

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ В МЕХАТРОНИКЕ И РОБОТОТЕХНИКЕ



**Тамбов
Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»
2025**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Тамбовский государственный технический университет»

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ В МЕХАТРОНИКЕ И РОБОТОТЕХНИКЕ

Утверждено Ученым советом университета
в качестве методических указаний по выполнению курсового проекта
для студентов направления 15.03.06, обучающихся по дисциплине
«Проектирование и эксплуатация мехатронных систем»,
очной формы обучения

Учебное электронное издание



Тамбов
Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»
2025

УДК 62-523.8
ББК 34.817(34.41)
П79

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент кафедры
«Радиотехника» ФГБОУ ВО «ТГТУ»
Ю. Н. Панасюк

П79 **Проектирование** и эксплуатация систем автоматизированного управления в мехатронике и робототехнике : методические указания по выполнению курсового проекта / сост. : А. Г. Дивин, П. В. Балабанов. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2025. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Системные требования : ПК не ниже класса Pentium IV ; RAM 512 Mb ; необходимое место на HDD 1,1 Mb ; Windows 7/8/10/11 ; дисковод CD-ROM , мышь. – Загл. с экрана.

Рассмотрены вопросы проектирования мехатронных систем, включающие в себя этапы жизненного цикла разрабатываемой продукции. Представлены многочисленные примеры выполнения схем, спецификаций и других компонентов конструкторской документации, а также методика расчета надежности проектируемых мехатронных систем и программных продуктов.

Предназначены для студентов направления 15.03.06, обучающихся по дисциплине «Проектирование и эксплуатация мехатронных систем», очной формы обучения.

УДК 62-523.8
ББК 34.817(34.41)

*Все права на размножение и распространение в любой форме остаются за разработчиком.
Нелегальное копирование и использование данного продукта запрещено.*

© Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Тамбовский государственный технический
университет» (ФГБОУ ВО «ТГТУ»), 2025

ВВЕДЕНИЕ

Непрерывное усложнение технических объектов и рост степени автоматизации процесса управления привели к интеграции электронных и компьютерных элементов систем с электромеханическими, электрогидравлическими и пневматическими приводами. В результате такой интеграции появились мехатронные модули и системы, обладающими следующими отличительными особенностями:

- системы мехатроники отличаются от классических систем большим числом различных взаимосвязанных элементов;
- системы мехатроники управляются микроконтроллером и, как правило, являются интеллектуальными с возможностью автоматической калибровки, самодиагностики, настройки;
- системы мехатроники требуют современного уровня знаний в различных дисциплинах.

Таким образом, проектирование мехатронных систем и роботов представляет собой междисциплинарную область, объединяющую знания механики, электроники, информатики и автоматики для создания сложных технических устройств, способных выполнять задачи автономно или под управлением оператора. В условиях стремительного развития технологий мехатроника играет ключевую роль в автоматизации производственных процессов, медицине, транспорте и многих других сферах жизни современного общества.

Цель данного учебного пособия – предоставить студентам базовые принципы проектирования мехатронных систем, начиная от анализа требований и выбора компонентов до разработки конструкторской и программной документации, вплоть до тестирования готовых решений. В методическом пособии даны рекомендации по разработке систем управления движением. Особое внимание будет уделено вопросам интеграции различных подсистем и надежности создаваемых устройств.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Эффективная работа мехатронной системы может быть достигнута за счет совершенства ее конструкции и получения высоких технико-экономических показателей. Создание требуемой конструкции базируется на применении определенных инженерных методов проектирования.

Проект (от латинского *projectus* – брошенный вперед) – совокупность документов и описаний на различных языках (графическом – чертежи, схемы, диаграммы и графики; математическом – формулы и расчеты; инженерных терминов и понятий – тексты описаний, пояснительные записки), необходимая для создания какого-либо сооружения или изделия.

Проектирование – это процесс составления описания, необходимого для создания еще несуществующего объекта (алгоритма его функционирования или алгоритма процесса), путем преобразования первичного описания, оптимизации заданных характеристик объекта (или алгоритма его функционирования), устранения некорректности первичного описания и последовательного представления (при необходимости) описаний на различных языках. Другими словами, проектирование – это комплекс работ, направленный на изыскание, исследование, расчет и конструирование объекта проектирования (рис. 1).

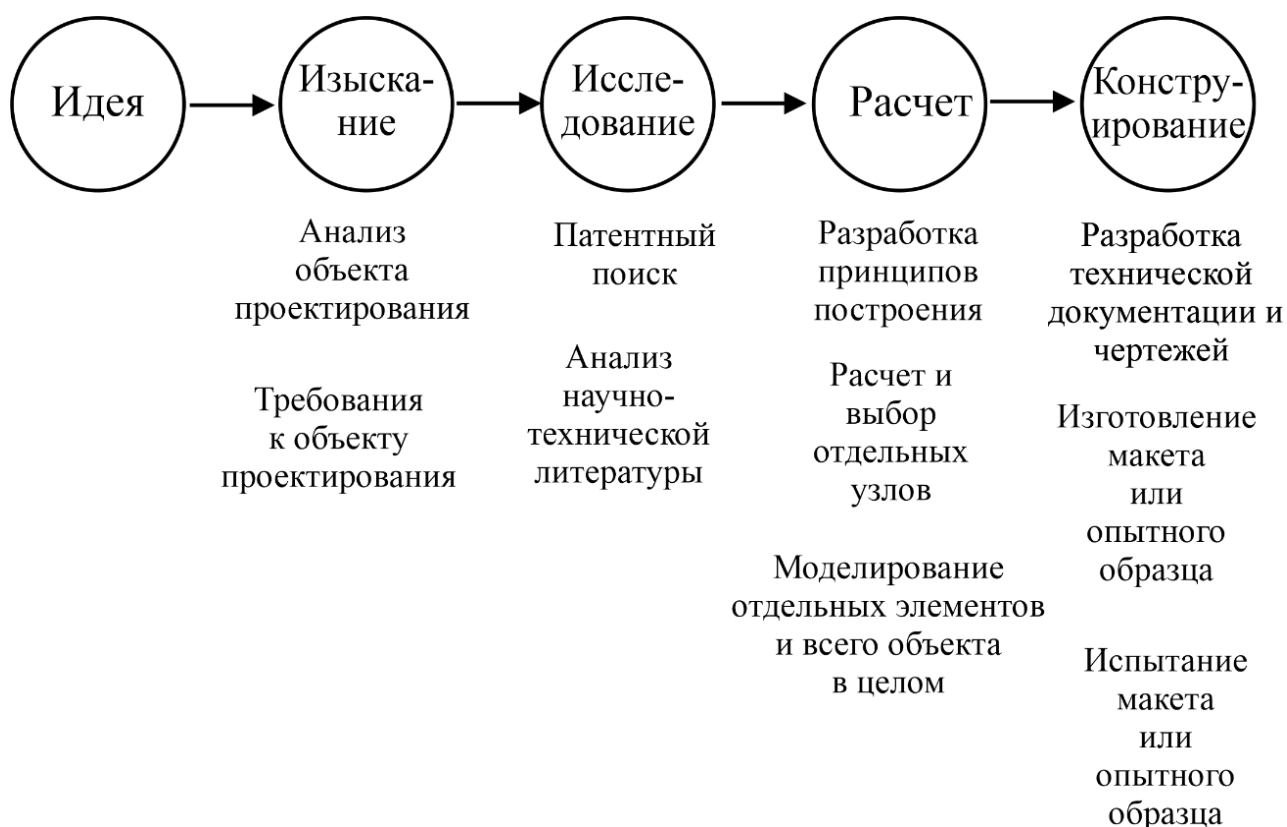


Рис. 1. Структура процесса проектирования технического объекта

Целью проектирования, как вида деятельности человека, является создание объекта (изделия, программного продукта), необходимого людям для улучшения их качества жизни, повышения производительности труда, безопасности, эффективности производства, снижения различного рода негативных факторов. Необходимость проектирования возникает после описания некоторой совокупности потребительских свойств, которыми должен обладать объект проектирования.

Начинается процесс проектирования описанием потребности в объекте проектирования, заканчивается – проектной документацией, по которой можно изготовить объект, удовлетворяющий этим потребностям.

Задача проектирования – преобразование описания потребности в объекте проектирования в стандартную по форме документацию, по которой изготовитель выполнит реальный объект.

Совершенствование и внедрение роботов в производство в значительной мере сдерживается отсутствием методических основ проектирования самих роботов и роботизированных производств, с учетом специфики автоматизированного производства.

Основные методы проектирования [1]:

- прямые аналитические методы синтеза (разработаны для ряда простых типовых механизмов);
- эвристические методы проектирования – решение задач проектирования на уровне изобретений (например, алгоритм решения изобретательских задач);
- синтез методами анализа – перебор возможных решений по определенной стратегии (например, с помощью генератора случайных чисел – метод Монте-Карло) с проведением сравнительного анализа по совокупности качественных и эксплуатационных показателей (часто используются методы оптимизации – минимизация сформулированной разработчиком целевой функции, определяющей совокупность качественных характеристик изделия);
- системы автоматизированного проектирования или САПР – компьютерная программная среда моделирует объект проектирования и определяет его качественные показатели, после принятия решения – выбора проектировщиком параметров объекта, система в автоматизированном режиме выдает проектную документацию.

ВЫБОР ТЕМЫ КУРСОВОГО ПРОЕКТА. СОДЕРЖАНИЕ ПРОЕКТА

Курсовой проект по дисциплине «Проектирование и эксплуатация систем автоматизированного управления в мехатронике и робототехнике» выполняется в 8 семестре и является интегрирующим курсом подготовки бакалавров по направлению 15.03.06 «Мехатроника и робототехника». Поэтому, с одной стороны, он должен включать в себя материалы или элементы ранее изученных дисциплин, формирующих основные профессиональные и общепрофессиональные компетенции в области умений и навыков (к таким дисциплинам, в первую очередь, относятся дисциплины, содержащие курсовые работы и практические занятия), а с другой стороны, данный курсовой проект должен являться «генеральной репетицией» выполнения выпускной квалификационной работы.

Исходя из этого, тематика курсового проекта может быть весьма различна.

Предпочтительно, чтобы тема и индивидуальное задание на курсовой проект были связаны с темой выпускной квалификационной работы. Тема проекта также может определяться желанием студента специализироваться по определенной тематике мехатроники и робототехники. В этом случае студенту предлагается выполнить курсовой проект по индивидуальному заданию, связанному с научно-исследовательской деятельностью студента. При этом курсовой проект в своей содержательной части может отличаться от «стандартного» (рекомендуемого) курсового проекта.

ПРИМЕРНЫЕ ТЕМЫ КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ

1. Применение искусственной нейронной сети и системы технического зрения для идентификации клубней картофеля при их сортировке.
2. Моделирование системы управления роем дронов при мониторинге растений в агропромышленном комплексе.
3. Мехатронная система для лазерной подсветки дефектных клубней картофеля при его сортировке.
4. Разработка системы позиционирования дронов после приземления в посадочном боксе.
5. Разработка системы автоматической подзарядки дронов в посадочном боксе.

6. Система визуальной навигации для мобильной роботизированной платформы в полевых условиях.

7. Разработка программного обеспечения для картографирования сельскохозяйственных угодий с применением мобильной роботизированной платформы.

8. Разработка аппаратного обеспечения мобильной роботизированной платформы, применяемой для картографирования сельскохозяйственных угодий.

9. Разработка программного обеспечения в среде Python для моделирования движения звеньев манипулятора Delta 5X.

Курсовой проект *содержит* разделы постановки задачи, анализа, изысканий, расчета и конструирования мехатронных и робототехнических систем элементами научных исследований, моделирования, патентных исследований (см. рис. 1).

По объему курсовой проект составляет 2 листа графической части формата A1 (суммарно) и пояснительную записку общим объемом от 25 до 40 страниц компьютерного текста (без приложений) и имеет следующую рекомендуемую структуру (разделы):

1. **Титульный лист.**

2. **Задание на курсовой проект**, в котором отражаются объект проектирования, его основные свойства и характеристики.

3. **Введение**, в котором излагаются актуальность, основные цели и задачи проектирования.

4. **Технологическая часть**, в которой изложено назначение объекта, системы или модуля, выполняемые ими функции. Приводится описание исходного технологического процесса, проводится анализ его недостатков, ставятся задачи проектирования, проводится анализ современного состояния программного и аппаратного обеспечений данного процесса, разрабатывается техническое задание.

5. **Раздел математического моделирования и расчетная часть** [1], в которой дается описание принятой компоновочной схемы, проводятся выбор и расчет основных кинематических параметров мехатронной системы (МС), устройства (МУ) или мехатронного модуля (ММ), решаются прямые и обратные задачи по положению, ориентации, скорости рабочих инструментов; приводится конструкторский расчет основных силовых и кинематических параметров МС, МУ или ММ; приводится динамическое описание схемы, устройства,

машины или системы, проводится выбор средств моделирования (программного обеспечения), приводятся исходные данные и начальные условия моделирования, проводится машинный эксперимент, результатом которого является получение основных динамических зависимостей и переходных процессов объекта, приводится описание полученных графических зависимостей и их анализ, описываются основные принципы построения систем управления МС, приводится выбор и расчет основных параметров приводов, проводится синтез регуляторов.

6. Раздел разработки программного и аппаратного обеспечений МС [3, 4]. В этом разделе описываются чертежи и схемы, разработанные студентом в рамках проекта, алгоритмы и блок-схемы алгоритмов для программного обеспечения МС их обоснование и описание, а также пользовательский интерфейс разработанного ПО.

7. Заключение, в котором приводятся основные результаты проведенных исследований и расчетов, даются рекомендации по использованию инновационных решений.

8. Список использованных источников.

9. Приложения, в которые включаются дополнительные справочные материалы, листинги программ расчета и моделирования на ЭВМ, а также – нижеследующие документы (в скобках дан код документа) с выполнением указанных для них требований.

1. Техническое задание:

- выполнено по ГОСТ 15.016–2016 или по ГОСТ 19.201–1978 (для ПО);
- включает не менее 5 разделов, предусмотренных ГОСТ;
- имеет объем не менее 7 листов (вместе с титульным листом).

2. Спецификация:

- выполнена по ГОСТ Р 2.016–2019;
- включает не менее 4 разделов, предусмотренных ГОСТ;
- включает не менее 7 составных частей;
- данные спецификации и сборочного чертежа согласуются.

3. Технические условия (ТУ):

- выполнены по ГОСТ 2.114–2016;
- включают не менее 4 разделов, предусмотренных ГОСТ;
- содержат требования по стойкости к ВВФ и показателям надежности;
- имеют объем не менее 7 листов (вместе с титульным листом).

4. Ведомость покупных изделий (ВП);:

- выполнена по ГОСТ Р 2.016–2019;
- содержит не менее 2 групп изделий;
- указаны не менее 7 изделий;
- номенклатура элементов согласуется с другими документами;

5. Перечень элементов (ПЭ):

- выполнен по ГОСТ 2.701–2008;
- выполнен для схемы электрической принципиальной;
- данные схемы электрической принципиальной и перечня элементов

согласуются.

6. Описание программы (выполненное по ГОСТ 19.402–1978):

Графическая часть проекта должна включать следующие конструкторские документы на разработанное изделие и его составные части (в скобках дан код документа) с выполнением указанных для них требований:

1. Чертеж общего вида (ВО):

- чертеж выполнен с учетом требований ГОСТ 2.119–2013.

2. Схема деления структурная (Е1), с выполнением требований:

- схема выполнена по ГОСТ Р 2.711–2019;
- указано не менее 7 составных частей изделия;
- указано по крайней мере одно вновь разработанное и одно покупное изделие (составная часть).

3. Сборочный чертеж (СБ):

- сборочный чертеж выполнен по ГОСТ 2.109–73;
- показаны не менее 7 составных частей, непосредственно входящих в сборку;
- указанные составные части соответствует данным спецификации на изделие;

- технические требования содержат не менее 5 пунктов.

4. Чертежи деталей (не менее двух):

- чертеж выполнен по ГОСТ 2.109–73;
- на чертеже линейных и угловых размеров суммарно не менее 8;
- на чертеже указано обозначение материала (например: «Сталь 12Х18Н10Т ГОСТ 5632–2014» или «Д16Т ГОСТ 4784–97»);
- технические требования содержат не менее 2 требований;
- на чертеже присутствует требование шероховатости поверхности по ГОСТ 2789–73;

- не менее чем на одном чертеже есть размер(ы) с указанным качеством точности;

- не менее чем на одном чертеже присутствует (-ют) допуск(и) формы, ориентации, месторасположения и (или) биения по ГОСТ Р 53442–2009;

- не менее чем на одном чертеже присутствует упрощенное обозначение отверстия по ГОСТ 2.318–81.

5. Схема электрическая принципиальная (Э3):

- схема выполнена в соответствии с ГОСТ 2.702–2011;

- на схеме присутствует не менее 10 элементов;

- не схеме использовано не менее 5 элементов с функционально различными УГО (например: резистор, конденсатор, светодиод, микросхема, реле);

- УГО элементов выполнены по соответствующему стандарту ЕСКД группы ГОСТ 2.7**;

- буквенно-цифровые обозначения выполнены по ГОСТ 2.710–81.

6. Схема электрическая соединения (Э4):

- схема выполнена в соответствии с ГОСТ 2.702–2011;

7. Габаритный чертеж (ГЧ):

- чертеж выполнен по ГОСТ 2.109–73;

8. Текст программы по ГОСТ 19.401–78.

Примечание: в зависимости от специфики разрабатываемого изделия список может корректироваться.

Для автоматического управления технологическим процессом производства в пищевой, химической и других отраслей промышленности, целесообразно выполнение схем автоматизации по ГОСТ 21.208–2013 и ГОСТ 21.408–2013 [2, 5].

Общие требования к прилагаемым конструкторским документам:

- соответствие внутренним нормативным документам ФГБОУ ВО «ТГТУ» (в том числе в части требований, уточняющих и конкретизирующих требования стандартов ЕСКД);

- основные надписи выполнены по ГОСТ 2.104–2006;

Рекомендации по выбору технических решений в рамках проектирования:

1. Выделить основные функции и решаемые задачи изделия.

2. Разобраться, к какой области техники относится разрабатываемое изделие.

3. Проработать ТЗ и НД в части предъявляемых требований и ограничений.

4. Найти литературу, научные статьи, патенты и другие источники, в которых описываются устройство, методы разработки и расчета подобных изделий и их составных частей, алгоритмы ПО.

5. Найти аналогичные изделия, изучить их устройство и принятые технические решения. Для поиска информации об устройстве изделий в сети Интернет рекомендуется поимо запроса «устройство <изделие>» задавать запрос «ремонт <изделие>». Практика показывает, что такой запрос позволяет найти значительное количество фото- и видеоматериалов с процессом разборки, монтажа составных частей, пайки, регулировки и т.п.

6. При изучении того или иного решения есть смысл задать запрос в поисковике и открыть картинки, беглым просмотром выявить наиболее подходящие схемы, фото и рисунки, подходящие для изучения и переходя на сайты с ними, читать описание и пояснения. Практика показывает, что это обычно эффективнее, чем искать в «текстовой» поисковой выдаче.

7. При изучении аналогов особое внимание следует обращать на: повторяющиеся или подобные технические решения и структуру изделий (возможность их представления в виде отдельных блоков или систем). Разобраться, почему разработчики аналогов приняли те или иные решения. Можно начинать с Википедии и чат-ботов, но никогда нельзя на них останавливаться. Для поиска информации рекомендуется использовать также специализированные поисковики (базы данных алгоритмов, 3D-моделей и прочее).

8. Обобщить полученную информацию. Разбить общую задачу разработки изделия на отдельные подзадачи (например, задача проектирования сервопривода может быть укрупненно разбита на проектирование механики, электроники и программирование). Постараться разбить задачу до уровня типовых.

9. Предварительно опередить состав будущего изделия: СЧ, системы и подсистемы, взаимосвязи между ними. При этом следует стремиться к инкапсуляции решений, чтобы изменения в одной СЧ наименее влияли на другое. Для этого стоит также проработать то, как будут соединяться системы и СЧ: габаритные и присоединительные размеры, разъемы, интерфейсы. Это полезно при моделировании, расчетах, доработках отдельных систем, командной или кооперативной разработке. Состав будущего изделия следует уточнять и корректировать в ходе последующей проработки.

10. Выделить лимитирующие факторы и провести расчеты. Отсутствие расчета – гарантия последующей переделки. В большинстве случаев характеристики и параметры изделия можно представить, как числовые значения, часть из которых неизменные или выступают лимитирующими факторами (например, физические константы, требования ТЗ и т.п.), а часть можно варьировать.

Суть технических расчетов обычно сводится к тому, чтобы на основе математической модели выбрать оптимальные значения варьируемых параметров, соответствующих всем условиям и ограничениям. В этой связи расчет целесообразно вести от известных частей, требования к которым известны. Требования и параметры остальных СЧ будут конкретизироваться при проработке и расчете связанных систем и СЧ. При расчетах и проработке вариантов полезной является автоматизация расчетов в ПО, в том числе – с визуализацией зависимостей отдельных параметров, подбором решений и пр.: Excel, MATLAB (Simulink), Mathcad, Scilab (X-cos), Smath Studio, Maxima, специализированное ПО (в том числе – собственной разработки).

11. Выбрать технические решения, обеспечивающие требования ТЗ. Стоит стараться по возможности использовать готовые и испытанные решения, готовые модули. Следует предпочитать решения, которые могут быть рассчитаны известными методами тем, которые не могут быть легко рассчитаны, либо рассчитываются сложнее (например, стоит предпочесть статически определимый случай статически неопределимому, вариант с аналитическим расчетом предпочесть расчету численными методами и т.д.).

12. При подборе покупных изделий предпочтительно использование справочников и каталогов, а также – информации по монтажу, подключению и расчетам, приведенную в них. Разработчики и производители ПККИ обычно лучше понимают, как их изделия правильно применять.

13. В случае, если придуманы новые решения, высока вероятность, что такие либо существуют, но не были найдены, либо не востребованы из-за недостатков или наличия лучших вариантов.

14. Определить структуру будущего изделия (схема Е1), дополнить их эскизами и схемами, дающими общее представление об изделии, формирующие его облик, построить вид общий (ВО) изделия.

15. Проверить требования ТЗ и их выполнение при текущем облике изделия.

16. Сделать модель (модели) изделия в САПР: 3D-сборка, модель электронного устройства и т.д.;

17. Начать разработку конструкторской документации. При разработке каждого документа – использовать указанные ГОСТы, проверять соответствие документа требованиям ГОСТов. Предпочтительно использование САПР, в которых учитываются требования отечественных ГОСТов.

18. Найти в сети примеры оформления разрабатываемого документа. При наличии образцов документов, которые наверняка соответствуют ГОСТам, использовать их.

19. При выполнении типовых элементов (посадки подшипников, соединения и прочее) использовать справочные материалы с рекомендуемыми требованиями.

20. Проверить комплектность КД, соответствие НД, проставить подписи, сдать на проверку или в производство.

Примечания:

1. Вышеизложенный план является не догмой, а руководством к действию. План может меняться в зависимости от специфики изделия, требований ТЗ, сроков, финансирования, компетенций, участников и прочих факторов.

2. Для сложных изделий процессы обладают свойством вложенности.

3. Разработка любого сколь-нибудь сложного изделия является итеративным процессом. Независимо от того, насколько грамотно проведена инженерная работа, решающее значение имеет количество проведенных итераций.

При подготовке конструкторских документов следует опираться на следующие стандарты:

1. Определение комплектности разрабатываемых документов в зависимости от вида изделия, проверка кодов документов – ГОСТ 2.101 и ГОСТ 2.102.

2. Основные надписи – ГОСТ 2.104.

3. Оформление текстовых документов (ВС, ВД, ВП, ВИ, ДП, ПТ, ЭП, ТП, ВДЭ, ТБ, ПЗ, ПМ, РР, И, Д, ТУ) – ГОСТ 2.105, ГОСТ 2.106 (кроме ТУ).

4. Оформление чертежей (ВО, ГЧ, МЧ, МЭ, СБ, ТЧ, УЧ) – ГОСТ 2.109, в том числе:

- форматы – ГОСТ 2.301;
- масштабы – ГОСТ 2.302;
- линии – ГОСТ 2.303;
- шрифты – ГОСТ 2.304;
- изображения (виды, разрезы, сечения) – ГОСТ 2.305;
- обозначение материалов – ГОСТ 2.306;
- размеры и отклонения – ГОСТ 2.307;
- геометрические допуски – ГОСТ 2.308 (обозначения), ГОСТ Р 53442 (определения);
- шероховатость – ГОСТ 2.309 (обозначения), ГОСТ 2789–73 (параметры);
- покрытия, термообработка – ГОСТ 2.310;

- резьба – ГОСТ 2.311;
- сварные соединения – ГОСТ 2.312;
- неразъемные соединения – ГОСТ 2.313;
- маркирование и клеймление – ГОСТ 2.314;
- упрощенное изображение крепежных деталей – ГОСТ 2.315;
- надписи, технические требования и таблицы – ГОСТ 2.316;
- аксонометрические проекции – ГОСТ 2.317;
- упрощенное обозначение отверстий – ГОСТ 2.318;
- размеры, допуски и посадки конусов – ГОСТ 2.320;
- буквенные обозначения – ГОСТ 2.321.

5. Оформление схем (Э*, Г*, П*, Х*, К*, В*, Л*, Р*, Е*, С*, в том числе – ЭЗ, Э4, Е1, перечни элементов) – ГОСТ 2.701, в том числе:

- электрические схемы (Э*) – ГОСТ 2.702;
- кинематические схемы (К*) – ГОСТ 2.703;
- гидравлические и пневматические схемы (Г*, П*) – ГОСТ 2.704;
- схемы деления (Е*) – ГОСТ Р 2.711;
- буквенно-цифровые обозначения – ГОСТ 2.710.

Примечание. При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов (классификаторов) в информационной системе общего пользования – на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный документ, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого документа с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого документа с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

1. Виды схем

Вид схемы	Определение	Код вида схемы
Схема электрическая	Документ, содержащий в виде условных изображений или обозначений составные части изделия, действующие при помощи электрической энергии, и их взаимосвязи	Э
Схема гидравлическая	Документ, содержащий в виде условных изображений или обозначений составные части изделия, использующие жидкость, и их взаимосвязи	Г
Схема пневматическая	Документ, содержащий в виде условных изображений или обозначений составные части изделия, использующие воздух, и их взаимосвязи	П
Схема газовая (кроме пневматической схемы)	Документ, содержащий в виде условных изображений или обозначений составные части изделия, действующие с использованием газа, и их взаимосвязи	Х
Схема кинематическая	Документ, содержащий в виде условных изображений или обозначений механические составные части и их взаимосвязи	К
Схема вакуумная	Документ, содержащий в виде условных изображений или обозначений составные части изделия, действующие при помощи вакуума либо создающие вакуум, и их взаимосвязи	В
Схема оптическая	Документ, содержащий в виде условных изображений или обозначений оптические составные части изделия по ходу светового луча	Л
Схема энергетическая	Документ, содержащий в виде условных изображений или обозначений составные части энергетических установок и их взаимосвязи	Р
Схема деления	Документ, содержащий в виде условных обозначений состав изделия, входимость составных частей, их назначение и взаимосвязи	Е
Схема комбинированная	Документ, содержащий элементы и взаимосвязи различных видов схем одного типа	С

Виды схем в зависимости от основного назначения подразделяются на типы. Типы схем и их коды представлены в табл. 2.

Таблица 2

Тип схемы	Определение	Код типа схемы
Схема структурная	Документ, определяющий основные функциональные части изделия, их назначение и взаимосвязи	1
Схема функциональная	Документ, разъясняющий процессы, протекающие в отдельных функциональных цепях изделия (установки) или изделия (установки) в целом	2
Схема принципиальная (полная)	Документ, определяющий полный состав элементов и взаимосвязи между ними и, как правило, дающий полное (детальное) представления о принципах работы изделия (установки)	3
Схема соединений (монтажная)	Документ, показывающий соединения составных частей изделия (установки) и определяющий провода, жгуты, кабели или трубопроводы, которыми осуществляются эти соединения, а также места их присоединений и ввода (разъемы, платы, зажимы и т.п.)	4
Схема подключения	Документ, показывающий внешние подключения изделия	5
Схема общая	Документ, определяющий составные части комплекса и соединения их между собой на месте эксплуатации	6
Схема расположения	Документ, определяющий относительное расположение составных частей изделия (установки), а при необходимости, также жгутов (проводов, кабелей), трубопроводов, световодов и т.п.	7
Схема объединенная	Документ, содержащий элементы различных типов схем одного вида	0

Примечание. Наименования типов схем, указанные в скобках, устанавливают для электрических схем энергетических сооружений.

На структурной электрической схеме (ГОСТ 2.702–2011) изображают все основные функциональные части изделия (элементы, устройства и функциональные группы) и основные взаимосвязи между ними.

Функциональные части на схеме изображают в виде прямоугольников или условных графических обозначений (УГО) по ГОСТ 2.721–74, ГОСТ 2.755–87, ГОСТ 2.208–2013.

Графическое построение структурной схемы должно обеспечивать наилучшее представление о последовательности взаимодействия функциональных частей в изделии.

На линиях взаимосвязей рекомендуется стрелками обозначать направление хода процессов, происходящих в изделии.

На схеме должны быть указаны наименования каждой функциональной части изделия, если для ее обозначения применен прямоугольник.

На схеме допускается указывать тип элемента (устройства) и(или) обозначение документа (основного конструкторского документа, стандарта, технических условий), на основании которого этот элемент (устройство) применен.

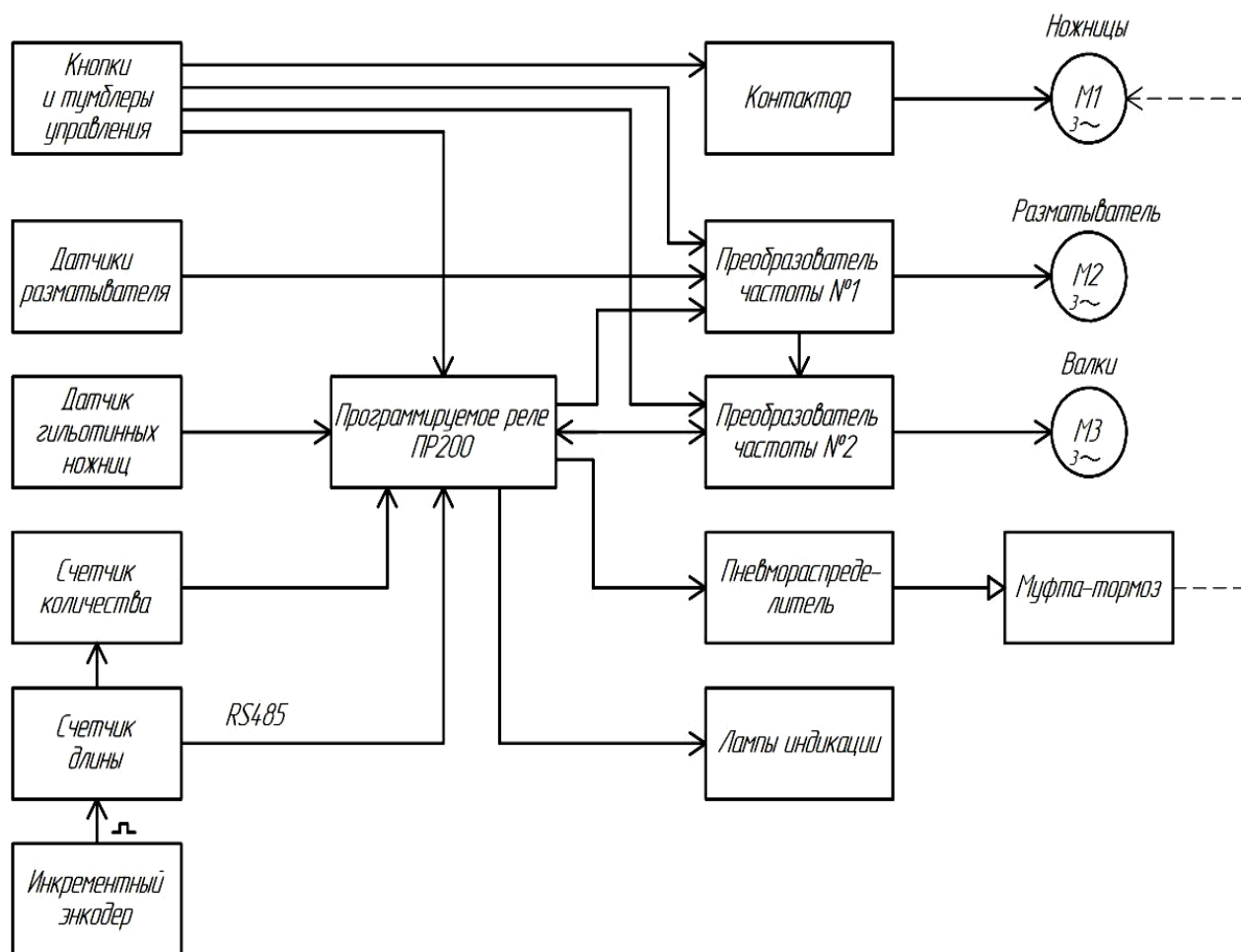


Рис. 2. Пример структурной схемы

При изображении функциональных частей в виде прямоугольников наименования, типы и обозначения рекомендуется вписывать внутрь прямоугольников.

При большом количестве функциональных частей допускается взамен наименований, типов и обозначений проставлять порядковые номера справа от изображения или над ним, как правило, сверху вниз в направлении слева направо. В этом случае наименования, типы и обозначения указывают в таблице, помещаемой на поле схемы.

На принципиальной схеме изображают все электрические элементы или устройства, необходимые для осуществления и контроля в изделии установленных электрических процессов, все электрические взаимосвязи между ними, а также электрические элементы (соединители, зажимы и т.д.), которыми заканчиваются входные и выходные цепи.

На схеме допускается изображать соединительные и монтажные элементы, устанавливаемые в изделии по конструктивным соображениям.

Схемы выполняют для изделий, находящихся в отключенном положении.

В технически 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, УГО которых установлены в стандартах ЕСКД, изображают на схеме в виде этих УГО совмещенным или разнесенным способом.

Каждый элемент и (или) устройство, имеющее самостоятельную принципиальную схему и рассматриваемое как элемент, входящие в изделие и изображенные на схеме, должны иметь обозначение (позиционное обозначение) в соответствии с ГОСТ 2.710–81.

Устройствам, не имеющим самостоятельных принципиальных схем, и функциональным группам рекомендуется присваивать обозначения в соответствии с ГОСТ 2.710–81.

При выполнении схем электрических соединений (монтажных схем) рекомендуется также использовать рекомендации ГОСТ 2.702–2011.

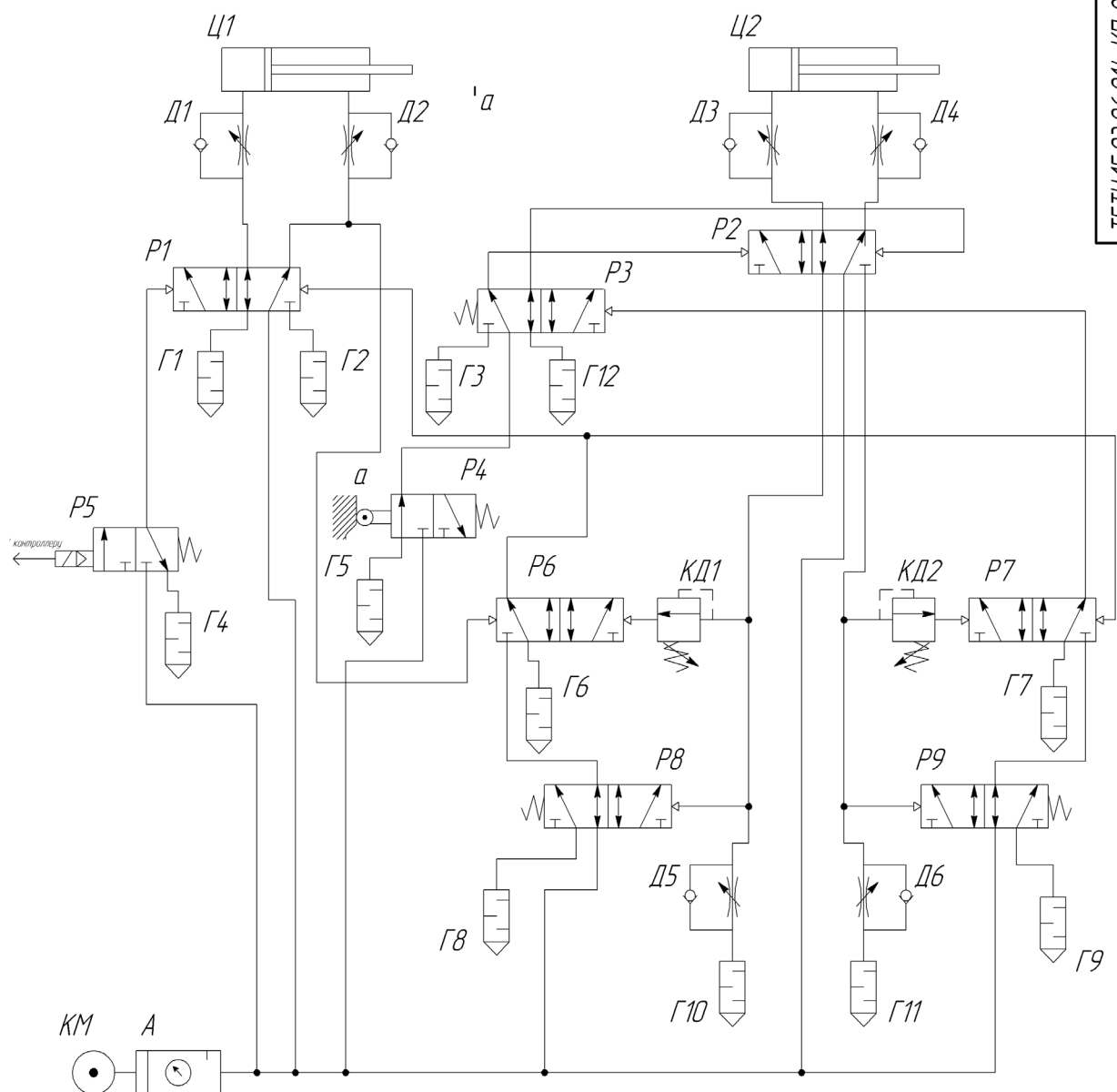


Рис. 4. Фрагмент принципиальной пневматической схемы

РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

Применительно к большинству изделий применяются те или иные требования по надежности. В России существует 27-й класс ГОСТов – система управления надежностью (СУН). В этих ГОСТах описаны термины, определения, документы, связанные с надежностью изделий и прочее. Знакомство с СУН стоит начать с ГОСТ Р 27.001–2009, в котором дана общая информация о СУН и ГОСТ 27.002–2015, в котором дана информация о терминах и определениях, применяемых в СУН.

Надежность любого объекта является комплексным свойством, которое в зависимости от назначения объекта и условий его применения может включать в себя безотказность, ремонтпригодность, восстанавливаемость, долговечность, сохраняемость, готовность или определенные сочетания этих свойств. Каждое из этих свойств может быть выражено различными численными показателями. Например, безотказность может быть выражена вероятностью безотказной работы, средней наработкой на отказ, гамма-процентной наработкой на отказ и пр. Каждый из таких показателей имеет различный смысл. Более подробно они описаны в ГОСТ 27.002–2015.

Показатели описывают надежность объекта и могут быть определены для разрабатываемого объекта двумя способами: расчетным и расчетно-экспериментальным. Испытания объекта на некоторые показатели может быть нецелесообразно или невозможно. Например, если нужно подтвердить, что изделие имеет срок службы 20 лет, то ждать такой срок практически невозможно: столько времени на разработку обычно нет. А для подтверждения, например, средней наработки на отказ, потребуется несколько изделий. Такое требование легко разрешимо с наручными часами, но затруднительно с авианосцами или космическими кораблями. В этой связи часто прибегают к расчетным методам определения значений показателей надежности. Суть таких методов сводится к тому, что объект представляется в виде математической модели его надежности, благодаря чему могут быть вычислены его показатели. В этой математической модели учитываются коэффициенты, и значения, описывающие показатели надежности составных частей объекта, а также учитывается структура объекта (например, резервирование систем).

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 справочной литературе. 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_i – интенсивность отказов данного типа элементов при номинальной электрической нагрузке и нормальных условиях эксплуатации (табл. 3); α_i – коэффициент, учитывающий влияние температуры окружающей среды и электрической нагрузки элемента (табл. 4); для элементов, не указанных в табл. 4, принимается $\alpha_i = 1$; k_1 – коэффициент, учитывающий влияние механических факторов (табл. 5); k_2 – коэффициент, учитывающий влияние климатических факторов (табл. 6); k_3 – коэффициент, учитывающий влияние пониженного атмосферного давления (табл. 7).

Под коэффициентом электрической нагрузки k_n 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;
- потребляемая мощность – для трансформаторов и дросселей.

При этом подразумевается, что остальные параметры, характеризующие режимы эксплуатации элемента, также не превосходят предельно допустимых значений.

3. Характеристики надежности элементов

Вид элемента	Интенсивность отказов $\lambda_o \cdot 10^{-6}, 1/\text{ч}$	Среднее время восстановления $\tau_{vi}, \text{ч}$
Интегральные микросхемы	0,5	1,2
Транзисторы	0,5	0,5
Диоды и стабилитроны	0,2	0,5
Диодные сборки	0,6	0,8
Оптроны	0,5	0,6
Светодиоды	0,5	0,5
Фотодиоды	0,1	0,5
Фоторезисторы	0,5	0,5
Конденсаторы:		
оксидно-электролитические алюминиевые	0,5	0,5
прочие	0,07	0,5
Резисторы постоянные	0,02	0,5
Резисторы переменные	0,25	0,8
Реле*	0,25	1,5
Контакты*	0,25	1
Переключатели*	0,05	0,8
Электрические соединители*	0,2	1,7
Трансформаторы:		
силовые	1	1,8
импульсные	0,2	1,5
дроссели	0,25	1
электродвигатели малой мощности	5	3
Двигатели шаговые	3	3
Провода монтажные на 1 м длины	0,01	0,5
Вставки плавкие	0,1	0,05
Соединения пайкой	0,01	0,1

Примечания:

1. * – интенсивность отказов приведена в расчете на одну контактную группу.
2. В расчете предпочтительно использовать значения λ_o для конкретных типов применяемых элементов (при наличии такой информации).

4. Значение коэффициентов a_i

Наименование элемента	Температура, °C	Значение коэффициентов a_i при коэффициенте электрической нагрузки элементов k_n						
		0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
Микросхемы	20	0,35	0,40	0,45	0,52	0,59	0,67	0,77
	30	0,48	0,55	0,62	0,71	0,81	0,93	1,06
	40	0,66	0,76	0,86	0,98	1,12	1,28	1,46
	50	0,91	1,05	1,19	1,36	1,55	1,77	2,02
	60	1,26	1,45	1,64	1,87	2,13	2,43	2,78
Транзисторы	20	0,16	0,18	0,20	0,35	0,43	0,52	0,63
	30	0,16	0,19	0,22	0,37	0,46	0,55	0,67
	40	0,17	0,20	0,23	0,40	0,51	0,59	0,72
	50	0,18	0,21	0,24	0,45	0,55	0,65	0,78
	60	0,19	0,22	0,26	0,50	0,61	0,71	0,85
Диоды, стабилитроны, диодные сборки, светодиоды	20	0,77	0,78	0,79	0,81	0,83	0,85	0,88
	30	0,85	0,85	0,86	0,88	0,90	0,92	0,97
	40	0,92	0,92	0,94	0,97	1,00	1,04	1,08
	50	0,98	1,00	1,02	1,05	1,09	1,13	1,19
	60	1,04	1,08	1,11	1,16	1,22	1,30	1,39

Наименование элемента	Температура, °C	Значение коэффициентов a_i при коэффициенте электрической нагрузки элементов k_n						
		0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
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	170
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

5. Значение 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

6. Значение 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

7. Значение 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. 8)

8. Оформление результатов вычислений

Тип элемента	Число элементов	Коэффициент нагрузки	$\lambda_{oi} \cdot 10^6$, 1/ч	a_1	$\lambda_{oi} a_i \cdot 10^6$, 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, 4 000, 8000, 16 000 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

$$T_B = \frac{1}{\Lambda} \sum_{i=1}^n (\tau_0 + \tau_{Bi}) \lambda_i m_i,$$

где τ_0 – время ожидания ремонта, выбираемое исходя из условий эксплуатации устройства, τ_{Bi} – среднее время восстановления для i -го типа элементов.

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

$$K_{\Gamma} = \frac{T}{T + T_B + \tau_{OB}}.$$

где τ_{OB} – среднее время обнаружения отказа после его возникновения.

При непрерывном контроле работоспособности устройства $\tau_{OB} = 0$, при периодическом контроле – $\tau_{OB} > 0$.

Расчет надежности ПО. Термин «модель надежности» программного обеспечения, как правило, относится к математической модели, построенной для оценки зависимости надежности программного обеспечения от некоторых определенных параметров. Значения таких параметров либо предполагаются известными, либо могут быть измерены в ходе наблюдений или экспериментального исследования процесса функционирования программного обеспечения. Данный термин может быть использован также применительно к математической зависимости между определенными параметрами, которые хотя и имеют отношение к оценке надежности программного обеспечения, но, тем не менее, не содержат ее характеристик в явном виде. Например, поведение некоторой ветви программы на подмножестве наборов входных данных, с помощью которых эта ветвь контролируется, существенным образом связано с надежностью программы, однако характеристики этого поведения могут быть

оценены независимо от оценки самой надежности. Другим таким параметром является частота ошибок, которая позволяет оценить именно качество систем реального времени, функционирующих в непрерывном режиме, и в то же время получать только косвенную информацию относительно надежности программного обеспечения (например, в предположении экспоненциального распределения времени между отказами).

Одним из видов модели надежности программного обеспечения, которая заслуживает особого внимания, является так называемая феноменологическая, или эмпирическая, модель. При разработке моделей такого типа предполагается, что связь между надежностью и другими параметрами является статической. С помощью подобного подхода пытаются количественно оценить те характеристики программного обеспечения, которые свидетельствуют либо о высокой, либо о низкой его надежности. Так, например, параметр «сложность программы» характеризует степень уменьшения уровня ее надежности, поскольку усложнение программы всегда приводит к нежелательным последствиям, в том числе к неизбежным ошибкам программистов при составлении программ и трудности их обнаружения и устранения. Иначе говоря, при разработке феноменологической модели надежности программного обеспечения стремятся иметь дело с такими параметрами, соответствующее изменение (улучшение) значений которых должно приводить к повышению надежности программного обеспечения.

Модели надежности программных средств (МНПС) подразделяются на аналитические и эмпирические. Аналитические модели дают возможность рассчитать количественные показатели надежности, основываясь на данных о поведении программы в процессе тестирования (измеряющие и оценивающие модели). Эмпирические модели базируются на анализе структурных особенностей программ. Они рассматривают зависимость показателей надежности от числа межмодульных связей, количества циклов в модулях, отношения количества прямолинейных участков программы к количеству точек ветвления и т.д. Часто эмпирические модели не дают конечных результатов показателей надежности, однако они включены в классификационную схему, так как развитие этих моделей позволяет выявлять взаимосвязь между сложностью ПС и его надежностью. Эти модели можно использовать на этапе проектирования ПС, когда осуществлена разбивка на модули и известна его структура.

Аналитические модели представлены двумя группами: динамические модели и статические. В динамических МНПС поведение ПС (появление отказов) рассматривается во времени. В статических моделях появление отказов

не связывают со временем, а учитывают только зависимость количества ошибок от числа тестовых прогонов (по области ошибок) или зависимость количества ошибок от характеристики входных данных (по области данных).

Для использования динамических моделей необходимо иметь данные о появлении отказов во времени. Если фиксируются интервалы каждого отказа, то получается непрерывная картина появления отказов во времени (группа динамических моделей с непрерывным временем). Может фиксироваться только число отказов за произвольный интервал времени. В этом случае поведение ПС может быть представлено только в дискретных точках (группа динамических моделей с дискретным временем). Рассмотрим основные аналитические модели надежности ПС.

Аналитическое моделирование надежности ПС включает четыре шага:

- 1) определение предположений, связанных с процедурой тестирования ПС;
- 2) разработка или выбор аналитической модели, базирующейся на предположениях о процедуре тестирования;
- 3) выбор параметров моделей с использованием полученных данных;
- 4) применение модели – расчет количественных показателей надежности по модели.

При расчете надежности ПО рекомендуется использовать методические указания П. В. Балабанова, С. В. Пономарева. Разработка и стандартизация программных средств и информационных технологий, 2006 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Курсовой проект для студентов, обучающихся по направлению «Мехатроника и робототехника», имеет особое значение. Во-первых, в процессе работы над проектом студент получает практические навыки, необходимые в будущем для решения сложных инженерных задач, связанных с разработкой и внедрением мехатронных систем и роботов. Во-вторых, в процессе выполнения поставленных в проекте задач, студент имеет возможность интегрировать знания, полученные при освоении различных дисциплин, применяя их для разработки комплексных систем.

Курсовое проектирование предоставляет студентам возможность пройти через все этапы инженерного цикла: от постановки задачи до реализации готового продукта. Это включает в себя разработку концептуального дизайна, моделирование, выбор компонентов, программирование контроллеров и тестирование системы. Такой опыт незаменим при подготовке к реальным проектам после окончания университета.

Как уже упоминалось ранее, курсовое проектирование является важной ступенью на пути к выполнению выпускной квалификационной работы (ВКР). Опыт, полученный в ходе курсового проекта, поможет студенту быстрее и эффективнее справиться с задачами ВКР, которая обычно представляет собой более масштабный и сложный проект.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Лукинов, А. П. Проектирование мехатронных и робототехнических устройств [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. П. Лукинов. – СПб. : Лань, 2012. – 608 с. – URL : <https://e.lanbook.com/book/2765>
2. Валиуллина, В. А. Разработка функциональных схем автоматизации технологических процессов [Электронный ресурс] : учебное пособие / В. А. Валиуллина, В. А. Садофьев. – Казань : Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2013. – 83 с. – URL : <http://www.iprbookshop.ru/62005.html>
3. Климов, А. С. Роботизированные технологические комплексы и автоматические линии в сварке [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. С. Климов, Н. Е. Машнин. – СПб. : Лань, 2017. – 236 с. – URL : <https://e.lanbook.com/book/93001>
4. Разработка элементов проекта автоматизации контроля и управления параметрами технологических процессов: методические указания по выполнению курсового проекта / сост. : А. А. Чуриков, Г. В. Шишкина. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. – 56 с. – URL : <http://www.tstu.ru/book/elib/pdf/2008/churikov-s.pdf>
5. Чуриков, А. А. Проектирование систем автоматизации технологических процессов : методические указания / А. А. Чуриков, Г. В. Шишкина, Л. Л. Антонова. – Тамбов : ТГТУ, 2005. – 40 с. – URL : <http://www.tstu.ru/book/elib/pdf/2005/anton2.pdf>
6. Шандров, Б. В. Технические средства автоматизации : учебник для вузов / Б. В. Шандров, А. Д. Чудаков. – М. : Машиностроение, 2007. – 368 с.
7. Хорольский, В. Я. Эксплуатация электрооборудования [Электронный ресурс] : учебник / В. Я. Хорольский, М. А. Таранов, В. Н. Шемякин. – СПб. : Лань, 2017. – 268 с. – URL : <https://e.lanbook.com/book/92958>
8. Ляндау, Ю. В. Бизнес-архитектор Ч. I. Проектирование систем управления [Электронный ресурс] : монография / Ю. В. Ляндау. – М. : Русайнс, 2015. – 111 с. – URL : <http://www.iprbookshop.ru/61594.html>

Учебное электронное издание

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ В МЕХАТРОНИКЕ И РОБОТОТЕХНИКЕ

Методические указания

Составители:

ДИВИН Александр Георгиевич
БАЛАБАНОВ Павел Владимирович

Редактирование Е. С. Мордасовой
Графический и мультимедийный дизайнер Н. И. Кужильная
Обложка, упаковка, тиражирование Е. С. Мордасовой

Подписано к использованию 02.06.2025.

Тираж 50 шт. Заказ № 71

Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»
392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, к. 14.
Тел./факс (4752) 63-81-08.
E-mail: izdatelstvo@tstu.ru