типа; n — число типов элементов.

Результаты промежуточных вычислений оформляются в табличной форме (табл. 3.22).

Таблица 3.22. Оформление результатов вычислений

Тип элемента	Число элементов	Коэффициент нагрузки	$\lambda_{oi} \cdot 10^6$, 1/ч	α_i	$\lambda_{oi} \alpha_i \cdot 10^6$, 1/ч	$\lambda_i \cdot 10^6$, 1/ч	$\lambda_i m_i \cdot 10^6$, 1/ч

Если внешние воздействия на все элементы устройства одинаковы, при вычислении Λ произведение $k_1 k_2 k_3$ может быть записано перед знаком суммы.

Вероятность безотказной работы устройства рассчитывается по формуле

$$P(t) = e^{-\Lambda t},$$

где время t выбирается из ряда: 1000, 2000, 4000, 8000, 16000 ч.

Рассчитанное значение $P(t)$ не должно быть менее 0,8.

Средняя наработка на отказ определяется из соотношения

$$T = 1/\Lambda.$$

Среднее время восстановления устройства вычисляется по формуле

$$T_B = \frac{1}{\Lambda} \sum_{i=1}^n (\tau_o + \tau_{Bi}) \lambda_i m_i,$$

где τ_o — время ожидания ремонта, выбираемое исходя из условий эксплуатации устройства, τ_{Bi} — среднее время восстановления для i -го типа элементов (см. табл. 3.17).

Рассчитанное T_B необходимо округлить до ближайшего большего значения из ряда: 1; 5; 10; 20; 40; 60 мин; 2; 4; 6; 8; 10; 12; 18; 24; 36; 48; 96 ч.

Стационарное значение коэффициента готовности определяется по формуле

$$K_T = \frac{T}{T + T_B + \tau_{OB}},$$

где τ_{OB} — среднее время обнаружения отказа после его возникновения.

При непрерывном контроле работоспособности устройства $\tau_{\text{об}} = 0$, при периодическом контроле — $\tau_{\text{об}} > 0$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методические указания и контрольные задания к практическим занятиям по курсу «Конструирование устройств промышленной электроники»/ Сост. С.Г. Григорьян. Новочеркасск: ЮРГТУ, 1999. — 28 с.
2. Компоновка электронного блока с учетом заданных параметров теплового режима: Методические указания к выполнению курсового проекта по дисциплине «Проектирование средств ПЭ»/Сост. С.Г. Григорьян, Г.С. Галикян. Новочеркасск: НГТУ, 1997. — 18 с.
- 3- *Александров К. К., Кузьмина Е. Г.* Электротехнические чертежи и схемы. М.: Энергоатомиздат, 1990. — 288 с.
4. Микроэлектронные устройства автоматики: Учеб. пособие для вузов/ Под ред. А.А. Сазонова. М.: Энергоатомиздат, 1991. — 384 с.
5. Источники электропитания радиоэлектронной аппаратуры: Справочник/ Под ред. П.С. Найвельта. М.: Радио и связь, 1986. — 576 с.
6. *Роткоп Л.Л., Спокойный Ю.Е.* Обеспечение тепловых режимов при конструировании радиоэлектронной аппаратуры. М.: Сов. радио, 1976. — 232 с.
7. *Спокойный Ю.Е., Сибиряков В.В.* Тепломассообмен в радиоэлектронной аппаратуре: Лабораторный практикум. Киев—Одесса: Выща шк., 1988. — 224 с.
8. *Янке Е., Эмде Ф., Леш Ф.* Специальные функции: формулы, графики, таблицы. 3-е изд. М.: Наука, 1977. — 342 с.
9. *Преснухин Л.Н., Шахнов В.А.* Конструирование электронных вычислительных машин и систем: Учебник для вузов. М.: Высш. шк., 1986. — 512 с.
10. *Маквезов Е.Н., Тартаковский А.М.* Механические воздействия и защита радиоэлектронной аппаратуры: Учебник для вузов. М.: Радио и связь, 1993. — 200 с.

11. Ильинский В. С. Защита РЭЛ и прецизионного оборудования от динамических воздействий. М.: Радио и связь, 1982. — 296 с.
12. Расчет надежности электронных устройств: Методические указания и контрольные задания к практическим занятиям по курсу «Проектирование средств промышленной электроники»/ Сост. С.Г. Григорьян. Новочеркасск: НГТУ, 1999. — 19 с.

3.5 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТИРУЕМЫХ УСТРОЙСТВ И СИСТЕМ

3.5.1 Общие требования к разработке экономической части дипломного проекта

В условиях рыночной экономики успех как проектной организации, так и коммерческого предприятия определяется конкурентоспособностью, т.е. способностью не только спроектировать и произвести, но и реализовать продукцию. Поэтому создаваемая техника по своим эксплуатационным параметрам должна быть на уровне или превышать мировые стандарты, быть экономичной в производстве и удовлетворять социальным требованиям.

Студент-дипломник, выполняя дипломный проект, должен его обосновать, доказать, что спроектированное им устройство целесообразно проектировать, производить, эксплуатировать, что можно добиться успеха на рынке и получить планируемые доходы, прежде всего прибыль. В соответствии с этим организационно-экономическая часть дипломного проекта (ОЭЧП) должна содержать: обоснование темы проекта (во введении ко всему проекту); экономическое обоснование частных решений (в технических главах); собственно экономическую главу, название которой должно отражать содержание пунктов, включенных в данную главу. Общий объем ОЭЧП обычно не превышает 15% объема пояснительной записки. Кроме текстовой части пояснительной записки с экономичес-

кими анализом, расчетами и т.п., целесообразно на демонстрационных листах представить либо сетевой (или ленточный) план-график НИОКР по созданию системы, устройства, либо сравнительную таблицу технико-экономических показателей спроектированного устройства с лучшими из существующих (карту технического уровня); либо графические зависимости экономических показателей от изменения качественных параметров микропроцессорной системы, устройства и т.п.

Конкретное содержание ОЭЧП определяется консультантом — преподавателем экономики — после возвращения студента с преддипломной практики. Условием выдачи задания по ОЭЧП является утвержденная на кафедре АиТ тема проекта и наличие согласованного с руководителем проекта плана спецчасти.

3.5.2 Содержание экономической части проекта

В большинстве случаев в этой главе дается общая оценка конечных результатов проекта, его технико-экономическое обоснование, однако содержание главы определяется консультантом в зависимости от специфики проекта. Глава должна включать 2-3 вопроса (пункта) из следующего перечня:

1. Маркетинговые исследования.
2. Бизнес-план инвестиционного (дипломного) проекта.
3. Расчет показателей, используемых при сравнении различных инвестиционных проектов.
4. Экономические преимущества от эксплуатации спроектированного изделия (устройства и т.п.).
5. Планирование конструкторской подготовки изделия: сетевой или ленточный график проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР).
6. Расчет себестоимости (сметы и затрат) и цены НИОКР.
7. Разработка графиков производства изделия (решение вопросов, связанных с организацией производства спроектированного изделия).
8. Технико-экономическая оценка качества спроектированного изделия (в сравнении с базовым).

9. Расчет себестоимости и цены спроектированного изделия.
10. Вопросы менеджмента.
11. Иные экономические вопросы, согласованные с преподавателем — консультантом по ОЭЧП.

3.5.2,1 Маркетинговые исследования

Эти исследования являются исходным моментом экономической главы, поскольку студент должен доказать, что его разработка будет пользоваться спросом в условиях рыночной экономики. Дипломнику необходимо сделать прогноз рынка по покупателям (произвести сегментацию), объемам продаж и ценам. Прогноз выбранного сегмента рынка является важной задачей, поэтому студенту надо определить потребителей спроектированного изделия по трем основным направлениям:

а) госзаказ на изделия, которые могут использоваться на государственных унитарных предприятиях;

б) заказчики, являющиеся постоянными покупателями аналогичной продукции;

в) потенциальные покупатели спроектированной продукции, которые ранее не были удовлетворены уровнем выпускаемых изделий и теперь могут отдать предпочтение новой продукции. Следовательно, дипломнику рекомендуется оценить объем продаж изделий для удовлетворения спроса на спроектированное изделие. Объемы продаж следует устанавливать по статистическим данным, экспертным оценкам и другим методам, причем целесообразно использовать одновременно несколько методов прогнозирования и сравнить результаты. Общий объем продаж складывается из отдельных объемов, определенных по каждой группе покупателей.

Помимо сегментации рынка и прогноза объема продаж рекомендуется спрогнозировать цену изделия. Объектом рыночных исследований является и цена аналогов, выпускаемых разными коммерческими организациями. Статистическая информация о цене аналогов может быть собрана дипломником самостоятельно ил» путем анализа публикаций. Желательно построить модель цены, которая связывает потребительские свойства изделия и цену. Если студент решит построить та-

кую модель, то необходимо собрать статистические данные по 3–5 аналогам, так как чем больше информации будет собрано, тем ближе модель цены опишет реальные предпочтения покупателя и его оценку отдельных свойств исследуемой продукции. Результат раздела — рекомендуемые объем производства и цена изделия.

Обратим внимание, что предлагаемые студенту исследования рынка являются упрощенными, поэтому, если имеется возможность воспользоваться информацией маркетинговой службы предприятия или организации по месту прохождения преддипломной практики, при прогнозировании объема продаж и цены необходимо учесть следующее:

- объемы производства, импорта и экспорта изделий;
- структуру и емкость отдельных сегментов рынка;
- сведения о поставщиках;
- сведения о различных группах покупателей и их предпочтениях;
- вид спроса и его прогноз на предстоящий период;
- планы развития предприятия и его конкурентов;
- уровень доходов потенциальных покупателей;
- политику цен на рынке;
- издержки производства (себестоимость);
- планы расширения продаж конкурентов;
- сведения о НИОКР и модернизации продукции;
- технологию производства изделий, уровень их качества и технологичности (технологичность — основная экономическая характеристика спроектированного изделия как объекта производства);
- патенты и их нарушения;
- рекламу изделий и ее успех;
- финансовые возможности данного предприятия и его конкурентов;
- проникновение на зарубежные рынки.

Далее дипломнику необходимо разработать маркетинговую стратегию и указать рекомендуемый тип маркетинга.

3.5.2.2 Бизнес-план инвестиционного (дипломного) проекта

Бизнес-план — это сложный по структуре документ, который включает описание организации (фирмы), ее потенциальные возможности, **оценку** внутренней и внешней среды в бизнесе, конкретные данные о развитии бизнеса. Бизнес-план — это не только внутренний документ фирмы, он может быть **использован** для получения внешних инвестиций. В этом случае план является **инвестиционным**, и в бизнес-плане следует указать цель инвестиций. Ниже приведена примерная структура бизнес-плана, которая на практике (исходя из реальной ситуации и финансовых возможностей) может быть **изменена**:

- оглавление бизнес-плана;
- введение (резюме);
- описание фирмы, компании;
- продукция и услуги;
- план маркетинга (оценка внешней среды; оценка потенциальных покупателей и потенциальных услуг; оценка конкурентов; комплексное исследование рынка; стратегия маркетинга);
- производственный план;
- управление фирмой (**проектом**);
- финансовые ресурсы (источники и направления финансирования);
- финансовый план (планы прибыли, движения денежных потоков, анализ безубыточности, сравнительный анализ эффективности производства);
- оценка степени риска;
- приложения.

В инвестиционном бизнес-плане следует не только определить срок окупаемости инвестиций и рентабельность, но и проанализировать, как изменяется выручка и доход предприятия, **издержки** производства, прибыль, фондоотдача, **производительность** труда, материалоемкость и др.

Бизнес-план инвестиционного проекта, в котором разрабатывается научно-технический продукт (НТПр), имеет некоторые особенности. Студент, проходящий преддипломную практику в Донском филиале Центра тренажеростроения и подготовки персонала (ДФЦТ), имеет возможность на практике ознакомиться со структурой составления такого бизнес-плана, поскольку в ДФЦТ накоплен опыт их разработки.

Ниже приведена примерная структура бизнес-плана инвестиционного проекта по разработке НТПр:

- общие сведения о заявителе;
- резюме (реферат бизнес-плана, ключевые слова, научно-технический задел по проекту);
- описание продукции (описание НТПр: указывается назначение НТПр; приводятся определяющие технико-экономические показатели, номенклатура которых рассмотрена после структуры бизнес-плана; основные технические параметры; дается оценка научно-технического уровня проектируемого изделия; указываются области применения, а также перспективы совершенствования продукта);
- план маркетинга (в этом разделе указывается форма реализации НТПр, проводятся анализ рынка НТПр, определяется стратегия реализации НТПр, планируется организация рекламы, а также сервис и гарантии);
- организационный план производства (отмечается состояние работ по проекту; планируется организация производства НТПр, в том числе технология создания продукта);
- правовая охрана НТПр;
- финансовая часть (информация этой части проекта в бизнес-плане зачастую носит иллюстративный характер, дающий представление о типовом соотношении статей затрат, возможных источниках финансирования и вероятных финансовых результатах);
- приложения.

Номенклатура технико-экономических показателей представлена ниже. Целесообразно сделать прогноз по следующим показателям:

- улучшение экологии;
- ресурсосбережение;
- повышение **безопасности населения**;
- создание рабочих мест;
- новизна НТПр (международный патент, патент РФ, «ноу-хау»);
- уровень НТПр (наличие прямых аналогов, выше мирового уровня, мировой уровень);
- устойчивость существования НТПр на рынке;
- относительная **эффективность** затрат потребителя на приобретение НТПр;
- показатели рентабельности создания первого опытного образца при базовом значении 20% (для повышения конкурентоспособности возможно снижение рентабельности до 6%);
- показатель рентабельности тиражирования;
- срок возврата инвестиций (при базовом значении 3,5 года);
- финансовая обоснованность срока возврата **инвестиций**;
- ценовая рыночная **перспективность** НТПр (с указанием цен зарубежного и отечественного аналогов).

Такова примерная номенклатура **технико-экономических** показателей, которые должен **привести** дипломник в бизнес-плане. Напомним, что исходные данные студенту рекомендуется получить в ходе преддипломной практики.

3.5.2.3 Показатели, используемые при сравнения различных инвестиционных проектов: **чистый дисконтированный доход (ЧДД)**; индекс доходности (ИД); **внутренняя норма доходности (ВНД)**; срок окупаемости

Методика определения сравнительной эффективности капитальных **вложений**, используемая до сих пор рядом предприятий, НИИ, КБ, основана на сравнении приведенных за-

трат по вариантам. Согласно этой методике экономически целесообразным вариантом считается тот, который обеспечивает минимум приведенных затрат, т.е.

$$Z_i = C_i + E_H \cdot K_i \rightarrow \min,$$

где C_i — себестоимость продукции по вариантам;
 K_i — капитальные вложения по вариантам.

При этом годовой экономический эффект от реализации лучшего варианта определяется по формуле

$$\Delta = (Z_1 - Z_2) = (C_1 + ад) - (C_2 + E_H K_2),$$

где Z_1, Z_2 — приведенные затраты по вариантам;
 C_1, C_2 — себестоимость продукции по вариантам;
 K_1, K_2 — капитальные вложения по вариантам.

Сравнительный коэффициент эффективности капитальных вложений определяется по формулам

$$E_{CP} = \frac{C_1 - C_2}{K_2 - K_1}; \quad OK = \frac{V - K_1}{C_1 - C_2}$$

Если $E_{CP} \geq E_H$, то из этого следует, что капитальные вложения в экономическом плане обоснованы, а при $E_{CP} > E_H$ вариант эффективен ($E_H = 0,15$).

Недостатком данной методики является то, что критерием для определения лучшего варианта являются приведенные затраты, а не прибыль, которая в наибольшей степени отвечает требованиям рыночной экономики. Кроме того, данная методика не может быть использована при обосновании капитальных вложений, направляемых на улучшение качества спроектированного изделия, так как улучшение качества продукции на предприятии, как правило, ведет к увеличению издержек производства.

Поэтому большой теоретический и практический интерес как для организаций, так и для студентов-дипломников представляет методика определения выгодности вложения инвестиций в развитых странах с рыночной экономикой, которая глубоко и научно обоснована и подтверждена практикой.

Основные методические подходы подробно описаны в экономической литературе западных стран, а в последние годы

и в российской литературе. Известны два метода решения данной проблемы, хотя они имеют много общего. Студенту-дипломнику следует знать эти методы и использовать в проекте один из них.

Первый метод связан со сравнением величины инвестиций с величиной получаемого дохода от их использования путем сопоставления цены спроса с ценой предложения. Предприниматель заинтересован во вложении инвестиций только в том случае, если ожидаемый доход от его использования за определенный период составит не менее величины вложения инвестиций.

Так как предприниматель за товар сразу платит определенную сумму, а доход будет **получать** частями в течение ряда лет, то следует определить, сколько стоит тот доход, который предприниматель может получить в будущем, в момент вложения **инвестиций**. В мировой практике подобные расчеты называют дисконтированными, а полученную в результате этих расчетов величину называют *дисконтированной стоимостью*.

Дисконтированная стоимость (PV) любого дохода (Π) через определенный период (T) при *процентной ставке* (r) определяется по формуле

$$PV = \frac{\Pi_1}{(1+r)} + \frac{\Pi_2}{(1+r)^2} + \frac{\Pi_3}{(1+r)^3} + \dots + \frac{\Pi_n}{(1+r)^n} = \sum_{i=1}^n \frac{\Pi_i}{(1+r)^i},$$

где 1, 2, 3, ..., n — годы, в течение которых ожидаются **ежегодные** доходы в размерах $\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \dots, \Pi_n$.

Из этой формулы следует, что дисконтированная стоимость какой-то суммы **будет** тем ниже, чем больше срок, через который вкладчик намерен получить искомую сумму Y , и чем выше процентная ставка r .

Выгодность вложения инвестиций, как было уже отмечено, определяется путем **сопоставления** цены спроса с ценой предложения.

Если все это перевести на более понятные дипломнику термины, то это означает:

- если $D > K$ — выгодно вкладывать инвестиции;
- если $D < K$ — невыгодно;
- если $D = K$ — достигаются равновыгодные условия,

где D — доход (прибыль), который может быть получен за счет реализации дипломного проекта. Он определяется на основе дисконтирования;
 K — капитальные вложения, необходимые для реализации

В наше предложение, определяемая ценой спроса, K — ценой предложения. Инвестиций связан со сравнением нормы отдачи с процентной ставкой или другими аналогичными критериями.

Норма отдачи инвестиций определяется по формуле

$$ROR = \frac{\text{Чистый доход} - \text{Цена предложения}}{\text{Цена предложения}} \cdot 100\%$$

Если $ROR > r$, то фирме выгодно вкладывать инвестиции, если $ROR < r$ — невыгодно. При $ROR = r$ достигаются равновыгодные условия.

Эффективность проекта характеризуется системой показателей, отражающих соотношение затрат и результатов применительно к интересам его участников.

Различаются следующие показатели эффективности инвестиционного проекта:

- показатели коммерческой (финансовой) эффективности, учитывающие финансовые последствия реализации проекта для его непосредственных участников;
- показатели бюджетной эффективности, отражающие финансовые последствия осуществления проекта для федерального, регионального или местного бюджета;
- показатели экономической эффективности, учитывающие затраты и результаты, связанные с реализацией проекта, выходящие за пределы прямых финансовых интересов участников инвестиционного проекта и допускающие стоимостное измерение. Для крупномасштабных (существенно затрагивающих интересы города, региона или всей России) дипломных проектов рекомендуется обязательно оценивать экономическую эффективность,

где

екта
ной]

принятии. Если ЧДД отрицательный, то проект считается неэффективным, т.е. убыточным для инвестора.

Величину ЧДД можно представить еще следующей формулой:

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=0}^T (P_t + A_t H_n) \cdot \frac{1}{(1+E)^t} - K,$$

где Я, — чистая прибыль, полученная на г-м шаге;

A_t — амортизационные отчисления на t-м шаге;

H_n — налог на прибыль на t-м шаге, в долях ед.

Таким образом, ЧДД — это сумма приведенных величин чистой прибыли и амортизационных отчислений за минусом приведенных капитальных вложений.

В зарубежной литературе величину ЧДД обозначают «NPV»;

величину $\sum_{t=0}^T (R_t - Z_t) \cdot \frac{1}{(1+E)^t}$ обозначают «PV»; капи-

тальные вложения К обозначают «С»; эффект, достигаемый на t-м шаге, $\Theta_t = (R_t - Z_t)$ обозначают «R».

Индекс доходности (ИД) представляет собой отношение суммы приведенных эффектов к величине капиталовложений:

$$\text{ИД} = PI = \frac{1}{K} \cdot \sum_{t=0}^T (R_t - Z_t) \cdot \frac{1}{(1+E)^t}$$

$$\text{или } \text{ИД} = PI = \frac{\sum_{t=0}^T \Theta_t}{K},$$

где $\sum_{t=0}^T \Theta_t$ — сумма приведенных эффектов;

К — приведенные капитальные вложения.

С достаточной степенью точности индекс рентабельности

можно определить как отношение дисконтированных прибылей и амортизационных отчислений к капитальным вложениям.

Индекс доходности тесно связан с ЧДД. Он строится из тех же элементов, и его значение связано со значением ЧДД; если ЧДД положителен, то ИД > 1, и наоборот.

Правило для вывода по дипломному проекту: если ИД > 1, проект эффективен, если ИД < 1 — неэффективен.

Внутренняя норма доходности (ВНД) представляет собой ту норму дисконта ($E_{вн}$), при которой величина приведенных эффектов равна приведенным капиталовложениям. Иными словами, $E_{вн}$ (ВНД) является решением уравнения:

$$\sum_{t=0}^T \frac{R_t - Э_t}{(1 + E_{вн})^t} = \sum_{t=0}^T \frac{K}{(1 + E_{вн})^t}.$$

Если расчет ЧДД инвестиционного проекта дает ответ на вопрос, является он эффективным или нет при некоторой заданной норме дисконта (E), то ВНД проекта определяется в процессе расчета и затем сравнивается с требуемой инвестором нормой дохода на вкладываемый капитал.

Если ВНД равна или больше требуемой инвестором нормы дохода на капитал, то инвестиции в данный проект оправданы и может рассматриваться вопрос о его принятии. В противном случае инвестиции в данный проект нецелесообразны.

Если сравнение альтернативных (взаимоисключающих) инвестиционных проектов (вариантов проекта) по ЧДД и ВНД приводит к противоположным результатам, предпочтение следует отдать ЧДД.

Срок окупаемости проекта — время, за которое поступления от производственной деятельности предприятия покроют затраты на инвестиции. Измеряется он в годах или месяцах.

Результаты и затраты, связанные с осуществлением проекта, можно вычислять с дисконтированием или без него. Соответственно получатся два различных срока окупаемости. Срок окупаемости рекомендуется определять с использованием дисконтирования.

Наряду с перечисленными критериями в дипломном проекте возможно использование ряда других: точки безубыточности, простой нормы прибыли, **капиталоотдачи** и т.д. Но ни **один** из перечисленных критериев сам по себе не является достаточным для принятия проекта. Решение об инвестировании средств в проект должно приниматься с учетом значений всех **перечисленных** критериев и интересов всех участников **инвестиционного** проекта.

Обратим внимание, что исходные данные для расчета приведенных выше показателей студент должен найти во время преддипломной практики (в экономических отделах тех организаций, где студент проходил практику).

3.5.2.4 Экономические преимущества от эксплуатации спроектированного изделия

В ряде случаев не представляется возможным на этапе дипломного проектирования рассчитать конкретные **экономические** показатели, доказывающие экономическую **эффективность** проекта. В качестве одного из 2-3 вопросов **ОЭЧП** в этом случае возможно текстовое описание экономических преимуществ, которые могут быть получены от эксплуатации изделия, спроектированного студентом. Следует спрогнозировать улучшение экономических показателей в результате внедрения студенческой **разработки**, например, сокращение эксплуатационных расходов в результате повышения показателей надежности конструкции, экономию фонда заработной платы в результате улучшения условий труда, а также рост производительности труда обслуживающего персонала. При использовании результатов, **полученных** в главе по **БЖД**, можно спланировать указанные выше экономические показатели. В любом случае при внедрении разработки должен быть получен не только научно-технический и социальный, но и экономический эффект.

3.5.2.5 Планирование конструкторской **подготовки** производства изделий

Для управления **НИОКР** могут быть использованы либо линейные (графики **Ганта**), либо сетевые графики, позволяющие оптимизировать процесс создания **новой** техники.

Наиболее **прогрессивны сетевые графики**. Для их построения и последующего функционирования системы **СПУ** необходимо:

- 1) установить содержание работ, их последовательность и взаимосвязь;
- 2) определить продолжительность каждой работы и построить график;
- 3) рассчитать временные параметры событий (непосредственно на графике) и работ (в таблице);
- 4) составить карту проекта с **оптимизацией** использования ресурсов во времени;
- 5) обеспечить управление разработкой с помощью сетевого графика.

Взаимосвязь работ и наименование событий целесообразно определять непосредственно по графику в процессе его составления. Параллельно с этим следует заполнить табл. 3.23.

Таблица 3.23. Перечень событий и работ

События		Работы					
Номер	Наименование	Шифр У	Содержание	Оценки, дней		$t_{ож}$, дней	Количество исполнителей K_p , чел.
				t_{min}	t_{max}		

Продолжительность работ определяется либо нормативным, либо вероятностным методом. Здесь можно использовать вероятностные методы.

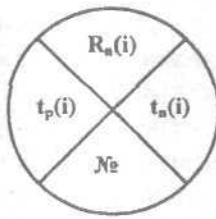


Рис. 3.28

Методом «двух оценок» ожидаемое время выполнения данной (i, j) работы определяется по формуле

$$t_{OЖ}(i, j) = \frac{3t_{\min} + 2t_{\max}}{5},$$

где t_{\min} , t_{\max} — соответственно оптимистическая и пессимистическая оценки продолжительности работ, установленные ответственным исполнителем.

Параметры событий: ранние сроки $t_p(i)$, поздние сроки $t_n(i)$, резерв времени $R_n(i)$ и номера событий указать на графике (в кружках), как на рис. 3.28, а расчет параметров работ представить в табл. 3.24,

Таблица 3.24. Расчет временных параметров сетевого графика

События		$t(i, j)$, дней	Ранние сроки		Поздние сроки		$R_n(i, j)$
			$t_{pn}(i, j)$	$t_{po}(i, j)$	$t_{nn}(i, j)$	$t_{no}(i, j)$	
i	j						

Примечания:

i и j — шифры соответственно i — начального и j — конечного событий работы;

$t(i, j)$ — продолжительность работы;

$t_{pn}(i, j) = t_p(i)$ — наиболее ранний (из возможных) срок начала работы (раннее начало);

$t_{po}(i,j) = t_{pn}(i,j) + t(i,j)$ — раннее окончание работы;
 $t_{nn}(i,j) = t_{no}(y) - t(i,j)$ — наиболее поздний (из допустимых) срок начала работы (позднее начало);
 $t_{no}(i,j) = t_n(j)$ — позднее окончание;
 $R_n(i,j) = t_{no}(i,j) - t_{po}(i,j) = t_{nn}(i,j) - t_{pn}(i,j)$ — полный резерв времени работы.

На демонстрационном листе формата А₁ можно представить сетевой график с указанием работ и параметров событий, таблицу с рассчитанными параметрами работ и карту проекта с оптимизацией использования ресурсов.

В пояснительной записке следует показать, как будет осуществляться оперативное руководство работами с помощью составленного сетевого графика.

3.5.2.6 Расчет себестоимости (сметы затрат) и цены НИОКР

Целью планирования себестоимости проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) является экономически обоснованное определение величины затрат на их выполнение. Расчет себестоимости НИОКР по разработке устройства, системы, электронного прибора и т.п. рекомендуем провести на основе метода сметных калькуляций — путем составления сметы затрат, которая определяет общую сумму предпроизводственных затрат, т.е. стоимость всех ресурсов, необходимых для реализации комплекса работ. В плановую себестоимость НИОКР включаются все затраты, связанные с их выполнением, независимо от источника их финансирования.

Калькуляцию себестоимости НИОКР рекомендуется составить по следующим статьям затрат:

- материалы и покупные изделия;
- спецоборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата научно-производственного персонала (НПП);
- дополнительная заработная плата НПП;

- отчисления на социальные нужды (на **социальное страхование**, в Пенсионный фонд РФ, на обязательное медицинское страхование, на страхование от несчастных случаев на **производстве**);
- расходы на научные и производственные командировки;
- затраты по работам, выполняемым сторонними **организациями и предприятиями**;
- прочие прямые расходы;
- накладные расходы.

На **основании** полученных данных по отдельным статьям затрат следует составить калькуляцию плановой себестоимости в целом по **НИОКР** по приведенной ниже форме (табл. 3.25).

В случае, когда не представляется возможным получение информации для определения затрат методом сметных калькуляций, можно **использовать** метод расчета по удельным показателям или другие методы укрупненного расчета, описанные в литературе.

В научных организациях, работающих ныне в условиях рыночных отношений, определяется не только величина плановой себестоимости НИОКР, но и **величина** плановой **прибыли**.

Плановая прибыль по каждой конкретной теме НИОКР рассчитывается по формуле

$$П = Ц_{\text{НИОКР}} - С_{\text{НИОКР}},$$

где $П$ — плановая прибыль по теме, руб.;

$Ц_{\text{НИОКР}}$ — цена НИОКР (без НДС) по теме, руб.;

$С_{\text{НИОКР}}$ — плановая себестоимость темы, руб.

Цена НИОКР должна обеспечивать получение прибыли, достаточной для уплаты налога на прибыль, а также для финансирования **научно-технического**, материально-технического и социального развития самой научной организации.

В дипломном проекте плановую прибыль следует определить по нормативу рентабельности, установленному в процентах к **себестоимости** НИОКР, по данным организации — места преддипломной практики, а затем сложить величину по

Таблица 3.25. Калькуляция плановой себестоимости в целом по НИОКР

Наименование статей затрат	Условное обозначение	Затраты		Обоснование
		Сумма, руб	В % к итогу	
1. Материалы и покупные изделия	М			Расчет
2. Спецоборудование для научных (экспериментальных) работ	Ос			Расчет
3. Основная заработная плата НПП	Lo			Расчет
4. Дополнительная заработная плата НПП	Lд			... % от Lo
5. Отчисления на социальные нужды, всего	Осн			...% от (Lo+Lд)
В том числе:	Осс			...% от (Lo+Lд)
на социальное страхование				
в Пенсионный фонд РФ	Опенс			28% от (Lo+Lд)
на обязательное медицинское страхование	Омед			3,6% от (Lo+U)
на страхование от несчастных случаев на производстве	Онесч			...% от (Lo+Lд)
6. Расходы на научные и производственные командировки	Рк			Расчет
7. Работы и услуги сторонних организаций	Ру			Расчет
8. Прочие прямые расходы	Ппр			Поданным предприятия
9. Накладные расходы	Рн			в % от (Lo+Lд)
Итого себестоимость НИОКР	$C_{\text{ниокр}}$		100%	Сумма всех статей
Прибыль плановая	П			... % от $C_{\text{ниокр}}$
Цена НИОКР (без учета НДС)	$C_{\text{ниокр}}$			$C_{\text{ниокр}} + П$
Налог на добавленную стоимость	НДС			20% от $C_{\text{ниокр}}$
Цена НИОКР (включая НДС)	$C_{\text{ниокр}} \cdot S$			$C_{\text{ниокр}} \cdot S$ $C_{\text{ниокр}} + \text{НДС}$

лученной прибыли с ранее рассчитанной себестоимостью НИОКР. Затем необходимо определить налог на добавленную стоимость (НДС). Окончательно плановая цена НИОКР рассчитывается по формуле

$$C_{\text{НИОКР}}' S = C_{\text{НИОКР}} + \text{НДС}.$$

Обращаем внимание на тот факт, что этот расчет является упрощенным и допустим на этапе дипломного проектирования.

Методику определения отдельных статей затрат, а также методические указания по выполнению некоторых других экономических расчетов дипломник может выяснить у преподавателя — консультанта по ОЭЧП, посещая регулярно проводимые преподавателем консультации по написанию ОЭЧП. Подчеркнем, что главной в дипломном проекте является спецчасть проекта, поэтому ОЭЧП выполняется в **основном** после написания специальной части и в полном соответствии с ее результатами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Котлер Ф.* Маркетинг. Менеджмент/ Пер. с англ. / Под ред. **О.А. Третьяк, Л.А. Волковой. Ю.Н. Каптуревского** (9-е международное издание). СПб: изд-во «Питер», 2000. — 896 с.: ил. (Серия «Теория и практика менеджмента»).
2. *Котлер Ф.* Основы маркетинга. М.: Прогресс, 1992. — 736 с.
3. *Сербиновский Б.Ю., Зинченко Е.В.* Технико-экономическое обоснование дипломных проектов студентов приборостроительных специальностей: Методические указания. Новочеркасск: НГТУ, 1996. — 174 с.
4. *Эванс Дж.Р., Берман Б.* Маркетинг/ Сокр. пер. с англ./ Авт. предисл. и науч. ред. А.А. Горячев. М.: Экономика, 1993. — 335с.
5. *Алексунин В.А.* Маркетинг: Краткий курс. Учеб. пособие. 2-е изд. М.: Изд. Дом «Дашков и Ке», 2001. — 191с.
6. *Пивоваров К.В.* Бизнес-планирование. 2-е изд. М.: Издательско-книготорговый «Маркетинг», 2002. — 164 с.

7. Джозеф А. Ковелло, Бриан Дж. Хейзелгрэн. Бизнес-планы. Полное справочное руководство/ Пер. с англ. М.: БИНОМ, 1998. — 352 с.: ил.
8. Липсиц И.В. Бизнес-план — основа успеха; Практическое пособие. М., 1992. — 178 с.
9. Бизнес-план: методические материалы/ Под ред. Р.Г. Маниловского. М.: Финансы и статистика, 1994. — 80 с.
10. Пелих А.С. Бизнес-план, или как организовать собственный бизнес. М.: Ось-89, 1999. — 96 с.
11. Уткин Э.А. Бизнес-план. М.: Акалис, 1996. — 125 с.
12. Фатхутдинов Р.А. Инновационный менеджмент. 3-е изд. СПб: Питер, 2002. — 400 с.
13. Кокурин Д.И. Инновационная деятельность. М.: Экзамен, 2001. — 576 с.
14. Ильенкова С.Д. и др. Инновационный менеджмент: Учебник для вузов/ Под ред. С.Д. Ильенковой. М.: Банки и биржи, ЮНИТИ, 1997. — 327 с.
15. Экономика предприятия и отрасли промышленности. Серия «Учебники, учебные пособия». 4-е изд., перераб. и доп./ Под ред. А.С. Пелиха, Ростов н/Д: Феникс, 2001. — 544 с.
16. Экономика предприятия: 100 экзаменационных ответов/ Экспресс-справочник для студентов вузов. М.: ИКЦ «МарТ», Ростов н/Д: Изд. центр «МарТ», 2003. — 352 с.
17. Аврашков Л.Я., Адамчук В.В., Антонова О.В. и др. Экономика предприятия: Учебник для вузов/ Под ред. В.Я. Горфинкеля, В.А. Швандера. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Банки и биржи, ЮНИТИ, 2000. — 742 с.
18. Экономика для технических вузов/ Под ред. А.П. Ковалева, М.П. Павлова. Ростов н/Д: Феникс, 2001. — 512 с.
19. Сергеев И.В. Экономика предприятия: Учеб. пособие. М.: Финансы и статистика, 1998. — 304 с.
20. Зинченко Е.В., Сербиновский Б.Ю. Экономика машиностроительного производства. Методические указания к самостоятельной работе студентов. Ростов н/Д: изд-во «Пегас», 1998. — 21 с.
21. Лебедев В.Г., Дроздова Т.Г., Кустарев В.П. и др. Управление затратами на предприятии: Учебник/ Под общ. ред. Г.А. Краюхина. СПб.: Изд. дом «Бизнес-пресса», 2000. — 277 с.: ил.

22. *Фатхутдинов Р.А.* Организация производства: Учебник. М.: ИНФРА-М., 2002. — 672 с.
23. Организация производства на предприятии: Учебник для технических и экономических специальностей/ Под ред. О.Г. Туровца и Б.Ю. Сербиновского. Ростов н/Д: Изд. центр «МарТ», 2002. — 464 с.
24. Методические указания и задания к практическому занятию «Организация и планирование производства»/ Сост. Е.В. Зинченко, Б.Ю. Сербиновский. Новочеркасск: НПИ, 1992. Переиздание ЮРГТУ(НПИ), 2002. — 20 с.

3.6 ОСНОВЫ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ, ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ

Автоматизация по своей природе относится к **многоцелевым** мероприятиям **повышения** безопасности труда и его **производительности**, улучшения состояния окружающей среды и условий труда. Идеалом в этом отношении являются безлюдные производства и безотходные технологии. Эти свойства автоматизации студент должен продемонстрировать в главе, посвященной безопасности жизнедеятельности.

При разработке и проектировании информационных, измерительных и управляющих систем студент должен в обязательном порядке рассчитать **зануление** или заземление, или средства автоматического отключения, блокировки, реагирующие на короткое замыкание, износ изоляции, «перекос фаз» и т.п.

Некоторые разработки студентов, например, стенды для проведения лабораторных работ, программные продукты, отдельные электронные блоки и приборы не дают социально-экологического эффекта. В этих случаях дипломник должен продемонстрировать умение предложить одноцелевые меро-

приятия, направленные на улучшение условий труда или окружающей среды.

Преподаватель ставит перед студентом задачи согласно теме проекта и перечню вопросов, рекомендуемых для освещения в главе по безопасности жизнедеятельности (БЖД).

В главе по БЖД также включаются вопросы безопасности в чрезвычайных ситуациях.

3.6.1 Общие положения

В зависимости от темы дипломного проекта глава по БЖД должна начинаться с анализа:

- объекта;
- состояния окружающей среды.

В этой связи должны быть выявлены и описаны опасные и вредные производственные факторы, опасное и вредное влияние объекта на окружающую среду (шум, вибрация, все виды излучений, газо- и пылевыведения), возможные чрезвычайные ситуации (ЧС) на объекте.

По каждому выявленному фактору должна быть дана оценка на соответствие ГОСТам, нормативно-техническим документам (например, СНиП), предельно допустимым концентрациям (ПДК), предельно допустимым уровням (ПДУ) и предельно допустимым выбросам (ПДВ).

Далее студент должен показать, как влияет его разработка на предотвращение ЧС, повышение безопасности, улучшение условий и изменение характера труда, повышение его производительности и (или) на улучшение состояния окружающей среды. Выявленный социально-экологический эффект подтверждается расчетами на ПЭВМ, выполненными по указаниям [13].

Если социально-экологический эффект выявить не удастся, дипломник выполняет конкретное задание преподавателя, например, разработку мероприятий по улучшению условий труда в исследовательской лаборатории, на вычислительном центре, при эксплуатации тренажеров, при разработке и изготовлении печатных плат, при работе на подстанции, на станках с ЧПУ и т.д.

Во всех случаях дипломник должен проанализировать возможные аварии и чрезвычайные ситуации на данном объекте автоматизации и предусмотреть профилактические, организационные и практические мероприятия по их преодолению.

Глава по БЖД завершается выводами, в лаконичном виде подтверждающими эффективность разработки проекта с точки зрения БЖД, включая социально-экологический эффект.

3.6.2 Анализ объекта с позиции безопасности жизнедеятельности

Анализ следует начинать с краткого описания объекта. При выявлении опасных и вредных факторов следует руководствоваться ГОСТом [1], согласно которому эти факторы подразделяются на четыре группы: физические, химические, биологические, психофизиологические. Если работа связана с улучшением состояния окружающей среды, следует руководствоваться ГОСТами [5-9] и разъяснениями, приведенными в работе [10].

В качестве правовых норм дипломнику рекомендуются: Закон об охране окружающей природной среды, Закон о безопасности, Закон об охране атмосферного воздуха, Закон о недрах, Земельный кодекс, Водный кодекс, Закон о санитарно-эпидемиологическом благополучии населения, Основы законодательства РФ об охране труда, другие законы и постановления, имеющие прямое отношение к объекту проектирования.

При анализе условий труда на рабочих местах следует руководствоваться работами [3,4, 10-14].

3.6.3 Выявление социально-экологического эффекта от внедрения разработки дипломника

В методологическом смысле, согласно работе [18], автоматизация и механизация напрямую связаны с методами и средствами обеспечения безопасности, в частности, с методом А, который состоит в пространственном или временном

разделении **гомосферы** (пространство, в котором находится человек) и **ноксосферы** (пространство, в котором **создаются** опасности). Этот метод реализуется при механизации и автоматизации производственных процессов, при дистанционном управлении оборудованием, использовании роботов и манипуляторов, автоматических линий и систем. Разработка и проектирование управляющих систем энергетических, **электро**-технических и электромеханических объектов связаны также с применением метода Б, **направленным** на совершенствование производственной среды (ноксосферы) и приведение в соответствие характеристик ноксосферы с характеристиками человека. Кроме того, при проектировании управления такими энергетическими объектами, как электростанции, следует показать, как их **функционирование** повлияет на выбросы вредных веществ в атмосферу, сброс их в воду, на загрязнение почвы отходами. Дипломник должен продемонстрировать, как это реализуется при внедрении его разработки, к какому конкретно эффекту оно приводит. При этом следует **обратиться** к классификации результатов мероприятий по улучшению условий труда, включающей следующие показатели:

- изменения состояния условий труда;
- социальные;
- социально-экологические;
- экономические.

Каждый из этих пунктов разделится на несколько подпунктов.

Изменение состояния условий труда оценивается:

- повышением уровня безопасности труда;
- улучшением санитарно-гигиенических показателей;
- улучшением психофизиологических показателей;
- улучшением эстетических показателей.

Повышение уровня безопасности труда характеризуется увеличением количества машин, механизмов и производственных помещений, приведенных в соответствие с требованиями стандартов безопасности труда и строительных норм и правил, а также других нормативно-технических документов.

При выявлении эффекта по улучшению состояния окружающей среды следует показать, как разработка дипломника снижает выбросы, отходы, как заменяются токсичные отходы на нетоксичные, утилизируемые заменяют не утилизируемые, как снижается шум и вибрация, интенсивность излучений и электромагнитных полей и т.д., какие применяются для этого средства и методы.

3.6.4 Безопасность жизнедеятельности в чрезвычайных ситуациях

Этот параграф начинается с анализа возможных аварийных и чрезвычайных ситуаций на данном объекте и предусматривает профилактические мероприятия по их преодолению. Дипломник должен продемонстрировать умение проводить общий и детальный анализ опасностей, строить дерево опасностей, используя для этого теорию вероятности и специальные логические символы, определять вероятность несчастного случая и риска [10, 13]. Профилактике аварий и чрезвычайных ситуаций посвящена работа [15].

3.6.5 Рекомендуемый перечень вопросов по безопасности жизнедеятельности в дипломном проекте

В зависимости от темы дипломного проекта консультант по разделу БЖД может предложить для конкретной проработки отдельные вопросы из **следующего** перечня:

Теоретические основы БЖД

1. Методы коррекции реакций человека.
2. Работоспособность и ее динамика.
3. Интегральная оценка тяжести труда.
4. Общий и детальный анализ опасностей.
5. Приемлемый риск, вероятностное проявление опасностей.
6. Построение дерева опасностей с использованием вероятности и логических символов.

7. Методы и принципы обеспечения безопасности.
8. Коллективные и индивидуальные средства обеспечения безопасности.

Безопасность производственной деятельности

1. Составление актов расследования и учета несчастных случаев на производстве.
2. Расчет вероятности несчастных случаев.
3. Влияние климатических параметров на здоровье и работоспособность человека.
4. Расчет **вентиляции** и (или) кондиционирования.
5. Борьба с пылью, средства и методы.
6. Защита работающих от электромагнитных излучений.
7. Защита работающих от инфракрасных и ультрафиолетовых излучений, излучений СВЧ.
8. Защита работающих от шума и вибрации.
9. Защита работающих от ультра- и инфразвука.
10. Расчет освещенности производственного помещения.
11. Расчет **защитного** заземления.
12. Расчет защитного зануления.
13. Расчет защитного отключения.
14. Расчет гальванической развязки.
15. Маркировка, сигнализация и блокировка.
16. Организация безопасной эксплуатации электроустановок.
17. **Статическое** электричество и защита от его проявлений.
18. Безопасность при эксплуатации грузоподъемных машин.
19. Безопасность эксплуатации котлов и сосудов, работающих под давлением.
20. Организация движения и безопасность транспортных перевозок внутри предприятия.
21. Методы и средства обеспечения безопасности технологических **процессов** (конкретных) и оборудования.
22. Требования безопасности при работе на автоматизированном и роботизированном оборудовании, включая ав-

томатические линии, роботизированные комплексы, цеха, предприятия.

23. Требования безопасности при работе на ПЭВМ и на тренажерах.
24. Взрывозащита и молниезащита.
25. Пожарная профилактика.
26. Средства предупреждения и тушения пожаров.
27. Пожарная профилактика.

Охрана окружающей среды

1. Вопросы охраны окружающей среды в законодательстве.
2. Выбор средств пылеулавливания.
3. Выбор туманоуловителей.
4. Выбор средств очистки воздуха от вредных газов и паробразных загрязнителей.
5. Выбор средств очистки сточных вод.
6. Обработка твердеющих отходов, утилизация и ликвидация осадков сточных вод.
7. Безотходная и малоотходная технология.
8. Энергосберегающие технологии.
9. Контроль выбросов промышленных предприятий и энергетических установок.
10. Контроль выбросов транспортных средств.
11. Контроль загрязнения почв.
12. Мониторинг контроля окружающей среды и вредных выбросов.

Безопасность жизнедеятельности в чрезвычайных ситуациях

1. Вопросы охраны окружающей среды при авариях и катастрофах.
2. Классификация и общая характеристика чрезвычайных ситуаций.
3. Принципы и способы защиты населения при чрезвычайных ситуациях.

4. Очаги поражения и последствия чрезвычайных ситуаций.
5. Причины возникновения чрезвычайных ситуаций, четыре стадии их возникновения и развития.
6. Обеспечение безопасности жизнедеятельности при чрезвычайных ситуациях.
7. Фоновые (постоянно проводимые) мероприятия по предотвращению чрезвычайных ситуаций.
8. Обеспечение устойчивой безопасной работы народнохозяйственных объектов.
9. Три этапа ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций: защита, спасательные и неотложные восстановительные работы, обеспечение жизнедеятельности населения в пострадавших районах.
10. Исключение или ограничение поражения от вторичных факторов при авариях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. М., 1974.
2. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. М., 1988.
3. СанПиН 2.2.4.548-96, 01.10.96, ГК СЭН России. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
4. Р2.2.013-94, 12.07.94, ГК СЭН. Гигиенические критерии оценки условий труда по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса.
5. ГОСТ 17.0.01.-76. Основные положения охраны окружающей среды. М., 1976.
6. ГОСТ 17.1.01-77. Гидросфера, использование и охрана вод. Основные термины и определения. М., 1977.
7. ГОСТ 17.2.1.02-76. Атмосфера. Выброс вредных веществ автомобилями, тракторами и двигателями. Термины и определения. М., 1976.
8. ГОСТ 17.2.1.01-76. Атмосфера. Классификация выбросов по составу. М., 1976.

9. ГОСТ 17.2.3.01-77. Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов. М., 1977.
10. *Василенко В.И.* Безопасность жизнедеятельности: Учеб. пособие. Новочеркасск: НГТУ, 1996.
- П. Правила эксплуатации электроустановок потребителей. СПб.: изд-во ДЕАН, 2001, — 320 с.
12. *Белов С.В.* и др. Безопасность жизнедеятельности: Учебник для вузов/ Под общ. ред. С.В. Белова. М.: Высш. шк., 1999.
13. Методические указания к практическим и дипломным заданиям по безопасности жизнедеятельности /Сост. В.И. Василенко. Новочеркасск, 1993.
14. *Куклин П.П.* и др. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств (Охрана труда): Учебное пособие для вузов. М.: Высш. шк., 1999. — 318 с.
15. Безопасность жизнедеятельности. Ч.III. Чрезвычайные ситуации: Учеб. пособие/ Под ред. А.В. Непомнящего, Г.П. Шилякина. Таганрог: Таг. гос. радиотехн. ун-т, 1994. — 384 с.
16. Охрана окружающей среды/ Под ред. С.В. Белова. М.: Высш. шк., 1991. — 307с.
17. *Максименко Ю.Л., Торкина И.Д., Шаприцкой В.Н.* Оценка воздействия на окружающую среду и разработка нормативов ПДВ: Справ. изд. М.: «СП ИНТЕРМЕТ ИНЖИНИРИНГ», 1999. — 480 с.
18. *Русак О.Н.* и др. Безопасность жизнедеятельности: Учеб. пособие/ Под ред. О.Н. Русака. СПб.: изд-во «Лань», 2000.
19. СНиП-4-79. Естественное и искусственное освещение. Нормы проектирования. М.: Стройиздат, 1980.
20. ГОСТ 12.1.012-78. ССБТ. Вибрация. Общие требования безопасности. М., 1978.
21. ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности. М., 1983.

4 Оформление пояснительной записки

Пояснительную записку дипломного проекта выполняют с помощью **печатающих** устройств или рукописным способом пастой черного, синего или фиолетового цвета на листах бумаги формата А4 без рамки, основной надписи и дополнительных граф. **Повреждение** листов, пометки текста или графики не допускаются. **Пояснительная записка** должна быть сброшюрована типографским способом в твердом переплете.

Текст располагают с одной стороны листа, высота букв и цифр — не менее 2,5 мм. Рекомендуемый шрифт основного текста Times New Roman № 14. Размер поля на **подшивку** — 30 мм, противоположного — не менее 10 мм, верхнего и нижнего полей — не менее 20 мм. Расстояние между строками должно быть равным 8-10 мм.

Абзацы в тексте начинают отступом от края левого поля, равным 15–17 мм. Цифры, указывающие номера разделов, подразделов, пунктов, подпунктов, также проставляют с отступом.

Нумерация страниц пояснительной записки должна быть сквозной, первой страницей является титульный лист. Номер страницы проставляют в верхнем наружном углу. На титульном листе и на листе задания номер не ставят.

Текст **делится** на разделы и подразделы. Разделы должны иметь порядковые номера в пределах всего документа, обозначенные арабскими цифрами без точки. Номер подраздела

состоит из номеров раздела и подраздела, разделенных точкой. Разделы, как и **подразделы**, могут состоять из одного или нескольких пунктов. Пункты при необходимости делят на подпункты. После последней цифры номера подраздела, пункта, **подпункта** точка не ставится, например: 4.2, 4.2.1, 4.2.1.3 и т.д. Четырехзначная нумерация является предельной.

Внутри пунктов или подпунктов могут быть приведены перечисления, которые отделяют друг от друга точкой с запятой. Перед каждой позицией перечисления следует ставить дефис. Такое оформление перечислений наиболее удобно, поскольку позволяет избежать ограничений, возникающих при использовании нумерации. При необходимости ссылки на перечисления для их обозначения используют строчные буквы со скобкой. Для дальнейшей детализации перечислений необходимо использовать арабские цифры со скобкой, а запись производить с абзацного отступа, как показано к примеру,

Пример,

а) _____;
 1) _____;
 2) _____;
б) _____.

Каждый пункт, подпункт и перечисления записывают с абзацного отступа.

Разделы, подразделы должны иметь **заголовки**. Пункты, как правило, заголовков не имеют. Заголовки следует писать с прописной буквы без точки в конце. Переносы слов в заголовках не допускаются. Расстояние между заголовком и текстом должно быть около 15 мм, расстояние между заголовками раздела и подраздела — 8-10 мм.

Каждый раздел пояснительной записки рекомендуется начинать с новой страницы (к разделам **приравняются**: введение, заключение, список литературы, приложения).

При оформлении содержания пояснительной записки, слово «Содержание» записывают в виде **заголовка** (симметрично тексту) с прописной буквы. Наименования, **включен-**

ные в содержание, записывают **строчными буквами**, начиная с прописной.

Полное наименование **изделия** на **титальном листе** и при первом упоминании в тексте должно быть одинаковым. В **последующем** тексте порядок слов в наименовании должен быть прямой, т.е. на первом месте должно быть определение (имя прилагательное), а затем — название изделия (имя существительное); при этом допускается **употреблять** сокращенное наименование изделия.

Числовые значения величин с обозначением единиц физических величин и единиц счета следует писать цифрами, а числа без обозначения от единицы до девяти — словами.

Если приводится ряд или диапазон числовых значений, выраженных в одной и той же единице физической величины, то ее указывают только после последнего **числового** значения, например; **1,50**; 1,75; 2,00 В; от 10 до 100 Ом. Недопустимо отделять единицу физической величины от числового значения (переносить их на разные строки или **страницы**).

Оформление формул

В формулах в качестве символов следует применять обозначения, установленные соответствующими стандартами. Пояснения символов и числовых коэффициентов, входящих в формулу, если они не пояснены ранее, должны быть приведены **непосредственно** под формулой. Пояснения каждого символа следует давать с новой строки в той последовательности, в которой они приведены в формуле. Первая строка пояснения должна начинаться со слова «где», без двоеточия после него.

Пример. Плотность каждого образца ρ , кг/м^3 , вычисляют по формуле

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (1)$$

где m — масса образца, кг;
 V — объем образца, м^3 .

Формулы, следующие одна за другой и не разделенные **текстом**, разделяют запятой.

Переносить формулы на следующую строку допускается только на **знаках** выполняемых **операций**, причем знак в начале следующей строки повторяют. При переносе формулы на знак умножения применяют знак «Х». Высота цифр должна быть не менее 2,5 мм.

Формулы, за исключением **помещенных** в приложении, должны иметь сквозную нумерацию арабскими цифрами, которые записываются на уровне формулы справа в круглых скобках. Одну формулу обозначают — (1). Допускается нумерация формул в пределах раздела, например, (3.1) — первая формула третьего раздела.

Формулы в приложениях нумеруются арабскими цифрами в пределах каждого приложения с добавлением перед каждой **цифрой** обозначения приложения, например, формула (В.1).

Ссылка в тексте на порядковые номера формул дают в скобках, например: ... в формуле (2).

Оформление иллюстраций и приложений

Количество рисунков в пояснительной **записке** должно быть достаточным для того, чтобы ее текст можно было читать с минимальным обращением к документам графической части проекта. Обязательно приводятся схемы отдельных узлов устройства, параметры которых рассчитываются или анализируются.

Иллюстрации могут быть расположены как по тексту документа (возможно ближе к соответствующим частям текста), так и в конце его. Иллюстрации, за исключением иллюстраций приложений, следует **нумеровать** арабскими цифрами сквозной нумерацией. Если рисунок один, то он обозначается «Рисунок 1». Допускается нумеровать иллюстрации в пределах раздела, **например** — Рисунок 2.1 (первый рисунок второго раздела). При ссылках на иллюстрации следует писать «... в соответствии с рисунком 2».

Иллюстрации каждого приложения обозначают отдельной нумерацией арабскими цифрами с добавлением перед цифрой обозначения приложения. Например: «Рисунок А.3».

Для схем алгоритмов и программ, располагаемых на нескольких листах пояснительной записки, на первом листе указывается «Рисунок...», на последующих листах — «Продолжение рисунка...».

Иллюстрации при необходимости могут иметь наименование и поясняющие данные (подрисовочный текст). Слово «Рисунок» и наименование помещают после поясняющих данных и располагают следующим образом: «Рисунок 1 — Детали прибора».

При изображении диаграмм оси координат шкал следует выполнять сплошной толстой линией, а координатную сетку сплошной тонкой линией. Допускается линии сетки выполнять в местах, соответствующих кратным графическим интервалам, или делать засечки вместо линий. Функциональные зависимости предпочтительно выполнять сплошной линией. При изображении двух и более функциональных зависимостей на одной диаграмме допускается использовать линии различных типов (сплошную, штриховую и т. д.). При этом для каждой функциональной зависимости может быть использована своя шкала.

Единицы измерения на диаграммах наносятся следующим образом:

- в конце шкалы между последним и предпоследним значениями;
- вместе с обозначением переменной величины, после запятой;
- в конце шкалы после последнего числа в виде дроби: числитель — обозначение переменной величины, знаменатель — обозначение единицы измерения.

Пересечения надписей и линий на диаграмме не допускаются. При недостатке места следует прерывать линию.

Материал, дополняющий текст пояснительной записки, допускается помещать в приложениях. Как приложения оформ-

мляют отчет о патентных исследованиях, перечни элементов, спецификации, тексты программ, таблицы большого формата и т. п. В тексте документа на все приложения должны быть даны ссылки. Приложения располагают в порядке ссылок на них.

Приложение, как правило, выполняют на листах формата А4. Допускается использовать формат А3.

Каждое приложение следует начинать с новой страницы с указанием наверху посередине страницы слова «Приложение» и его обозначения, а под ним в скобках для обязательного приложения пишут слово «обязательное», а для информационного — «рекомендуемое» или «справочное». Приложение должно иметь заголовок, который записывают симметрично относительно текста с прописной буквы отдельной строкой.

Приложение обозначают заглавными буквами русского алфавита, начиная с А. После слова «Приложение» следует буква, обозначающая его последовательность. Допускается обозначение приложений буквами латинского алфавита.

Для перечня элементов и спецификации обозначение и название приложения делают в центральной части отдельного чистого листа, который вкладывают перед приложением.

Все приложения должны быть перечислены в содержании с указанием их обозначений и заголовков.

Построение таблиц

Цифровой материал, как правило, оформляют в виде таблиц. Таблица может иметь название, которое располагают над таблицей в соответствии с рис. 4.1. При переносе части таб-

Таблица

номер		название таблицы		

Рис. 4.1

лицы на ту же или другие страницы название помещают только над первой частью таблицы. Слово «Таблица» указывают один раз слева над первой частью таблицы, над другими частями слева пишут слова «Продолжение таблицы» с указанием номера (обозначения) таблицы.

Таблицы, за исключением таблиц приложений, следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией. Допускается нумеровать таблицы в пределах раздела, например: «Таблица 2.2» — вторая таблица второго раздела.

Таблицы каждого приложения 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.

На все таблицы должны быть приведены ссылки в тексте, при ссылке следует писать слово «таблица» с указанием номера. Таблицу в зависимости от ее размера помещают под текстом, в котором впервые дана ссылка на нее, или на следующей странице, а при необходимости — в приложении. Допускается располагать таблицу вдоль длинной стороны листа.

Таблицы слева, справа и снизу, как правило, ограничивают линиями. Если в конце страницы таблица прерывается, то линию, ограничивающую таблицу снизу, не проводят. Высота строк таблицы должна быть не менее 8 мм.

Заголовки граф и строк таблицы следует писать с прописной буквы, а подзаголовки граф — со строчной буквы, если они составляют одно предложение с заголовком, или с прописной буквы, если они имеют самостоятельное значение. В конце заголовков и подзаголовков таблиц точки не ставят. Заголовки и подзаголовки граф указывают в единственном числе.

Графу «Номер по порядку» (№ п/п) в таблицу включать не допускается. При необходимости нумерации показателей, параметров или других данных порядковые номера следует указывать в первой графе таблицы непосредственно перед их наименованием.

В одной графе должно быть соблюдено, как правило, одинаковое количество десятичных знаков для всех значений

величин. При отсутствии отдельных **данных** в таблице следует ставить прочерк (тире).

Список литературы

В список литературы **включают** все источники в порядке появления ссылок в тексте. Выполнение списка и ссылки на него в тексте — по ГОСТ 7.1-84 и ГОСТ 7.32-2001.

Сведения о книгах (монографии, учебники, справочники и т. д.) должны включать: фамилию и инициалы автора, заглавие книги, место издания, издательство, год издания, количество страниц в книге. Допускается сокращение названий городов — М. (Москва), Л. (Ленинград), К. (Киев), Мн. (Минск), СПб. (Санкт-Петербург). Например: *Шлядин В.М.* Цифровые измерительные устройства. М.: Высшая школа, 1991. — 335 с.

Сведения о статье из периодического издания должны включать фамилию и инициалы **автора**, заглавие статьи, наименование серии (если есть), год выпуска, том (при необходимости), номер издания (журнала), страницы, на которых помещается статья. Например: *Пестов Е.Н., Мокренко П.В.* Прецизионный квантовый преобразователь тока в частоту с использованием оптической ориентации атомов // *Приборы и системы управления*. 1988. — № 9. — С. 25-28.

Сведения о патентных документах должны включать: характер документа, его номер, страну, выдавшую документ, **название**, инициалы и фамилию автора, страну, из которой дан автор, когда и где опубликован документ.

Например: А. с. 436350 СССР. Двоичный сумматор / *К.Н. Корнеев (СССР)*. — Заявл. 12.01.82; Опубл. 30.03.84, Бюл. № 26.

Сведения о статье из иностранного журнала оформляют следующим образом: *Ganagisowa T., Kawashima I.* Aktive gurutor // *Electronic letters*. — 1988. — Vol.3, № 3. — P. 5-8.

Сведения о стандартах и технических условиях выполняются по примеру: ГОСТ 7.32-2001. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления. М.: Изд-во стандартов, 2001. — 18 с.

4

В. Д. К.

Р. а — д

Изм.	Лист	№ докум.

Изм.	Лист	Стр.	Конт.	Р. а	Н. контр.

Изм.	Лист	Стр.	Конт.	Р. а	Н. контр.

Сведения из Интернета: www.icos.ru
 При ссылке в тексте на источник информации следует
 приводить порядковый номер по списку литературы, заклю-
 ченный в квадратные скобки. Например [1].
 Более подробная информация по правилам оформления
 текстовых документов приводится в ГОСТ 2.105-95.

ние документа, если этому документу присвоен код, например: «Модуль процессора. Схема электрическая принципиальная», «Блок управления дозатором. Чертеж общего вида». Наименование должно быть кратким и записывается в именительном падеже **единственного** числа. На первом месте должно быть существительное.

В графе 2 дается обозначение документа по ГОСТ 2.201-80. Это же обозначение, повернутое на 180°, указывается в дополнительной графе III, имеющей размеры 70x14 мм (рис. 5.1). Для студенческих работ обозначение документа строится в следующей последовательности:

- первые четыре цифры — шифр специальности;
- буква «Д» — дипломный проект;
- две последующие цифры — текущий год;
- последние три цифры номера зачетной книжки студента;
- номер сборочной единицы (две цифры);
- номер чертежа детали (две цифры);
- код документа;

Перечисленные **буквенно-цифровые** комбинации разделяются точками, перед кодом чертежа вместо точки оставляется пробел, например: 2004.Д03.063.04.02 Э1,

- где 2004 — шифр специальности;
- Д03 — дипломный проект 2003 г.;
- 063 — **последние** цифры номера зачетной **книжки студента**;
- 04 — номер сборочной единицы;
- 02 — номер чертежа детали в данной сборочной единице;
- Э1 — код схемы электрической структурной.

Код документа (кроме схем) присваивается по ГОСТ 2.102-68:

- СБ — сборочный чертеж;
- ВО — чертеж общего вида;
- ПЗ — пояснительная записка;
- ТБ — таблицы;

Т
М
В
ж
циф
екта
испо
л
ил
Д
тя

- Д — прочие документы;
- ПФ — патентный формуляр;
- И — инструкции.

Код схемы согласно ГОСТ 2.701-84 состоит из буквы, определяющей вид схемы, и цифры, обозначающей тип схемы. Для электрических схем используется буква «Э».

Типы схем обозначаются следующими цифрами:

- 1 — структурная;
- 2 — функциональная;
- 3 — принципиальная;
- 4 — соединений (монтажная);
- 5 — подключения;
- 6 — общая;
- 7 — расположения;
- 0 — объединенная.

Например, схема электрическая функциональная имеет код Э2.

Обозначения всех документов, описывающих одно и то же изделие, должны отличаться только кодом, например:

2004.Д03.063.00.00 Э1 Блок управления. Схема электрическая структурная;

2004.Д03.063.00.00 Э3 Блок управления. Схема электрическая принципиальная;

2004.Д03.063.00.00 ПЭ3 Блок управления. Перечень элементов;

2004.Д03.063.00.00 ВО Блок управления. Чертеж общего вида.

Обозначения документов, относящихся к различным изделиям (устройствам, узлам, деталям), должны отличаться друг от друга. Например, для узлов и деталей, входящих в упомянутый блок управления, могут быть выбраны такие номера:

2004.Д03.063.01.00 СБ Модуль источника питания. Сборочный чертеж;

2004.Д03.063.01.01 Плата источника питания (для чертежа печатной платы источника питания);

2004.Д03.063.01.02 Радиатор (для чертежа радиатора, входящего в состав модуля источника питания);

2004.Д03.063.02.00 ЭЗ Модуль усилителей. Схема электрическая принципиальная.

Для схем программ (схем алгоритмов), графиков процессов, схем автоматизации объекта, функциональных схем систем автоматического управления, сетевых графиков и других чертежей, для которых в **ЕСКД** не предусматривается собственный код, используется код «Д» (прочие документы).

В остальных графах основной надписи указываются:

- в графе 3 — обозначение материала (только для чертежей деталей);
- в графе 4 — литера, присвоенная данному документу по ГОСТ 2.103-68. Для студенческих работ в крайней левой клетке ставится литера «О» (опытный образец);
- в графе 5 — масса изделия по ГОСТ 2.109-73;
- в графе 6 — масштаб в соответствии с ГОСТ 2.302-68 и ГОСТ 2.109-73. Стандартные масштабы уменьшения: 1:2, 1:2,5, 1:4, 1:5, 1:10 и т. д.; масштабы увеличения: 2:1, 2,5:1, 4:1, 5:1, 10:1 и т. д.;
- в графе 7 — порядковый номер листа (на документах, состоящих из одного листа, графа не заполняется);
- в графе 8 — общее количество листов данного документа (графа заполняется только на первом листе);
- в графе 9 — наименование или различительный индекс предприятия, выпускающего документ; графа заполняется в две строки: первая строка — **ЮРГТУ**, кафедра **АиТ**; вторая строка — факультет, курс, группа;
- в графе 10 — характер работы, выполняемой лицом, подписывающим документ; для студенческих работ строки этой графы заполняются сверху вниз в следующем порядке: студент, консультант, руководитель, **нормоконтролер**;
- в графах 11-13 соответственно фамилии, подписи лиц и даты подписания документа.

5.2 ОФОРМЛЕНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

S.21 Чертеж общего вида

При оформлении графической части дипломного проекта необходимо руководствоваться действующими государственными стандартами, перечень которых приведен в приложении А, а также справочной литературой [2].

Согласно ГОСТ 2.119-73 чертеж общего вида должен содержать следующую информацию:

- изображения изделия (виды, разрезы, сечения), текстовую часть и надписи, необходимые для понимания конструктивного устройства изделия, взаимодействия его составных частей и принципа работы;
- наименование, а также обозначения тех составных частей изделия, для которых необходимо указать данные (технические характеристики, количество, указание о материале и др.) или запись которых необходима для пояснения изображений, описания принципа работы изделия, указания о составе и др.;
- схему, если она требуется, но оформлять ее отдельным документом нецелесообразно;
- технические характеристики изделия, если это необходимо для удобства сопоставления вариантов по чертежу общего вида.

Изображение изделия и составных частей допускается выполнять с упрощениями (иногда в виде контурных очертаний), если при этом обеспечено понимание конструкции изделия, взаимодействия его составных частей и принципа работы.

Наименования и обозначения составных частей изделия указывают одним из следующих способов:

- на полках линий-выносок;
- в таблице, размещаемой на том же чертеже, что и изображение изделия;
- в таблице, выполненной на отдельных листах формата А4 в качестве последующих листов чертежа общего вида.

Таблица в общем случае состоит из граф: «Поз.», «Обозначение», «Наименование», «Кол.», «Дополнительные указания».

Номера позиций наносят на полках линий-выносок, проводимых от изображений составных частей. Номера **позиций** располагают параллельно основной надписи вне контура изображения и группируют в колонку или строчку по возможности на одной линии. Размер шрифта цифр должен быть на один-два номера **больше**, чем размер шрифта, принятого для размерных **чисел** на том же чертеже.

5.2.2 Спецификация и сборочный чертеж

Основным **конструкторским** документом, определяющим состав изделия (сборочной единицы, комплекса, комплекта), является спецификация. В спецификацию вносят составные части, входящие в изделие, а также **конструкторские** документы, относящиеся к изделию в целом и его составным частям.

В общем случае **спецификация** состоит из разделов, которые располагаются в следующей последовательности: документация, **комплексы**, сборочные единицы, детали, стандартные изделия, прочие изделия, материалы, комплекты. В зависимости от состава изделия некоторые разделы спецификации могут отсутствовать.

Сборочный чертеж является документом, на котором приводятся сведения, необходимые для изготовления (сборки) изделия. Согласно ГОСТ 2.109-73 сборочный чертеж должен в общем случае содержать следующую информацию:

- изображение сборочной единицы, дающее представление о **расположении** и взаимной связи составных частей, соединяемых по данному чертежу, и обеспечивающее возможность сборки и контроля сборочной единицы;
- **размеры, предельные отклонения и другие параметры и требования, которые** должны быть **выполнены или контролированы** по данному чертежу;
- указания о характере сопряжений и методах их осуществления;
- номера **позиций** составных частей, входящих в изделие,

в точном соответствии со спецификацией на данное изделие;

- габаритные, присоединительные и другие необходимые справочные размеры;
- при необходимости техническую характеристику.

В дипломных проектах спецификации и сборочные чертежи оформляются, как правило, для электронных модулей, выполненных на основе печатных плат. Пример оформления спецификации печатного узла приведен в приложении Д.

5.3 ОБЩИЕ ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ

Схемы выполняют без соблюдения масштаба, действительное пространственное расположение составных частей изделий не учитывают или учитывают приближенно. Расстояние (просвет) между двумя соседними линиями графического обозначения должно быть не менее 1,0 мм, между соседними параллельными линиями связи — не менее 3,0 мм, между отдельными условными графическими обозначениями — не менее 2,0 мм.

Устройства, имеющие самостоятельную принципиальную схему, выполняют на схемах в виде фигуры сплошной линией, равной по толщине линиям связи (допускается в два раза толще линии связи).

Функциональную группу или устройство, не имеющее самостоятельной принципиальной схемы, выполняют на схемах в виде фигуры из контурных штрихпунктирных линий, равных по толщине линиям связи.

При выполнении принципиальной схемы на нескольких листах следует выполнять следующие требования:

- при присвоении элементам позиционных обозначений соблюдают сквозную нумерацию в пределах изделия;
- перечень элементов должен быть общим;
- отдельные элементы допускается повторно изображать на других листах схемы, сохраняя позиционные обозначения, присвоенные на одном из листов схемы.

При выполнении схем применяют условные графические обозначения (УГО), установленные в стандартах **ЕСКД**, прямоугольники, упрощенные внешние очертания (в том числе **аксонометрические**). Размеры УГО допускаются пропорционально увеличивать или уменьшать. При этом должны сохраняться соотношения размеров УГО, указанные в стандартах с помощью модульной **сетки**. Шаг модульной сетки **М** для каждой схемы может быть любым, но одинаковым для всех элементов и устройств данной схемы. УГО следует выполнять линиями той же толщины, что и линии связи.

УГО элементов изображают на схеме в положении, в котором **они** приведены в стандартах, или повернутыми на угол, кратный 90° , а также зеркально отображенными. Допускается УГО поворачивать на угол, кратный 45° , если это упрощает графику схемы. Квалифицирующие **символы** (световой поток и т. д.) при поворотах УГО не должны менять своей ориентации (рис. 5.3). Повороты и **зеркальные** отображения не допустимы, если это приводит к искажению смысла УГО, например для двоичных логических элементов.



Рис. 5.3

Линии связи должны состоять из горизонтальных и вертикальных отрезков и иметь наименьшее количество изломов и взаимных пересечений. Рекомендуемая толщина **линий** связи от 0,3 до 0,4 мм. Линии связи должны быть показаны, как правило, полностью. Для **упрощения** чтения схемы линии связи допускается обрывать. Обрывы линий связи в пределах одного листа заканчиваются стрелками, около которых указывают обозначения прерванных линий (например, напряжение питания и т. п.).

Линии связи, переходящие с одного листа на другой, следует обрывать за пределами изображения схемы без стрелок. Рядом с обрывом линии связи должно быть указано обозначе-

ние этой линии и в круглых скобках номер листа схемы, на который переходит линия связи.

Перечень элементов оформляют в виде таблицы (рис. 5.4), заполняемой сверху вниз, которую помещают на первом листе схемы или выполняют в виде самостоятельного документа.

В графах таблицы указывают следующие данные;

- в графе «Поз. обозначение» — позиционное буквенно-цифровое обозначение элемента, устройства или функциональной группы;
- в графе «Наименование» — наименование элемента или устройства, тип и обозначение документа, на основании которого этот элемент или устройство применены;
- в графе «Примечание» — технические данные элемента, не содержащиеся в его наименовании, значения параметров, подбираемые при регулировании и др.

Поз. обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
20	100	10	55

Dimensions: Header height 15, total width 185, column widths 20, 100, 10, 55. Total height labeled as 'высота'.

Рис. 5.4

При выполнении перечня элементов на первом листе схемы его располагают, как правило, над основной надписью, с пробелом не менее 12 мм. Продолжение перечня элементов помещают слева от основной надписи, повторяя головку таблицы.

При выпуске перечня элементов в виде самостоятельного документа его код должен состоять из буквы П и кода схемы, например, ПЭЗ. При этом в основной надписи указывают наименование изделия, а также наименование документа «Перечень элементов». Перечень элементов записывают в спецификации после схемы, к которой он выпущен.

Перечень элементов в виде самостоятельного документа выполняют на формате А4. Основную надпись и дополнительные графы к ней выполняют по ГОСТ 2.104-68 (формы 2 и 2а).

Элементы в перечень записывают группами в алфавитном **порядке** буквенных позиционных обозначений. В пределах каждой группы, имеющей одинаковые буквенные позиционные обозначения, элементы располагаются по возрастанию порядковых номеров.

Элементы одного типа с одинаковыми параметрами, имеющие на схеме последовательные порядковые номера, записывают в **одну** строку. В этом случае в графу «Поз. обозначение» вписывают только позиционные обозначения с **наименьшим** и **наибольшим** порядковыми номерами, например: R8 ... R12, а в графу «Кол.» — общее количество таких элементов. **Если номера** элементов идут не подряд, объединять их в одну запись не допускается.

Для нескольких элементов одного наименования, имеющих одинаковые буквенные позиционные обозначения, целесообразно в графе «Наименование» давать общее наименование этих элементов, например: конденсаторы, микросхемы, резисторы и т. д. В общем наименовании допускается указывать типы элементов и обозначения технических условий на них. Пример оформления перечня элементов приведен в **приложении Г**.

На схемах можно указывать различные технические данные. Около графических обозначений элементов помещают, например, **номинальные значения** их параметров, а на свободном поле **схемы** — диаграммы, таблицы, текстовые указания и т. п.

Текстовые данные в зависимости от их содержания и назначения могут быть расположены рядом с графическими **обозначениями**, внутри графических обозначений, над линиями связи, **в разрыве** линий связи, рядом с концами линий связи, на свободном поле схемы.

5.4 СТРУКТУРНЫЕ СХЕМЫ

На структурной схеме изображают в виде прямоугольников произвольных **размеров** или УГО все основные функциональные части изделия (элементы, устройства и **функциональные** группы) и основные взаимосвязи между ними. На

линиях взаимосвязи рекомендуется стрелками обозначать направление хода **процессов**, происходящих в изделии. Для этого случая используются не зачерненные внутри стрелки с углом раскрытия 60°. На схеме указывают наименования функциональных частей **изделия**, которые, как правило, **вписывают внутрь прямоугольников**.

Допускается помещать на схеме поясняющие надписи, диаграммы или таблицы, определяющие последовательность **процессов** во времени, а также указывать параметры в характерных точках (значения токов, напряжений, формы импульсов, математические зависимости и т. п.).

5.5 ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ СХЕМЫ

На принципиальной схеме изображают все электрические элементы и устройства, необходимые для осуществления и контроля в изделии заданных **электрических** процессов, все электрические связи между ними, а также электрические элементы (соединители, зажимы и т. п.), которыми заканчиваются входные и выходные цепи.

Схемы выполняют для изделий, находящихся в отключенном состоянии. В обоснованных случаях допускается отдельные элементы схемы изображать в выбранном рабочем положении с указанием на поле схемы режима, для которого изображены эти элементы.

Элементы и устройства изображают на схеме совмещенным или разнесенным способом. При совмещенном способе составные части элементов или устройств изображают в непосредственной близости друг к другу, а при разнесенном способе — в разных местах таким образом, чтобы отдельные цепи изделия были изображены **наиболее** наглядно.

Схемы выполняют в многолинейном или однолинейном изображении. Допускается несколько электрически не связанных линий связи сливать в линию групповой связи, но при подходе к контактам (элементам) каждую линию связи **изображают** отдельной линией.

При **слиянии** линий связи каждую линию помечают на обоих концах условными обозначениями (цифрами, буквами)

или обозначениями, принятыми для электрических цепей (ГОСТ 2.709-89). Обозначение линий проставляют в соответствии с требованиями ГОСТ 2.721-74.

Каждый элемент и устройство, изображенные на схеме, должны иметь позиционные обозначения в соответствии с ГОСТ 2.710-81. Порядковые номера должны быть присвоены, начиная с единицы, в пределах группы элементов (устройств) с одинаковым буквенным позиционным обозначением, например: R1, R2 и т. д., C1, C2 и т. д.

Порядковые номера должны быть присвоены в соответствии с последовательностью расположения элементов или устройств на схеме сверху вниз в направлении слева направо. При необходимости допускается изменять последовательность присвоения порядковых номеров в зависимости от размещения элементов в изделии, направления прохождения сигналов или функциональной последовательности процесса.

Позиционные обозначения проставляют на схеме рядом с условными графическими обозначениями элементов и устройств с правой стороны или над ними. При изображении разнесенным способом позиционное обозначение элемента или устройства проставляют около каждой составной части.

На принципиальной схеме должны быть однозначно определены все элементы, входящие в состав изделия и изображенные на схеме. Данные должны быть записаны в перечень элементов. При этом связь перечня с УГО должна осуществляться через позиционные обозначения.

Характеристики входных и выходных цепей изделия, а также адреса их внешних подключений рекомендуется записывать в таблицы, помещаемые взамен УГО входных и выходных элементов — соединителей, плат и т. п. (рис. 5.5). Каждой таблице присваивается позиционное обозначение элемента, взамен УГО которого она помещена. Над таблицей допускается указывать УГО контакта — гнезда или штыря. Размеры граф произвольные.

Если в изделие входят несколько одинаковых устройств, не имеющих самостоятельных принципиальных схем, или функциональных групп, то на схеме изделия допускается не

X1

Конт.	Цепь	Адрес
1	$\Delta=0,3...3$ кГц; $R=600$ Ом	=A1-X1:1
2	$U_{\text{вых}}=0,5$ В; $R=600$ Ом	=A1-X1:2
3	$U_{\text{вых}}=600$ В; $R=600$ Ом	=A1-X1:3
4	$U_{\text{вых}}=20$ В; $R=1$ кОм	=A1-X1:4

Рис. 5.5

повторять схемы этих устройств. При этом устройства или функциональные группы изображают в виде прямоугольников, выполненных штрихпунктирными линиями. Схему такого устройства изображают внутри одного из прямоугольников или помещают на поле схемы с соответствующей надписью.

5.6 СХЕМЫ АЛГОРИТМОВ

При выполнении схем алгоритмов, программ, данных и систем следует руководствоваться ГОСТ 19.701-90. В соответствии с этим стандартом предусматриваются следующие виды схем:

- схемы данных;
- схемы программ;
- **схемы** работы систем;
- схемы взаимодействия программ;
- схемы ресурсов системы.

Символы, используемые в схемах алгоритмов, могут быть вычерчены в любой ориентации, но предпочтительно горизонтальное расположение. Допускается зеркальное отображение символов. При изображении символов должны быть соблюдены соотношения их размеров, показанные в стандарте. По возможности все символы должны быть одного размера.

Внутри символов или рядом с ними в форме комментария помещают текст, служащий для уточнения выполняемых функций. Следует избегать пересечения линий потока, **связи-**

вающих символы. Указанные линии связи должны быть направлены к центру символа и ориентированы параллельно сторонам рамки чертежа. По возможности линии должны подходить к символу либо слева, либо сверху, а исходить либо справа, либо снизу. Такое направление потока считается основным и стрелками не обозначается. В остальных случаях обозначать направление линий стрелкой обязательно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Общие требования и правила оформления текстовых документов в учебном процессе/ Сост. Е.И. Теняков. Новочеркасск: НГТУ, 1998. — 28 с.
2. Александров К. К., Кузьмина Е. Г. Электротехнические чертежи и схемы. М.: Энергоатомиздат, 1990. — 288 с.

6 Основные обязанности руководителя дипломного проекта и дипломника

Руководство дипломным проектированием включает постановку задачи и выдачу технического задания, консультации, контроль за выполнением графика работы, написание отзыва.

6.1 РУКОВОДИТЕЛЬ ПРОЕКТА И ЕГО ОБЯЗАННОСТИ

Руководитель проекта назначается **заведующим** кафедрой и **утверждается** приказом по университету одновременно с утверждением темы проекта. Основные обязанности руководителя дипломного проектирования состоят в следующем:

- составление задания на дипломное проектирование;
- проведение консультаций;
- оказание помощи в составлении списка основной и дополнительной литературы, справочных и архивных материалов;
- распределение объема работ по разделам и срокам их выполнения;
- контроль за выполнением календарного плана работы;
- проверка готовности дипломного проекта к **защите**;
- написание отзыва о **работе** студента над проектом.

Руководитель проекта готовит и подписывает задание,

7 Работа над дипломным проектом, предварительная защита и рецензирование

После получения задания студент совместно с руководителем составляет график работы над проектом и работает в строгом соответствии с ним.

В течение всего срока проектирования студент обязан являться к руководителю не реже одного раза в неделю. О случаях непосещения студентом очередных консультаций руководители должны сообщать заведующему кафедрой.

В конце каждого месяца руководитель проекта оценивает выполненную студентом работу и докладывает о ходе работы заведующему кафедрой или на заседании кафедры. Студент, не выполняющий требования руководителя и консультантов, может быть отстранен от выполнения дипломного проекта и не допущен к защите.

По окончании всей работы руководитель и консультанты проверяют записку и проект в целом с целью устранения возможных ошибок. Проект и записка в законченном виде и письменный отзыв руководителя представляются на предзащиту. После успешной предзащиты перед комиссией, в которую входят 2-3 преподавателя (сотрудника) кафедры, в том числе и руководитель дипломного проекта, производится назначение рецензентов заведующим кафедрой.

Рецензентами по дипломным проектам должны назначаться, в соответствии с профилем проекта, квалифицированные инженеры и специалисты промышленных предприятий (НИИ, КБ и заводов) и различных исследовательских организаций.

Рецензент должен подробно ознакомиться с проектом и дать о нем развернутый отзыв с критической оценкой принятых дипломником решений.

В рецензии на дипломный проект должны быть освещены следующие вопросы:

- 1) актуальность темы дипломного проекта и значимость его для промышленности;
- 2) глубина теоретических обоснований конструкции проектируемого средства, оценка ее технологичности, качество и научно-технический уровень расчетов разработанной конструкции, технологической части, расчетов надежности, технико-экономических расчетов и др.;
- 3) степень сложности, правильности и актуальности поставленной исследовательской части и эксперимента;
- 4) соответствие выполненного проекта заданию с указанием пунктов, не выполненных полностью или частично;
- 5) достоинства и недостатки дипломного проекта: используемые при этом аргументы должны быть конкретными и краткими.

Рецензент должен дать оценку графической части проекта, стиля изложения расчетно-пояснительной записки и дипломного проекта в целом. Здесь целесообразно сформулировать несколько вопросов студенту, на которые он ответит на публичной защите проекта. В заключение рецензии выставляется оценка работы по четырехбалльной системе.

Объем рецензии должен быть не менее полутора страниц машинописного текста.

Отзыв рецензента передается для ознакомления дипломнику и зачитывается при защите проекта.

Желательно, чтобы результаты, полученные при проектировании, были приняты к внедрению на предприятии или в организации, о чем дипломник должен представить справку при защите проекта.

Полностью оформленные документы дипломного проекта предоставляются заведующему кафедрой на предварительной защите. Заведующий кафедрой принимает решение о допуске к защите, делает соответствующую запись в задании на проектирование и на титульном листе пояснительной записки.

8 Публичная защита дипломных проектов

Защита **дипломниками** дипломных проектов производится на заседании ГАК, действующей согласно утвержденному положению. Не позднее чем за две недели до защиты дипломник обязан сдать в деканат зачетную книжку, а также письменно засвидетельствовать свое согласие о правильности представленных в справке деканата оценок.

Для обеспечения **ритмичной** работы ГАК кафедра составляет расписание защит дипломных проектов (согласованное с председателем ГАК) не позже, чем за 2 недели до начала работы ГАК, причем руководители проектов с учетом пожеланий дипломников дают свои **рекомендации** о дате защиты соответствующих проектов. Объявление о времени и месте работы комиссии, а также список защищающихся вывешиваются на доске объявлений кафедры не позже, чем за сутки до защиты.

Дипломный проект принимается к защите после представления дипломником следующих документов:

- **дипломного** проекта;
- справки деканата о выполнении студентом учебного плана и об оценках, полученных за время обучения;
- **отзыва** руководителя **дипломного** проекта;
- рецензии на дипломный проект;
- зачетной книжки.

Все дипломники, защищающиеся на данном заседании ГАК, должны явиться за **15–20** минут до начала работы ГАК независимо от очередности защиты. Они должны сдать сек-

ретарю ГАК пояснительную записку, отзыв руководителя, рецензию на дипломный проект и, если это требуется, другие документы. Демонстрационные плакаты (кроме копий для членов ГАК) остаются у дипломника. Все демонстрируемые средства необходимо разместить в аудитории, где проводится заседание ГАК, проверить их работоспособность и подготовить к демонстрации.

Очередной защищающийся дипломник готовит демонстрационные материалы. Для закрепления демонстрационных плакатов на рамах необходимо иметь с собой кнопки. Плакаты желательно размещать на раме в той последовательности, как они упоминались в докладе.

На заседании ГАК должны присутствовать члены комиссии, руководитель и желательно рецензент проекта. Допускаются также все желающие присутствовать при защите (защита открытая).

Защита начинается докладом студента, на который дается 10–15 минут. Содержание доклада построено по следующему плану:

- актуальность темы дипломного проекта;
- место работы в ряду предшествующих исследований;
- постановка задачи с обязательным указанием всех допущений и ограничений;
- новизна и достоверность полученных результатов и выводов;
- предполагаемое использование полученных результатов.

Доклад необходимо умело иллюстрировать формулами, графиками, схемами, вынесенными на плакаты.

После этого члены ГАК и все желающие задают дипломнику вопросы. Содержание вопросов и ответов на них дипломника должны позволить членам ГАК оценить глубину проработки темы проекта и степень подготовленности дипломника к самостоятельной инженерной деятельности. Доклад должен содержать формулировку разрабатываемой темы, ее обоснование и основные результаты работы. Не следует в докладе вдаваться в изложение отдельных деталей. Ответы на вопросы должны быть полными и подробными. После ответов на вопросы зачитываются отзыв руководителя и рецензия по

проекту, а затем дипломнику предоставляется слово для ответа на замечания, содержащиеся в них.

Оценка качества проекта, его защиты и присуждение квалификации производятся на закрытом заседании ГАК после краткого заключения руководителя проекта и обмена мнениями между членами ГАК. Результаты защиты дипломного проекта определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно». При оценке работы учитываются качество выполнения и оформления проекта, уровень защиты проекта и ответов на вопросы, мнение руководителя и рецензента. ГАК может принять решение о выдаче диплома с отличием, а также рекомендовать защитившего диплом к поступлению в аспирантуру.

В тех случаях, когда защита проекта признается неудовлетворительной, ГАК устанавливает, может ли студент представить к повторной защите тот же дипломный проект с доработкой, определяемой комиссией, или же обязан разработать новую тему, которая устанавливается кафедрой. Студент, не защитивший проект, допускается к повторной защите дипломного проекта в течение трех лет после отчисления из университета при представлении положительной характеристики с места работы, отвечающей профилю подготовки.

Решение ГАК принимается простым большинством голосов, после защиты все дипломные проекты хранятся в кабинете дипломного проектирования в течение пяти лет.

Приложения

ПРИЛОЖЕНИЕ А (справочное)

Перечень некоторых государственных стандартов

Государственные стандарты ЕСКД

2.004-88	Общие требования к выполнению конструкторских и технологических документов на печатающих и графических устройствах вывода ЭВМ
2.102-68	Виды и комплектность конструкторских документов
2.104-68	Основные надписи
2.105-95	Общие требования к текстовым документам
2.106-68	Текстовые документы
2.109-73	Основные требования к чертежам
2.301-68	Форматы
2.302-68	Масштабы

N

2.303-68	Линии
2.304-81	Шрифты чертежные
2.316-68	Правила нанесения на чертежах надписей, технических требований и таблиц
2.321-84	Обозначения буквенные
2.413-72	Правила выполнения конструкторской документации изделий, изготавливаемых с применением электрического монтажа
2.414-75	Правила выполнения чертежей жгутов, кабелей и проводов
2.417-91	Платы печатные. Правила выполнения чертежей
2.701-84	Схемы: виды и типы. Общие требования к выполнению
2.702-75	Правила выполнения электрических схем
2.705-70	Правила выполнения электрических схем обмоток и изделий с обмотками
2.708-81	Правила выполнения электрических схем цифровой вычислительной техники
2.709-89	Обозначения условные проводов и контактных соединений электрических элементов, оборудования и участков цепей в электрических схемах
2.710-81	Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах
2.721-74	Обозначения условные графические в схемах. Обозначения общего применения
2.722-68	Обозначения условные графические в схемах. Машины электрические

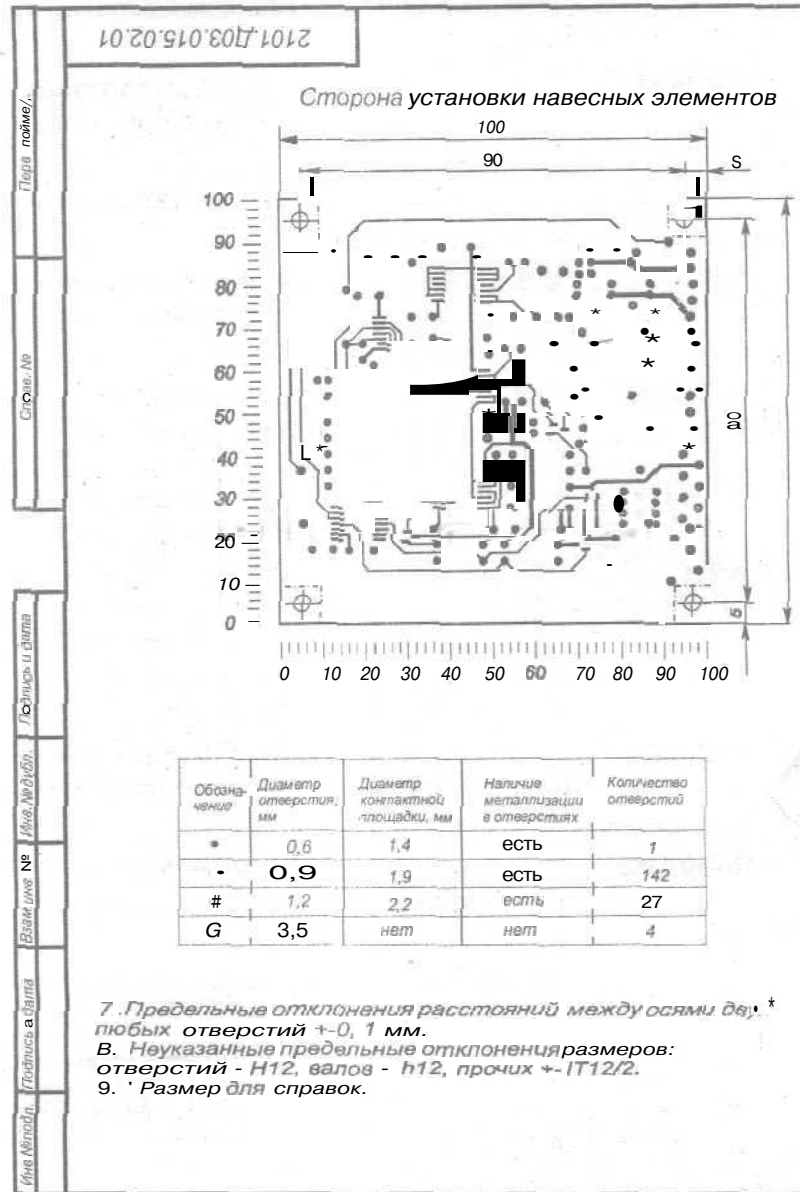
- 2.723-68 Обозначения условные графические в **схемах**.
Катушки индуктивности, дроссели, трансформаторы, автотрансформаторы и магнитные усилители
- 2.726-68 Обозначения условные графические в **схемах**.
Токосъемники
- 2.727-68 Обозначения условные графические в **схемах**.
Разрядники, предохранители.
- 2.728-74 Обозначения условные графические в **схемах**.
Резисторы, конденсаторы
- 2.729-68 Обозначения условные графические в **схемах**.
Приборы электроизмерительные
- 2.730-73 Обозначения условные графические в **схемах**.
Приборы полупроводниковые
- 2.731-81 Обозначения условные графические в **схемах**.
Приборы электровакуумные
- 2.732-68 Обозначения условные графические в **схемах**.
Источники света
- 2.736-68 Обозначения условные графические в **схемах**.
Элементы пьезоэлектрические и **магнитострикционные**; линии задержки
- 2.737-68 Обозначения условные графические в **схемах**.
Устройства связи
- 2.741-68 Обозначения условные графические в **схемах**.
Приборы акустические
- 2.743-91 Обозначения условные графические в **схемах**.
Элементы цифровой техники
- 2.752-7] Обозначения условные графические в **схемах**.
Устройства телемеханики
- 2.755-87 Обозначения условные графические в **схемах**.
Устройства **коммутационные** и контактные соединения

- 2.756-76 Обозначения условные графические в схемах. Воспринимающая часть электромеханических устройств
- 2.759-82 Обозначения условные графические в схемах. Элементы **аналоговой** техники
- 2.761-84 Обозначения условные графические в схемах. Компоненты волоконно-оптических систем передачи
- 2.763-85 Обозначения условные графические в схемах. Устройства с **импульсно-кодовой** модуляцией
- 2.764-86 Обозначения условные графические в схемах. Интегральные **оптоэлектронные** элементы индикации
- 2.765-87 Обозначения условные графические в схемах. Запоминающие устройства
- 2.766-88 Обозначения условные графические в схемах. **Системы** передачи информации с временным разделением канала
- 2.768-90 Обозначения условные графические в схемах. Источники электрохимические, электротермические и тепловые

Прочие государственные стандарты

- 7.32-2001 Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления
- 8.401-80 ГСИ. Классы точности средств измерений. Общие требования.
- 13607-68 Приборы и преобразователи электроизмерительные цифровые. Основные **термины** и определения.
- 20504-81 Система унифицированных типовых конструкций агрегатных комплексов ГСП. Типы и основные размеры.

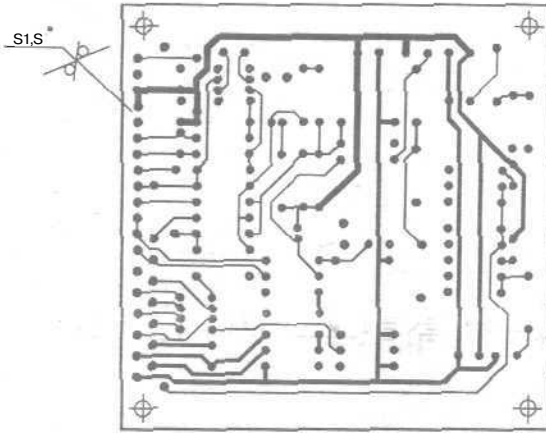
- 22315-77 Средства агрегатные информационно-измерительных систем. Общие положения
- 23751-86 Платы печатные. Основные параметры конструкции
- 25874-83 Аппаратура радиоэлектронная, электронная и электротехническая. Условные функциональные обозначения
- 26284-84 Преобразователи электроэнергии полупроводниковые
- 26765.20-91 Конструкции базовые несущие радиоэлектронных средств. Система построения и координатные размеры
- 26793-85 Компоненты волоконно-оптических систем передачи. Система условных обозначений
- 28601.1-90, 28601.2-90, 28601.3-90 Система несущих конструкций серии 482,6 мм. Панели и стойки. Основные размеры.
- 29137-91 Формовка выводов и установка изделий электронной техники на печатные платы. Общие требования и нормы конструирования
- 19.701-90 ЕСПД. Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. Обозначения условные и правила выполнения
- 24.302-80 Система технической документации на АСУ. Общие требования к выполнению схем.
- 24.303-80 Система технической документации на АСУ. Обозначения условные графические технических средств.
- 26.005-82 Телемеханика. Термины и определения
- 34.003-90 Автоматизированные системы. Термины и определения.



ПРИЛОЖЕНИЕ Б (справочное)

чертежа печатной платы

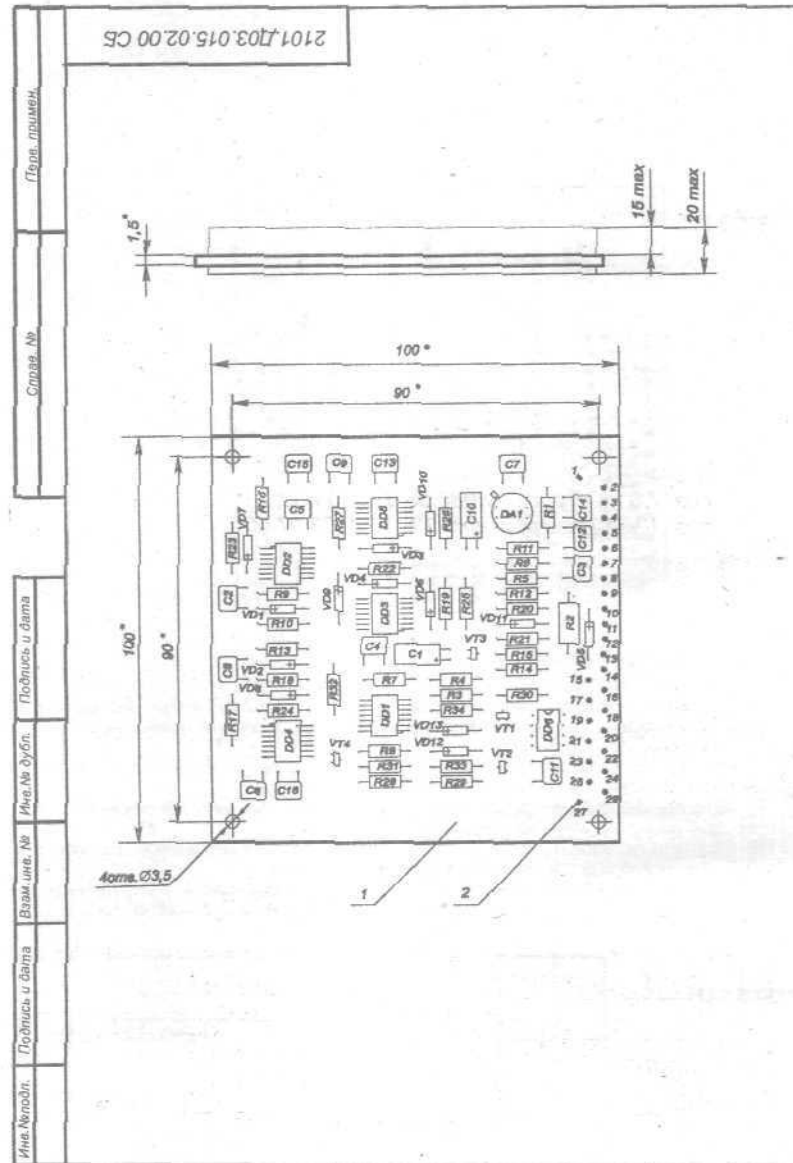
Rz 40 ✓ (✓)



100 90 80 70 60 50 40 30 № 10 0

- 1- Плату изготовить комбинированным позитивным методом.
2. Шаг координатной сетки 1.25 мм. Линии сетки нанесены через одну.
3. Конфигурацию проводников выдерживать по координатной сетке с отклонением от чертежа $\pm 0,5$ мм.
4. Места, обведенные штрих-пунктирной линией, проводниками не занимать с двух сторон.
5. Ширина проводников согласно чертежу: в свободных местах 0,5; 1,0 и 2,0 мм, в узких местах - 0,25 мм.
6. Расстояние между проводниками, проводниками и контактными площадками в свободных местах не менее 0,5 мм, в узких местах 0,25 мм.

				2101.Д03.01'5.02.01		
Ито	Лист	№ др.	Подп.	Дата	Плата печатная	
Студ.	Худяков				Лит.	Масса
Конс.	Долгих					Масштаб
Рук.	Григорян					1:1
Н.контр.	Тронова				Лист	Листов Г
					СФ 2-35 Г 1,5 Ж кл. ГОСТ 10316-78	
					ЮРГТУ, кафедра АиТ ИИИТУ, гр. 5-1	



ПРИЛОЖЕНИЕ В (справочное)

чертежа печатного узла

1. Установку навесных элементов производить по ГОСТ 29137-91:
 поз. 4...6 по варианту 030.07.0402.00.00;
 поз. 7,8 по варианту 080.08.0902.00.00;
 поз. 10...12 по варианту 380.18.1102.07.00;
 поз. 13 по варианту 330.00.0000.00.00;
 поз. 14 по варианту 290.00.0000.00.00;
 поз. 16-27, 30 по варианту 140.02.0202.00.00;
 поз. 28 по варианту 140.02.0203.00.00;
 поз. 32, 33 по варианту 360.18.1101.00.00.
2. Под элементы, расположенные на печатных проводниках, клеить лакоткань лоз.36 клеем БФ-2 ГОСТ 12172-74.
4. Позиционные обозначения элементов соответствуют 2101.Д03.015.02.00 ЭЗ.
5. Паять припоем ПОС 61 ГОСТ 21931-76.
6. Плату после монтажа покрыть лаком УР-231 ТУ6-10-863-76 III9.
7. *- Размеры для справок.

					2101.Д03.015.0200 СБ			
Изм.	Лист	Издокум.	Подп.	Дата	Плата управления Сборочный чертеж	Лит.	Масса	Масштаб
Ступ.	Худяков							1:1
Конс.	Долгих					Лист	Листов 1	
Рук.	Григорьев					ЮРИТУ, каф. АиТ ИИИТУ, гр.5-1		
Ч.Контр.	Транова							

335

Наименование	Окончание приложения Г	Кол.		Примечание
		2	2	
R11				
R13	0,25 - 100 Ом ± 5%			
R14	0,25 - 1 кОм ± 5%			
R15	C2-33 - 1 кОм ± 1%			
R19	C2-33 - 0,25			
R20	C2-33 - 0,25 - 240			
R21	C2-33 - 0,25 - 3 кОм ±			
R22	C2-33 - 0,25 - 130 кОм ± 5%			
R23, R24	C2-33 - 0,25 - 62 кОм ± 5%			
R25	C2-33 - 0,25 - 3 кОм ± 5%			
R26	C2-33 - 0,25 - 620 кОм ± 5%			
R27...R29	C2-33 - 0,25 - 3 кОм ± 5%			
R30, R31	C2-33 - 0,25 - 1 кОм ± 5%			
R32	C2-33 - 0,25 - 240 кОм ± 5%			
R33, R34	C2-33 - 0,25 - 75 Ом ± 5%			
VD1...VD13	Диод 2Д1522Б ДРЗ.362.029-01 ТУ			

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

(справочное)

Пример оформления перечня элементов

Поз. обозн.	Наименование	Кол	Примечание
	<u>Конденсаторы К10-17-16 ОЖО.460.107. ТУ</u>		
C1	К50-68 - 10,0 мкФ - 25 В АЖЯР.673541.005 ТУ	1	
C2	К10-17-16 - Н90 - 1,0 мкФ	1	
C3, C4	К10-17-16 - Н90 - 0,1 мкФ	2	
C5, C6	К10-17-16 - Н90 - 1,0 мкФ	2	
C7	К10-17-16 - М750 - 2200 пФ ±10%	1	
C8, C9	К10-17-16 - Н90 - 1,0 мкФ	2	
C10	К50-68 - 22,0 мкФ - 25 В АЖЯР.673541.005 ТУ	1	
C11...C16	К10-17-16 - Н90 - 1,0 мкФ	6	
	<u>Микросхемы</u>		
DD1	564ЛА? БКО.347.064 ТУ	1	
DD2, DD3	ОС 564ТЛ1 БКО.347.280 ТУ	2	
DD4	564ЛА10 БКО.347.064 ТУ24	1	
005	ОС 564ТЛ1 БКО.347.280 ТУ	1	
DD6	5П14.2А ЕНСК.431162.001ТУ	1	
DA1	140УД22 БКО.347.004-15ТУ	1	
	<u>Резисторы С2-33 ОЖО.461.093 ТУ</u>		
	<u>С2-29В ОЖО.467.099 ТУ</u>		
Г	С2-33 - 0,25 - 100 Ом ±5%	1	
R2	С2-33 - 0,5 - 150 КОм ±5%	1	
2101.Д03.015.02.00 пэз			
Изм.	Лист	№ докум	Подп.
Разраб	Получ		
Проект	Исп		
Т. дам			
Н. контр	Тронов		
Утв.	Анзим		
Плата управления		Яш	Лист
Перечень элементов		ИИИ	ИИИ

336

ПРИЛОЖЕНИЕ Д
(справочное)
Пример оформления спецификации

Табл. №	Обозначение	Наименование	Кол
А3	2101.Д03.015.02.00 СЕ	Иные изделия	1
А2	2101.Д03.015.02.00 СЕ	Н7.750.961	27
А4	А.014	Прочие изделия	
		Конденсаторы	
		К10-17-16 ОЖО.460.107 ТУ	
		К50-68 АЖЯР.673541.005 ТУ	1
		К10-17-16 -Н90-2200 пФ±10%	1
			С7
			С3, С4

Содержание

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ	6
2. ТЕМАТИКА ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ	9
3. СОДЕРЖАНИЕ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА	12
3.1. Структура пояснительной записки и графической части дипломного проекта	12
3.2. Рубрикация пояснительной записки	13
3.3. Содержание специальной части дипломного проекта	15
3.3.1. Содержание специальной части по автоматическому управлению	15
3.3.1.1. Составление и обоснование технического задания на разработку САУ (САР)	17
3.3.1.2. Составление функциональной схемы САУ и выбор элементов ее неизменяемой части	17
3.3.1.3. Математическое описание САУ и выбор автоматического управляющего устройства	18

3.3.1.4. Структурно-параметрический синтез САР для объектов с сосредоточенными параметрами и запаздыванием.....	20
3.3.1.5. Математическое моделирование и структурно-параметрический синтез систем автоматического управления и регулирования с распределенными параметрами.....	46
3.3.1.6. Моделирование САУ (САР) с помощью средств вычислительной техники.....	92
3.3.2. Содержание специальной части по построению устройств и систем на основе микропроцессорной техники: ЭВМ, микроконтроллеров и микропроцессоров.....	104
3.3.2.1. Общие сведения об использовании микропроцессорной техники в дипломном проектировании.....	104
3.3.2.2. Характер использования микропроцессорной техники в проектируемых устройствах.....	104
3.3.2.3. Классификация микропроцессорных систем и особенности проектирования.....	107
3.3.2.4. Типовое содержание специальной части дипломных проектов, посвященных разработке и модернизации микропроцессорных систем.....	112
3.3.2.5. Основные этапы разработки и модернизации микропроцессорных систем.....	119
3.3.2.6. Системный анализ объекта контроля и проектируемой микропроцессорной системы.....	120
3.3.2.7. Выбор типов используемых микропроцессоров, однокристалльных контроллеров и определение структуры микропроцессорных контроллеров.....	125
3.3.2.8. Разработка аппаратных средств микропроцессорной системы.....	129
3.3.2.9. Разработка программного обеспечения микропроцессорной системы.....	133
3.3.2.10 Совместная отладка программного обеспечения и аппаратных средств; оценка характеристик построенной системы.....	136

3.3.3. Содержание специальной части по схемотехнической реализации проектируемых устройств и систем.....	139
3.3.3.1. <i>Обзорно-постановочный раздел</i>	141
3.3.3.2. <i>Расчетная часть</i>	142
3.3.4. Содержание специальной части по программному и алгоритмическому обеспечению проектируемых устройств и систем.....	168
3.3.4.1. <i>Особенности разработки программного обеспечения в дипломном проекте</i>	168
3.3.4.2. <i>Классификация программного обеспечения, разрабатываемого в дипломном проекте</i>	170
3.3.4.3. <i>Основные методологии разработки программного обеспечения в дипломном проекте</i>	173
3.3.4.4. <i>Выбор операционной системы и языка программирования разрабатываемого ПО</i>	177
3.3.4.5. <i>Особенности разработки программного обеспечения для проектирования и моделирования автоматических и электронных систем</i>	180
3.3.4.6. <i>Реализация информационных баз данных в разрабатываемом программном обеспечении</i>	183
3.3.4.7. <i>Основные алгоритмы, реализуемые программным обеспечением микропроцессорных систем</i>	187
3.3.4.8. <i>Детализация главы дипломного проекта по разработке алгоритмического и программного обеспечения</i>	194
3.3.5. Содержание специальной части по средствам автоматизированного анализа и проектирования устройств и систем.....	197
3.3.5.1. <i>Схемотехническое моделирование в дипломном проектировании</i>	197
3.3.5.2. <i>Основные возможности программных систем схемотехнического моделирования и рекомендации по их выбору</i>	199
3.3.5.3. <i>Рекомендации по выбору объектов схемотехнического моделирования</i>	203

3.3.5.4. Рекомендации по выполнению схемотехнического моделирования.....	206
3.3.5.5. Рекомендации по оформлению результатов схемотехнического моделирования.....	210
3.3.6. Содержание специальной части по обработке результатов экспериментальных исследований.	212
3.3.6.1. Основные положения.....	212
3.3.6.2. Интервальная оценка погрешности результатов измерений.....	214
3.3.6.3. Определение минимального количества измерений .	218
3.3.6.4. Исключение грубых ошибок ряда.....	220
3.4. Конструкторско-технологическая реализация проектируемых устройств и систем.....	224
3.4.1. Содержание конструкторско-технологической части.....	224
3.4.2. Выбор размеров корпуса электронного блока	225
3.4.3. Разработка чертежа общего вида или сборочного чертежа блока.....	228
3.4.4. Рекомендации по конструированию печатной платы электронного узла.....	229
3.4.5. Оформление конструкторской документации электронного узла.....	233
3.4.6. Выбор радиаторов для охлаждения полупроводниковых приборов.....	235
3.4.7. Расчет параметров теплового режима блока.	240
3.4.8. Проектирование системы виброизоляции электронного блока.....	248
3.4.9. Разработка инструкции по эксплуатации устройства.....	253
3.4.10. Расчет надежности электронных устройств.	254
3.5. Технико-экономическое обоснование проектируемых устройств и систем.....	262

3.5.1. Общие требования к разработке экономической части дипломного проекта	262
3.5.2. Содержание экономической части проекта	263
3.5.2.1. Маркетинговые исследования.....	264
3.5.2.2. Бизнес-план инвестиционного (дипломного) проекта.....	266
3.5.2.3. Показатели, используемые при сравнении различных инвестиционных проектов: чистый дисконтированный доход (ЧДД); индекс доходности (ИД); внутренняя норма доходности (ВНД); срок окупаемости.....	268
3.5.2.4. Экономические преимущества от эксплуатации спроектированного изделия.....	276
3.5.2.5. Планирование конструкторской подготовки производства изделий.....	277
3.5.2.6. Расчет себестоимости (сметы затрат) и цены НИОКР.....	279
3.6. Основы безопасности жизнедеятельности при проектировании информационных, измерительных и управляющих систем.....	284
3.6.1. Общие положения	285
3.6.2. Анализ объекта с позиции безопасности жизнедеятельности.....	286
3.6.3. Выявление социально-экологического эффекта от внедрения разработки дипломника	286
3.6.4. Безопасность жизнедеятельности в чрезвычайных ситуациях	290
3.6.5. Рекомендуемый перечень вопросов по безопасности жизнедеятельности в дипломном проекте.....	290
4. ОФОРМЛЕНИЕ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ .. .	295
5. ОФОРМЛЕНИЕ ГРАФИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА	304

5.1. Форматы и основные надписи	304
5.2. Оформление чертежей	309
5.2.1. Чертеж общего вида	309
5.2.2. Спецификация и сборочный чертеж	310
5.3. Общие правила оформления электрических схем	311
5.4. Структурные схемы	314
5.5. Принципиальные схемы	315
5.6. Схемы алгоритмов	317
6. ОСНОВНЫЕ ОБЯЗАННОСТИ РУКОВОДИТЕЛЯ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА И ДИПЛОМНИКА	319
6.1. Руководитель проекта и его обязанности	319
6.2. Обязанности дипломника	321
7. РАБОТА НАД ДИПЛОМНЫМ ПРОЕКТОМ, ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ЗАЩИТА И РЕЦЕНЗИРОВАНИЕ ..	322
8. ПУБЛИЧНАЯ ЗАЩИТА ДИПЛОМНЫХ ПРОЕКТОВ	324
ПРИЛОЖЕНИЯ	327
Приложение А (справочное)	327
Перечень некоторых государственных стандартов	327
Государственные стандарты <i>ЕСКД</i>	327
Прочие государственные стандарты	330
Приложение Б (справочное)	
Пример оформления чертежа печатной платы	332

Приложение В (справочное)	
Пример оформления сборочного чертежа печатного узла	335
Приложение Г (справочное)	
Пример оформления перечня элементов	336
Приложение Д (справочное)	
Пример оформления спецификации	338

Авторским коллектив:

Василенко **Виталий** Иванович,
Григорьян Сергей Георгиевич,
Долматова Нина Владимировна,
Елсуков Владимир Сергеевич,
Зинченко Елена Валентиновна,
Кононенко Татьяна Петровна,
Лачин Вячеслав Иванович,
Павленко **Александр** Валентинович,
Пятина Ольга Николаевна,
Рапопорт Эдгар Яковлевич,
Савелов **Николай** Семенович,
Савин Михаил Михайлович,
Седов Андрей Владимирович

Дипломное проектирование
Учебное пособие

Ответственный редактор *И. Ю. Жиляков*

Художник: *А. Пащенко*

Корректоры: *Н. Никанорова, В. Югобашиян*

Лицензия ЛР № 065194 от 2 июня 1997 г.

Сдано в набор 12.05.03, Подписано в печать 08.07.03.

Формат 84×108/32. Бум. тип №2.

Гарнитура CG Times. Печать **высокая**. Усл. п. л. **18,48**.

Тираж 5000 экз. Зак. № 1223.

Издательство «Феникс»

344002, г. Ростов-на-Дону, пер. Соборный, 17

Изготовлено с готовых диапозитивов в ФГУИПП «Курск»

305007, г. Курск, ул. Энгельса, 109

Качество печати соответствует
качеству представленных **заказчиком**
диапозитивов



Торговый Дом «Феникс»

ПРЕДЛАГАЕТ:

- Около 100 новых книг *каждый* месяц
- Более 3000 наименований книжной *продукции* собственного производства
- Более 1500 наименований обменной *книжной продукции* от лучших *издательств* России

ОСУЩЕСТВЛЯЕМ:

- Оптовую и розничную торговлю *книжной продукцией*

ГАРАНТИРУЕМ:

- Своевременную доставку книг в любую *точку страны*, **ЗА СЧЕТ ИЗДАТЕЛЬСТВА**, автотранспортом и *жд контейнерами*
- **МНОГОУРОВНЕВУЮ** систему скидок
- **РЕАЛЬНЫЕ ЦЕНЫ**
- Надежный **ДОХОД** от реализации книг нашего издательства

НАШ АДРЕС:

344002, Ростов-на-Дону, пер. *Соборный*, 17.

НАШ САЙТ:

<http://www.webkniga.ru> <http://www.phoenix.ic.ru/>

НАШИ МЕНЕДЖЕРЫ:

По продажам на территории *Москвы*, центра *европейской части России* и *Республики Казахстан*:

Чермантеева Татьяна Степановна

Тел./факс: (8632) 62-45-94 E-mail: books@leo.ru

По продажам на территории *Ставропольского*, *Краснодарского краев* и *Республики Беларусь*:

Жирова Наталья Леонидовна

Тел.: (8632) 44-19-04 E-mail: redactor@ic.ru; phoenix@ic.ru

По продажам на территории *Урала* и *севера европейской части России*:

Костенко Людмила Константиновна

Тел./факс: (8632) 62-57-97 E-mail: cross_road@jeo.ru

По продажам на территории *Западной Сибири*, *Украины*, *Республики Казахстан* и *других стран СНГ*:

Мезинов Антон Николаевич

Тел.: (8632) 62-44-72 E-mail: antonij@mail.ru

По продажам на территории *Восточной Сибири*:

Швечикова Ирина Владимировна

Тел.: (8632) 44-19-04 E-mail: natasha_fenix@mail.ru

По продажам на территории *Северо-Западного региона*,

2. *Санкт-Петербурга* и *Дальнего Востока*:

Михайленко Александр Васильевич

Тел.: (8632) 62-44-72 E-mail: phoenix@ic.ru

Издательство «Феникс»

Приглашаем к сотрудничеству **АВТОРОВ** для издания:

- учебников для ПТУ, ССУЗов и вузов;
- научной и научно-популярной литературы по МЕДИЦИНЕ и ВЕТЕРИНАРИИ, ЮРИСПРУДЕНЦИИ и ЭКОНОМИКИ, СОЦИАЛЬНЫМ и ЕСТЕСТВЕННЫМ НАУКАМ;
- литературы по ПРОГРАММИРОВАНИЮ и ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ;
- ПРИКЛАДНОЙ и ТЕХНИЧЕСКОЙ литературы;
- литературы ПО СПОРТУ и БОЕВЫМ ИСКУССТВАМ;
- ДЕТСКОЙ и ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ литературы;
- литературы по КУЛИНАРИИ и РУКОДЕЛИЮ.

ВЫСОКИЕ ГОНОРАРЫ!!! ВСЕ финансовые ЗА ТРАТЫ БЕРЕМ НА СЕБЯ!!!
*При принятии рукописи в производство **ВЫПЛАЧИВАЕМ** гонорар
НА 10% **ВЫШЕ** ЛЮБОГО **РОССИЙСКОГО ИЗДАТЕЛЬСТВА!!!**
*Рукописи не рецензируются и не возвращаются!**

НАШ АДРЕС:

344002, г. Ростов-на-Дону, пер. Соборный, 17.

Факс: (8632) 62-58-44

<http://www.phoenix.ic.ru> E-mail: reclamabook@jeo.ru

Редакционно-издательские отделы:

Осташов Сергей Александрович (руководитель отдела)

Тел.: (8632) **S2-58-34** E-mail: publish@ic.ru

Баранчикова Елена Валентиновна (руководитель отдела)

Тел.: (8632) 99-01-82 E-mail: fenix@ic.ru

Бузаева Елена Викторовна (руководитель отдела)

Тел. (8632) 44-19-03 E-mail: reclamabook@jeo.ru

Фролова Жанна Игоревна (руководитель отдела)

Тел.: (8632) **62-51-94** E-mail: gleb@ic.ru

КУРСОВЫЕ И ДИПЛОМНЫЕ РАБОТЫ

*ОТ ВЫБОРА ТЕМЫ
ДО ЗАЩИТЫ*

СПРАВОЧНОЕ ПОСОБИЕ

Автор-составитель

И. Н. Кузнецов

Минск
«МИСЕТ»
2003

УДК 378.147.85 (075.8)

ББК 74.58

К93

Рецензенты:

Купрейчик С. К., кандидат юридических наук;

Кыштымов А. Л., кандидат исторических наук

К93 **Курсовые** и дипломные работы: От выбора темы до защиты: Справочное пособие / Авт.-сост. И. Н. Кузнецов. – Мн.: «Мисанта», 2003. – 416 с.

ISBN 985-6080-85-1-

В пособии подробно изложены все этапы подготовки курсовых и дипломных работ - от выбора темы до защиты. Освещаются вопросы технического оформления структурных частей учебных научных работ. Особое внимание уделено использованию компьютера и Интернета.

Предназначено студентам вузов, техникумов, колледжей, руководителям учебных научных работ, а также тем, кто сталкивается с оформлением текстовой документации.

УДК 378.147.85 (075.8)

ББК 74.58

Охраняется законом об авторском праве. Воспроизведение всей книги или любой её части преследуется в судебном порядке.

ISBN 985-6080-85-1

© Составление. Кузнецов И. Н., 2003

© ООО «Мисанта», 2003