



**Кафедра конструирования
и производства радиоаппаратуры**

В.П.Алексеев, Д.В.Озёркин

**СИСТЕМНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИНЖЕНЕРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ
РЭС В ДИПЛОМИРОВАНИИ**

Учебное пособие
для студентов специальностей 210201 – «Проектирование и
технология радиоэлектронных средств» и 160905 – «Техническая
эксплуатация транспортного радиооборудования»



ТОМСК 2012

Министерство образования и науки Российской Федерации

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой КИПР
В.Н. ТАТАРИНОВ
_____ “ ____ ” _____ 20__ г.

В.П.Алексеев, Д.В.Озёркин

**СИСТЕМНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИНЖЕНЕРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ
РЭС В ДИПЛОМИРОВАНИИ**

Учебное пособие
для студентов специальностей 210201 – «Проектирование и
технология радиоэлектронных средств» и 160905 – «Техническая
эксплуатация транспортного радиооборудования»

Рецензент: профессор, д.ф.-м.н. Кузнецов Г.В.

Технический редактор: доцент кафедры КИПР ТУСУР, к.т.н. Озёркин Д.В.

Алексеев В.П., Озёркин Д.В.

Системная технология инженерного проектирования РЭС в дипломировании. Учебное пособие для студентов специальностей 210201 – «Проектирование и технология радиоэлектронных средств» и 160905 – «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования».

Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012. – 97 с.

Данное пособие предназначено для студентов специальностей 210201 – «Проектирование и технология радиоэлектронных средств» и 160905 – «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования».

В процессе подготовки пособия использованы монографии, учебники, учебные пособия и дидактические материалы, опубликованные ранее в российских изданиях. Основой для пособия послужил опыт преподавания курса «Системный анализ и методы научно-технического творчества» (СА и МНТТ) на радиоконструкторском факультете ТУСУР в период с 2001 г. по настоящее время, в том числе в рамках программы группового проектного обучения для студентов-радиоконструкторов-технологов. Пособие является методическим документом для проведения учебно-лабораторного практикума по курсам СА и МНТТ и спецкурсу выпускающей кафедры по обеим специальностям.

© Алексеев В.П., Озёркин Д.В. 2012

© Кафедра КИПР Томского
государственного университета систем
управления и радиоэлектроники, 2012

СОДЕРЖАНИЕ

1 ВВЕДЕНИЕ.....	5
2 ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ИНЖЕНЕРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЭС. ПРИМЕРНОЕ СОДЕРЖАНИЕ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА ПО КОНКРЕТНОЙ ПРОБЛЕМЕ ИНЖЕНЕРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ... 8	8
2.1 Фиксация проблемы	8
2.1.1 Определение потребности в разрабатываемом изделии.....	8
2.1.2 Анализ состояния рынка	9
2.1.3 Прогнозирование объемов производства	9
2.1.4 Поиск аналогов и прототипа.....	10
2.1.5 Критика прототипа и формулировка проблемы	10
2.2 Участники проблемной ситуации и анализ их интересов	11
2.2.1 Список участников проблемной ситуации.....	11
2.2.2 Анализ адекватности требований заказчика. Определение источников финансирования.....	12
2.2.3 Анализ возможностей разработчика.....	12
2.2.4 Анализ возможностей изготовителя	14
2.2.5 Анализ возможностей потребителя	14
2.2.6 Анализ возможностей службы сбыта и сервиса	14
2.2.7 Анализ возможностей службы утилизации	15
2.2.8 Анализ интересов прошлого поколения.....	15
2.2.9 Анализ возможных последствий решения проблемы проектирования изделия на экологическую ситуацию.....	15
2.2.10 Анализ последствий решения проблемы проектирования на интересы будущего поколения.....	15
2.3 Формирование проблемного массива	16
2.3.8 Матрица проблемного массива	16
2.3.9 Анализ противоречий и поиск компромиссов.....	17
2.4 Формирование конфигуратора	17
2.5 Целевыявление	19
2.5.1 Формирование массива критериев и показателей решения проблемы.....	19
2.5.2 Формирование дерева целей.....	36
2.5.3 Составление технического задания на проектирование изделия .	37
2.6 Исследование проблемы проектирования и путей ее решения.....	37
2.7 Генерация идеи решения проблемы проектирования.....	38
2.7.1 Анализ возможных вариантов решения проблемы проектирования	38
2.7.2 Описание альтернативного варианта.....	45
3 ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	47
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА.....	48

ПРИЛОЖЕНИЕ 1 - МЕТОДИЧЕСКИЙ ПРИМЕР ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРИКЛАДНОГО СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ РЭС	50
ПРИЛОЖЕНИЕ 2 - ПРИМЕР ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ НОВОГО ИЗДЕЛИЯ В РАМКАХ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА КОНСТРУКТОРСКОГО ПРОФИЛЯ.....	92
ПРИЛОЖЕНИЕ 3 - ПРИМЕР ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ НА БАКАЛАВРСКУЮ ДИПЛОМНУЮ РАБОТУ	97

1 ВВЕДЕНИЕ

Ставя перед собой задачу наиболее полного учета факторов, влияющих на процесс проектирования радиоэлектронных средств, инженеры-конструкторы неизбежно приходят к необходимости иметь дело со сложными комплексными явлениями, относящимися к принципам функционирования, производства и эксплуатации синтезируемых систем. Это предполагает необходимость совместного изучения различных физических явлений с учетом социальных и природных процессов для создания конструкций с оптимальными потребительскими свойствами.

Сложность системы определяется количеством входящих в нее элементов, количеством и характером связей между этими элементами, взаимоотношениями между системой и внешней средой.

При изучении сложных, взаимосвязанных друг с другом проблем используется *системный анализ*, получивший широкое применение в различных сферах научной деятельности человека, и в частности, в логике, математике, общей теории систем, в результате чего сформировались такие науки, как металогика и метаматематика. Металогика исследует системы положений и понятий формальной логики, разрабатывает вопросы теории доказательств, определмости понятий, истины в формализованных языках. Метаматематика занимается изучением различных свойств формальных систем и исчислений.

Так как системный анализ носит общий, междисциплинарный характер, т.е. касается образования, развития, функционирования, синтеза любых систем, то некоторые идеологи считают, что системный анализ заменяет философию, является новой всеобщей методологией науки. Такое восприятие системного анализа неверно, так как сводит функцию философского знания лишь к методологии научного исследования. Во всех науках существуют философские основания, используются философские категории, но это не повод принятия основания теории за саму теорию. Системный анализ, с одной стороны, позволяет применять ряд общеполософских положений к решению частных задач, а с другой – обогащает саму философию развитием конкретных наук. Чем дальше развивается системный анализ, тем совершеннее развивается его язык, тем он дальше удаляется от своей первоначальной философской основы. Таким образом, отождествление системного анализа с диалектическим методом, с философией неправомерно и может привести к мировоззренческим и методологическим ошибкам.

Системный анализ используется для исследования таких сложных систем, как экономика отдельной отрасли, промышленного предприятия, объединения. Наиболее важным является применение системного анализа в проектировании радиоэлектронных средств (РЭС), поскольку он позволяет создавать оптимальные конструкции новых изделий. Процесс анализа

является неотъемлемой частью алгоритма проектирования, эксплуатации или исследования систем любого типа и любого уровня.

Отметим *основные идеи*, характерные для системного анализа:

- исследователя и проектировщика с позиции системного анализа, прежде всего, интересует описание места и роли каждого элемента в системе в целом;

- системный анализ, как правило, выделяет наличие различных уровней системного технического объекта (ТО) и их соподчиненность. Это вызывает необходимость описания взаимосвязи между ними. Наиболее часто встречающаяся форма реализации взаимосвязи – это управление процессом проектирования, производства и эксплуатации, а в ряде случаев и утилизации использованных ТО. Поэтому проблема управления возникает практически в любом системном исследовании.

Заметим, что в промышленно развитых странах системный аналитик является основным специалистом в создании новых поколений технических систем (ТС).

Системный анализ в процессе проектирования ТО складывается из основных четырех этапов:

1. Постановка задачи.
2. Структуризация изучаемой системы.
3. Моделирование изучаемой системы.
4. Анализ результатов моделирования.

В каждом конкретном случае, при проектировании какого-либо класса ТО приведенная последовательность системного анализа может быть дополнена или несколько видоизменена. В частности, при проектировании такого класса ТО, как радиоэлектронная аппаратура применяется системная технология инженерного проектирования РЭС, разработанная авторами пособия и применяемая ими в учебном процессе [1]. В отличие от классического системного анализа системная технология инженерного проектирования предполагает не только анализ результатов исследования, но и генерацию новых технических решений (синтетический этап).

Из истории техники известно, что очень часто ученые и изобретатели для создания нового использовали малопродуктивный метод «проб и ошибок». Бессистемно перебирая большое количество возможных (мыслимых) вариантов, они находили (иногда!) нужное решение. Метод «проб и ошибок» достаточно убедительно отвергал Ф.Бэкон и его последователи. На рубеже XIX – XX веков было разработано около ста различных, более эффективных методов и методик активизации творческих способностей.

История человечества показывает, что в целом период реализации творческих идей имеет ярко выраженную тенденцию к сокращению. Действительно, если от печатных досок до изобретения книгопечатания (1440 г.) прошло «лишь» шесть веков и затем до создания печатной машинки четыре века, то, например, транзистор, изобретенный в 1948 г., был

реализован в 1953 г. В эпоху современной научно-технической революции потребность в новых технических решениях высокого уровня существенно возросла и продолжает увеличиваться, что постоянно повышает требования к производительности, эффективности и качеству творческого труда.

Рассмотренная в данном учебном пособии системная технология апробирована в учебном процессе кафедры «Конструирования и производства радиоаппаратуры» ТУСУРа в рамках курсового и дипломного проектирования и показала высокую эффективность.

Указанную технологию авторы данного пособия постарались применить к задачам дипломирования. Авторы благодарны старшему преподавателю кафедры КИПР Кондакову А.К. за конкретные методические материалы, предоставленные в ходе написания пособия.

2 ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ИНЖЕНЕРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЭС. ПРИМЕРНОЕ СОДЕРЖАНИЕ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА ПО КОНКРЕТНОЙ ПРОБЛЕМЕ ИНЖЕНЕРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

2.1 Фиксация проблемы

Фиксация проблемы начинается с точного названия объекта проектирования и описания недостатков существующего прототипа или аналогов. Заметим, что фиксация проблемы является лишь отправной точкой для отыскания недостающей информации по объекту проектирования, а вовсе не окончательной формулировкой проблемы, которая в полной мере будет выполнена на последующих этапах системного исследования.

При обосновании проблемы необходимо рассмотреть потребность в проектируемом объекте. Потребность определяется следующими факторами:

- наличием серийно выпускаемого объекта, выполняющего рассматриваемую в данной проблеме функцию;
- наличием недостатков этого объекта;
- возможными направлениями устранения этих недостатков;
- технической и технологической возможностью выхода из рассматриваемой проблемной ситуации.

Анализ потребности необходимо проводить на основе детального информационного исследования и с учетом опыта эксплуатации прототипа объекта проектирования.

2.1.1 Определение потребности в разрабатываемом изделии

Для того, чтобы определить потребность в разрабатываемом изделии, необходимо выявить, насколько существующие изделия, находящиеся на потребительском рынке, удовлетворяют спрос. При этом учитываются такие факторы как мода, тенденции развития данного класса изделий и их надежность. Например, если рассматривать такую бурно развивающуюся отрасль техники, как сотовая телефонная связь, то нужно учитывать факторы: покупательская способность, развитие сопутствующих мультимедийных технологий и т.д. В общем случае потребность определяется многими факторами, а, именно: прогнозируемым возрастом потребителя, его возможностями, рекламой, политикой развития общества, сроками морального старения изделий.

Потребность определяет функцию вновь проектируемого изделия, а функция, в свою очередь, определяет физический принцип действия и его конструктивно-функциональную структуру [1].

Для того, чтобы правильно определить потребность, необходимо провести всесторонний анализ рынка и спроса проектируемого класса изделий. Иногда основой для определения потребности являются нормативные документы, определяющие развитие определенной отрасли техники, подкрепленные соответствующими постановлениями и законами. Иногда потребность определяется острым дефицитом изделия в обществе. Например, охранные системы стали интенсивно развиваться в период бурного прогрессирования криминала. Анализ потребности должен заканчиваться либо результатами анкетирования определенных групп населения, либо ссылкой на соответствующие нормативные документы, в соответствии с которыми финансируется разработка данного изделия.

2.1.2 Анализ состояния рынка

Анализ состояния рынка проводится на основе определения объема продаж и запросов на разрабатываемое изделие. Основой для указанного анализа может служить матрица потребности и реализации (см. таблицу 2.1).

Таблица 2.1 – Матрица потребности и реализации изделия

Регион	Объем продаж, шт.	Объем запросов, шт.	Дефицит/профицит, шт.
...
...

При анализе указанной матрицы необходимо выявить причины дефицита или профицита в изделии. Иногда дефицит является следствием нерасторопности служб рынка сбыта или маркетинга, иногда – следствием неграмотной рекламной политики. В любом случае, при анализе состояния рынка не следует делать скоропалительных выводов о необходимости разработки нового изделия.

2.1.3 Прогнозирование объемов производства

На этом этапе необходимо определить тип производства разрабатываемого изделия. Как известно [13], существуют следующие типы производства:

- единичное (до 10 штук в год);
- мелкосерийное (до 100 штук в год);
- серийное (до 1000 штук в год);
- крупносерийное (до 10000 штук в год);
- массовое (свыше 10000 штук в год).

Тип производства определяет требования к схеме и конструкции разрабатываемого изделия. Кроме того, на данном этапе производится выбор изготовителя. Как правило, прибыль в производстве может приносить только производство серийных, крупносерийных и массовых изделий. Исключения составляют уникальные изделия, которые по своим техническим параметрам значительно опережают время. Иногда объем производства определяется географическим положением изготовителя и потребителя.

В заключение по данному этапу дается обоснование типа производства.

2.1.4 Поиск аналогов и прототипа

Аналог технического изделия – это серийно выпускаемый и имеющийся в продаже, или поставляемый потребителю технический объект, выполняющий функцию, обеспечивающую выявленную потребность. Аналогов может быть много, но самый близкий к потребности объект является прототипом. Распространенной ошибкой студентов и начинающих конструкторов является утверждение о том, что разрабатываемый ими объект не имеет аналогов. История развития техники в XX...XXI веках показывает, что такое утверждение, как правило, объясняется отсутствием информации или недостаточной глубиной поиска у разработчика.

В данном разделе необходимо привести сведения обо всех найденных аналогах с отражением их схемных и конструктивных особенностей. Желательно привести изображение их внешнего вида и таблицу технических характеристик.

Аналоги могут иметь различные принципы действия и совсем необязательно относиться к радиоэлектронике. Например, та же охранная система может содержать невзламываемый замок или наличие человека-оператора, предотвращающего несанкционированное проникновение.

Прототип – это один из аналогов, который лучше всего решает поставленную проблему. Выбор прототипа – задача комплексная. Иногда правильно выбранный прототип может отменить все дальнейшее проектирование нового изделия. В любом случае уже выпускаемый прототип экономически более целесообразен, чем разработка и внедрение в производство нового объекта. Новое изделие всегда требует для обеспечения его надежности и долговечности дополнительных затрат.

В итоге по данному этапу необходимо привести детальное описание прототипа и обосновать необходимость дальнейшей разработки. В случае, если прототип полностью устраивает заказчика, проектирование изделия следует прекратить и оформить заказ на приобретение прототипа.

2.1.5 Критика прототипа и формулировка проблемы

Имея в наличие прототип, необходимо тщательно проанализировать его недостатки с точки зрения потребности и анализа состояния рынка. Результаты сводятся в таблицу недостатков прототипа (таблица 2.2).

Анализ таблицы 2.2 должен содержать заключение о том, что является наиболее существенным недостатком выбранного прототипа. К существенным схемным недостаткам относятся: старая элементная база; высокое энергопотребление; большое количество элементов, требующих подстройки, подбора и т.п. Основные конструктивные недостатки – это высокие массогабаритные показатели, недостаточная надежность, устаревший внешний вид. К технологическим недостаткам относятся: высокие трудоемкость и себестоимость изготовления; низкий уровень выхода годных изделий в производстве.

Таблица 2.2 – Таблица недостатков прототипа

Технические характеристики	Схемные недостатки	Конструктивные недостатки	Технологические недостатки
...
...

В разделе «Технические характеристики» указываются параметры прототипа, которые были приведены при его описании и которые обеспечены схемными, конструктивными или технологическими способами.

Из указанных недостатков необходимо выбрать главный, а оставшиеся – сделать ограничениями. Формулировка проблема должна состоять из одного предложения типа: «Проблема проектирования состоит в том, чтобы создать устройство или прибор, отличающийся от прототипа ...*(далее указывается отличие проектируемого устройства)*... при сохранении или улучшении *(указывается, каких)* ... параметров».

2.2 Участники проблемной ситуации и анализ их интересов

2.2.1 Список участников проблемной ситуации

Для того, чтобы спроектировать технический объект, не породив новых проблем, необходимо выявить всех участников проблемной ситуации. Например, в проблеме создания некоторого радиотехнического устройства, предназначенного для массового потребителя, в число участников проблемной ситуации входит не только потребитель, но и производитель, продавец, сервисные службы, окружающая среда, будущее поколение. При составлении списка участников проблемной ситуации следует исходить из того, что неучет всех участников может не обеспечить ее преодоление, а

включение в список несущественных (не определяющих проблему) участников затруднит системное исследование.

В общем случае, в число участников проблемной ситуации могут входить:

- заказчик;
- разработчики (системотехники, схемотехники, конструкторы);
- изготовители;
- специалисты по маркетингу и торговой реализации объекта проектирования;
- финансисты (спонсоры);
- специалисты по эксплуатации;
- потребители;
- специалисты по утилизации объекта проектирования после достижения срока службы;
- безмолвные участники (прошлое поколение, будущее поколение, окружающая среда).

2.2.2 Анализ адекватности требований заказчика. Определение источников финансирования

При анализе требований заказчика необходимо учесть насколько его требования соответствуют современному состоянию развития науки и техники. Заказчик всегда старается заложить высокие требования к проектируемому изделию. Разработчик же может обеспечить только то, чего он достиг. Взаимодействие заказчика с разработчиком – это определенный компромисс, и от этого компромисса зависит судьба будущей разработки. На данном этапе требуется проанализировать мировой уровень достижений в области проектируемого технического объекта и сделать заключение о возможности обеспечения требований заказчика. Заказчик в частном случае может быть финансистом разработки, в отдельных случаях ему придется прибегнуть к кредитованию или к спонсорским средствам. Указанное обстоятельство является весьма важным, поскольку от него часто зависит успех разработки.

В случае, если заказчик не является кредитоспособным, необходимо установить источники финансирования.

2.2.3 Анализ возможностей разработчика

К возможностям разработчика относятся: традиции в области проектирования данного класса изделия; наличие сертифицированных программных продуктов, используемых в проектировании; квалификация персонала; лабораторная и экспериментальная база; признание мировой

общественности. Сюда же следует отнести наличие сложившихся связей с партнерами, поставщиками, дилерами.

2.2.4 Анализ возможностей изготовителя

Изготовитель, прежде всего, характеризуется уровнем технологии и культуры производства. Иногда самое лучшее изделие, спроектированное разработчиком, может быть «загублено» из-за низкого технологического уровня изготовителя. К современным возможностям изготовителя можно отнести уровень механизации, автоматизации и роботизации производства. Высшим уровнем изготовителя считается гибкое автоматизированное производство (ГАП), позволяющее производить в условиях серийного производства изделия, обеспечивающие индивидуальные потребности клиента.

2.2.5 Анализ возможностей потребителя

Для современного потребителя характерны чувство моды, индивидуальности, обеспечение потребности и, в какой-то степени, капризность. В любом случае необходимо рассчитывать на квалифицированного или неквалифицированного потребителя. В случае неквалифицированного потребителя необходимо обеспечить, так называемую, «защиту от дурака». Кроме того, потребитель всегда рассчитывает на то, что он получит изделие, не способное причинить ему вред. Потребитель всегда хочет получить надежный прибор, но иногда он ему может быстро надоест. Определить оптимальное соотношение срока службы прибора и его стоимости – «высший пилотаж» системного аналитика. На современном потребительском рынке часто можно встретить изделия, у которых в конструкцию заведомо заложен принцип «низкая стоимость при низкой долговечности».

2.2.6 Анализ возможностей службы сбыта и сервиса

Сбыт и сервис зависят от развития сети рекламы, маркетинга и от уровня обслуживания потребителей изделий. Лучшим случаем в анализируемой ситуации является наличие фирменной сети магазинов и предприятий сервиса. При отсутствии данной сети потребитель сталкивается с так называемой индивидуальной системой сбыта продукции, в которой до него доходят приборы, многократно перекупленные, за которые продавец заведомо не несет ответственности. Если Вы не хотите столкнуться с такой ситуацией, необходимо заранее подумать о создании системы реализации и обслуживания проектируемого Вами изделия.

2.2.7 Анализ возможностей службы утилизации

Утилизация является одной из главных проблем современного постиндустриального общества. Если при проектировании новых изделий не будут учтены вопросы утилизации изделий, исчерпавших свой срок службы, обществу будут нанесены необратимый экологический и экономический ущерб. Необходимо подумать над тем, как утилизируемое изделие может найти «новую жизнь». Утилизация отработанной продукции может обеспечить доход или ущерб. Все зависит от конструкции и технологии производства изделия.

2.2.8 Анализ интересов прошлого поколения

Интересы прошлого поколения, прежде всего, отражаются в культуре проектирования, производства, потребления, утилизации вновь созданных изделий. Если мы приобретаем новый прибор и узнаем о том, что в нем отражены интересы и наработки предыдущих поколений специалистов, мы в полной мере наслаждаемся этим изделием. Поэтому при создании новых поколений приборов необходимо не только учесть все существующие достижения, но и в чем-то продвинуться вперед. В этом случае изделие, как объект инженерного творчества, будет развиваться и удовлетворять возрастающие потребности. На данном этапе необходимо изучить тенденции развития проектируемого изделия с учетом идей, заложенных предыдущими разработчиками, и хотя бы чуть-чуть улучшить его потребительские свойства.

2.2.9 Анализ возможных последствий решения проблемы проектирования изделия на экологическую ситуацию

При проектировании нового изделия необходимо учесть, какие последствия могут быть при изготовлении, эксплуатации, утилизации. Указанный анализ удобно свести в таблицу 2.3.

2.2.10 Анализ последствий решения проблемы проектирования на интересы будущего поколения

Классики говорят, что если в прошлое поколение выстрелить из пистолета, то будущее поколение «грохнет» в вас из пушки. На данном этапе необходимо проанализировать последствия потребления спроектированного изделия, по крайней мере, на 5...10 лет вперед. Анализ должен распространиться на сферу производства, потребления и утилизацию. Указанный анализ можно провести с помощью метода экспертных оценок

или прогнозирования. В любом случае, разработчик должен оставить о себе представительское мнение.

Таблица 2.3 – Возможные последствия при изготовлении, эксплуатации, утилизации изделий

Стадии жизненного цикла изделия	Экологические факторы			
	Название 1	Название 2	...	Название <i>m</i>
Изготовление	1. 2. ... <i>i</i> ... <i>n</i>			
Эксплуатация	1. 2. ... <i>i</i> ... <i>n</i>			
Утилизация	1. 2. ... <i>i</i> ... <i>n</i>			

2.3 Формирование проблемного массива

2.3.8 Матрица проблемного массива

Имея список участников проблемной ситуации, необходимо заняться их проблематикой, то есть изучением проблем каждого участника в общей проблеме создания технического объекта. Проблемный массив – это список участников проблемной ситуации с указанием проблем каждого участника. Для систематизации информации, полученной на этом этапе системного исследования, рекомендуется составить таблицу по следующей форме (таблица 2.4), которая отражает содержание проблемного массива.

Таблица 2.4 – Матрица проблемного массива

Участники проблемной ситуации	Проблемы участников
1. ...	1.1 ... 1.2 ...
2. ...	2.1 ... 2.2 ...

Выявление проблем участников может быть проведено экспертным методом. После заполнения матрицы необходимо ранжировать проблемы участников по степени их важности. При этом определяются главные проблемы каждого участника при решении общей проблемы проектирования.

2.3.9 Анализ противоречий и поиск компромиссов

В ходе выявления проблем участников проблемной ситуации неизбежно столкновение интересов каждого из них. Поэтому для того, чтобы системно решить проблему проектирования, необходимо выявить противоречия участников и попытаться спрогнозировать, как эти противоречия можно «уладить» в процессе создания проектируемого изделия. Компромиссом как раз и является «улаживание» этих противоречий. Например, отсутствие современного технологического оборудования по производству печатных узлов с современной элементной базой можно компенсировать приобретением такого оборудования на условиях кредитования заказчиком. Предприятиям, не имеющим сети сбыта, рекламы, сервиса и утилизации изделий, могут быть выделены дополнительные средства на организацию такой сети. Основное противоречие между заказчиком и разработчиком может быть урегулировано путем сокращения затрат на проектирование и взаимной договоренностью о соответствии технических характеристик изделия современному мировому уровню.

2.4 Формирование конфигулятора

Для того, чтобы построить адекватную модель проблемы создания объекта проектирования, необходимо описать этот объект, используя различные языки. Под конфигуратором понимается минимально необходимое количество языков для создания адекватной модели проблемы. Так, для создания радиоэлектронных средств различной сложности могут быть использованы следующие языки:

- профессиональный (по характеру проблемы);
- математический;
- алгоритмический;

- финансовый;
- технические (язык чертежа, схемы);
- информационный.

В конфигураторе указываются те языки, которые необходимо изучить разработчику для решения проблемы. Например, если проектируется измеритель температуры, из теории цепей требуется изучить типы и схемы включения датчиков. К неизученным разделам математического и алгоритмического языков относятся численные методы расчёта дифференциальных уравнений, из финансового нужно уяснить структуру ценообразования. Для оформления комплекта конструкторской документации требуется понять принципы заполнения текстовых графических документов.

При выборе конфигуратора нужно учесть особенности объекта проектирования (частотный диапазон, энергопотребление, быстродействие и т.п.), физические процессы, протекающие в нем, а также языки, используемые участниками проблемной ситуации. Результаты этого этапа рекомендуется свести в таблицу 2.5.

Заметим, что на данном этапе системного исследования кроме констатации содержания конфигуратора необходимо изучить указанные в нем языки. Изучение подразумевает получение знаний и умений, необходимых для решения сформулированной проблемы.

Знания и умения черпаются из информационных источников: монографий, учебных пособий, статей, патентных материалов, сведений из Интернета и т.п. Таким образом, под конфигуратором будем в дальнейшем понимать список информационных источников, необходимых разработчику для решения проблемы проектирования.

Таблица 2.5 - Языки, используемые в исследовании проблемной ситуации

Наименование языка	Наименование проблемы, описываемой этим языком	Особенности объекта, описываемые этим языком
1. Профессиональные (по характеру проблемы). К профессиональным относятся теория цепей, основы электроники и т.п. 2. Математические. 3. Алгоритмические. 4. Финансовые. 5. Технические (язык		

чертежа, схемы).		
6. Информационные.		

При формулировке проблемы, описываемой языком, указанным в таблице 2.5, нужно конкретно указать, какой раздел из этого языка необходимо изучить. Далее следует список информационных источников, необходимых для решения проблемы проектирования, сформулированной в 2.1.5. В этот список входят:

- монографии;
- учебники;
- учебные пособия;
- справочники;
- статьи в периодической печати;
- тексты докладов на конференциях различного уровня;
- описания патентов.

В ряде случаев, связанных с проектированием изделий, предназначенных для поставки на экспорт, в конфигураторе указываются страны, по которым нужно провести патентные исследования.

2.5 Целевыявление

2.5.1 Формирование массива критериев и показателей решения проблемы

Сформулировав проблему, определив список участников проблемной ситуации и выявив их проблемы, приступают к выбору критериев, позволяющих оценить движение к целям в процессе проектирования.

Критерии развития являются одновременно важнейшими показателями, или критериями качества, т.е. имеют большое значение при оценке качества ТО. Значение критериев развития особенно важно для специалистов, которые стремятся при разработке новых изделий превзойти уровень лучших мировых достижений. Для решения этих задач критерии развития играют роль компаса, указывающего направления магистрального прогрессивного развития изделий и технологий.

Поскольку любой ТО, как правило, имеет несколько критериев развития, то принцип прогрессивного развития для каждого нового поколения ТО заключается в улучшении одних и неухудшении других критериев.

Наборы критериев развития для различных классов ТО в значительной степени совпадают, поэтому в целом развитие техники в большой мере подчинено единому набору критериев, определяющих развитие техники.

Этот единый набор включает следующие четыре группы критериев:

- функциональные критерии, характеризующие важнейшие показатели реализации функции ТО;
- технологические критерии, связанные только с возможностью и простотой изготовления ТО;
- экономические критерии, определяющие только экономическую целесообразность реализации функции с помощью рассматриваемого ТО;
- антропологические критерии, связанные с вопросами человеческого фактора или воздействия положительных и отрицательных факторов на людей, вызванного созданным ТО.

На рисунке 2.1 показана систематика критериев развития ТО, реализующих различные функции. Этот перечень не претендует на исчерпывающую полноту.

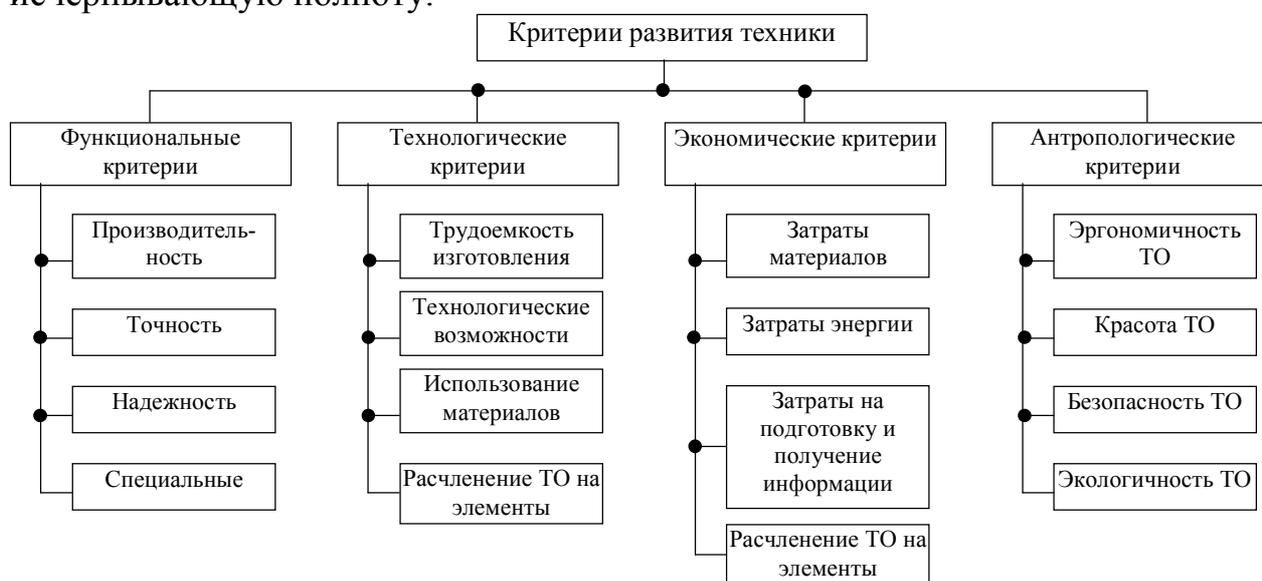


Рисунок 2.1 – Систематика критериев развития техники

Сформулируем условия и требования, которым должны удовлетворять параметры, относящиеся к критериям развития ТО. Иначе говоря, определим условия и требования, с помощью которых для любого класса ТО можно выделить его критерии развития.

Условие измеримости. За критерии развития могут быть приняты только такие параметры ТО, которые допускают возможность количественной оценки по одной из шкал измерений [14]: шкале отношений, шкале интервалов, шкале порядка. Предпочтение отдается шкале отношений, но, если она неприемлема, то шкале интервалов и в последнюю очередь шкале порядка.

Условие сопоставимости. Критерий должен иметь единицы измерения, которые позволяют сопоставить ТО для разных времен и стран. Лучше всего подходят безразмерные величины и удельные величины, с помощью которых можно сопоставлять ТО соответственно с различными функциями и с одинаковой функцией или близкими функциями.

Условие исключения. За критерии могут быть приняты такие параметры ТО, которые в первую очередь характеризуют его эффективность и оказывают определяющее влияние на его развитие. Если эти параметры не принимать во внимание при создании новых поколений ТО (такой мысленный эксперимент нетрудно провести), то это может привести к следующему:

- возникновению нежелательных путей развития рассматриваемого класса ТО;
- полному отсутствию развития;
- значительно меньшей мере удовлетворения потребностей человека (пользователя) или вообще полному неудовлетворению.

Условие постоянства. За критерии могут быть приняты такие параметры ТО, для которых всегда имеет место условие исключения.

Условие минимальности и независимости. Вся совокупность критериев должна содержать только такие, которые не могут быть логически выведены из других критериев или не могут быть их прямым следствием.

После выделения набора критериев развития для интересующего класса ТО конструктор или изобретатель должен дать описание каждого критерия. Такое описание включает следующие сведения.

1. Сущность критерия, время и причины его возникновения.
 2. Формула или способ измерения критерия, включая указанные шкалы или единицы измерения.
 3. Диапазон и характер изменения значений критерия во времени.
 4. Оценка степени общности критерия по трехбалльной шкале:
 - а) критерий имеет отношение к рассматриваемому классу ТО с одинаковыми или близкими функциями;
 - б) критерий имеет отношение к нескольким классам ТО с различными функциями, но определенными общими свойствами;
 - в) критерий имеет отношение к ТО с любой функцией.
- Оценка степени общности критерия указывает на возможности заимствования улучшенных технических решений из других областей техники.
5. Оценка изменения относительной значимости (актуальности) критерия в прошлом и обозримом будущем по трехбалльной шкале:
 - а) актуальность возрастает;
 - б) остается неизменной;
 - в) снижается.
 6. Основные способы и средства улучшения критерия.

Функциональные критерии развития ТО. Для каждого ТО функциональные критерии развития представляют собой количественную характеристику основных показателей реализации функции ТО, т.е. эти критерии выявляют на основе анализа описания функции ТО. Поскольку функции ТО характеризуются самыми различными показателями, то практически невозможно дать исчерпывающий перечень функциональных

критериев. В связи с этим рассмотрим только некоторые наиболее часто действующие функциональные критерии. Среди них можно выделить три группы критериев (см. рисунок 2.1): производительность, точность и надежность.

Критерий производительности всегда может быть измерен или вычислен. Структура формулы для вычисления критерия и единица измерения производительности могут быть самыми различными. Примеры приведены в таблице 2.6, где приняты следующие обозначения: N – количество операций; t – время; Pg – количество страниц; V – объем информации; Ms – количество микросхем; Ot – количество отверстий; Pd – количество подложек.

Таблица 2.6 – Примеры формул критерия производительности

Наименование ТО	Структура формулы	Единица измерения
Процессор ЭВМ	N/t	операций/с
Принтер	Pg/t	страниц/мин
Модем	V/t	кБит/с
Автоматическая паяльная станция	Ms/t	микросхем/с
Записывающий привод для компакт-дисков CD-ROM	V/t	МБайт/с
Сверлильный станок для изготовления сквозных отверстий печатных плат	Ot/t	отверстий/мин
Установка магнетронного напыления тонких пленок гибридных интегральных микросхем	Pd/t	подложек/час

Критерий производительности представляет собой интегральный показатель уровня развития техники, который непосредственно зависит от ряда параметров, определяющим образом влияющих на производительность труда. Эти параметры представляют собой как бы частные функциональные критерии. К ним относятся:

1) скорость обработки объекта (число оборотов или операций в единицу времени, скорость движения рабочих органов машины, транспортной машины, протекания химической реакции и т.п.);

2) физические и химические параметры (температура, давление, напряжение и др.), определяющим образом влияющие на интенсивность обработки объекта (предмета обработки);

3) степень механизации труда;

4) степень автоматизации труда;

5) непрерывность процесса обработки.

Определим критерии пунктов 3 – 5, которые в отличие от критериев пунктов 1 – 2 являются комплексными и зависят от многих факторов.

Критерий механизации равен отношению механической работы, выполняемой только ТО, ко всей механической работе, выполняемой суммарно ТО и человеком (коллективом людей) при получении определенной продукции.

Критерий автоматизации равен отношению числа управляющих операций, выполняемых только ТО, к общему числу управляющих операций, выполняемых суммарно ТО и человеком при получении определенной продукции.

Критерий непрерывности процесса обработки, связанный с получением определенной готовой продукции, равен отношению числа операций, выполняемых с использованием непрерывных процессов, к общему числу операций с использованием непрерывных и прерывистых процессов воздействия на предмет обработки. Под непрерывными процессами здесь понимается вращательное, поступательное и поточное движение без существенного снижения скорости или безостановочная обработка; под прерывистыми процессами – возвратно-поступательное движение, операции с остановками или прерываниями технологического процесса при переходе к следующей операции и т.п. Следует заметить, что в основе критерия непрерывности процесса обработки лежит один из главных способов повышения производительности труда.

Критерии точности включают следующие частные критерии:

- точность измерения;
- точность попадания в цель;
- точность обработки материала или вещества;
- точность обработки потока энергии;
- точность обработки потока информации.

Для этих частных критериев имеются развитые способы измерения и оценки точности, которые легко найти в специальной литературе.

Критерий надежности включает частные критерии:

- безотказности;
- долговечности;
- сохраняемости;
- ремонтпригодности.

Определение этих критериев для различных ТО легко найти в специальной литературе.

Под надежностью ТО обычно подразумевают способность без отказов выполнять свою функцию с заданной вероятностью в течение определенного интервала времени. Критерий надежности возрастает с увеличением времени и вероятности безотказной работы.

Критерии производительности, точности и надежности представляют собой монотонно возрастающие функции. Актуальность и вес этих критериев

всегда были выше по сравнению с другими группами критериев (см. рисунок 2.1) и со временем продолжают возрастать.

Технологические критерии развития ТО. Группа технологических критериев главным образом обеспечивает всестороннюю экономию живого труда при изготовлении ТО и подготовке их к эксплуатации. Кроме того, эти критерии направлены на экономию материалов, зависящую от технологических факторов, что опять вносит определенную долю в экономию живого труда. Можно выделить четыре основных технологических критерия.

Критерий трудоемкости изготовления ТО. Критерий равен отношению суммарной трудоемкости T_C проектирования, изготовления и подготовки к эксплуатации изделия к его главному показателю эффективности Q , т.е. представляет собой удельную трудоемкость изготовления на единицу получаемой эффективности:

$$K_T = \frac{T_C}{Q}.$$

Главный показатель эффективности Q выбирают таким образом, чтобы критерий K_T объективно отражал прогрессивное развитие рассматриваемых ТО. В таблице 2.7 приведены примеры выбора показателя Q для различных ТО. Критерий K_T представляет собой монотонно убывающую функцию при условии, что сопоставление различных поколений ТО ведется по одному и тому же показателю эффективности Q .

Таблица 2.7 – Примеры показателя эффективности ТО

Наименование ТО	Показатели эффективности	
	Наименование	Размерность
Процессоры ЭВМ, копировально-множительная техника	Производительность	операций/с, страниц/мин
Трансформатор	Мощность	кВ·А
Электронный усилитель	Коэффициент усиления	дБ
Сканер	Разрешающая способность	точек/дюйм
Электродвигатель	Крутящий момент	Н·м/с
Динамическое ОЗУ	Время доступа	мс
Аккумуляторная батарея	Относительное время работы ко времени заряда	отн. ед.

Критерий трудоемкости является одним из самых древних, поскольку он действует и в сильной степени влияет на развитие ТО, начиная с каменного века, с первых искусственно изготовляемых орудий – ручных

рубил. Актуальность этого критерия на протяжении всей истории техники всегда была и остается весьма высокой и неизменной.

Имеются все основания утверждать, что критерий K_T проявляет свое действие и влияние (в большей или меньшей мере) по отношению к любому классу ТО.

Критерий технологических возможностей. Любой ТО, разработанный только с учетом функциональных и антропологических критериев (требований), может содержать не более пяти типов элементов (агрегатов, узлов, деталей):

- A_c – стандартные или покупные элементы, получаемые в готовом виде;

- A_y – унифицированные элементы, заимствованные из существующих ТО;

- $A_{н1}$ – оригинальные (новые) элементы, изготовление которых не вызывает затруднений (могут быть изготовлены на имеющемся оборудовании), но требует разработки и отработки технологии их изготовления;

- $A_{н2}$ – оригинальные элементы, изготовление которых вызывает значительные, но преодолимые трудности (требуется разработка новой технологии с предварительным изготовлением технологической оснастки, приобретение дефицитного оборудования и т.п.);

- $A_{н3}$ – оригинальные элементы, изготовление которых вызывает принципиальные, пока непреодолимые трудности (отсутствует в принципе или нельзя приобрести необходимое технологическое оборудование или подходящие материалы, требуется предварительное проведение НИР и ОКР и т.п.).

Критерий технологических возможностей, который должен отражать простоту и принципиальную возможность изготовления ТО, можно определять по формуле:

$$K_{Т.В} = \varepsilon \frac{k_c A_c + k_y A_y + k_{н1} A_{н1} + k_{н2} A_{н2}}{A_c + A_y + A_{н1} + A_{н2} + A_{н3}}, \quad (2.1)$$

где $\varepsilon = \begin{cases} 1, & \text{если } A_{н3} = 0; \\ 0, & \text{если } A_{н3} > 0; \end{cases}$ $k_c, k_y, k_{н1}, k_{н2}$ – весовые коэффициенты, причем $k_c = 1$,

$k_c > k_y > k_{н1} > k_{н2}$ (например, $k_y = 0.5$, $k_{н1} = 0.2$, $k_{н2} = 0.01$); $A_c, A_y, A_{н1}, A_{н2}, A_{н3}$ – соответственно число наименований стандартных, унифицированных и оригинальных элементов в ТО (под одним наименованием может быть несколько одинаковых элементов).

На практике широко используют частные случаи этого обобщенного критерия: критерий стандартизации, когда в числителе формулы (2.1) берется только A_c ; критерий унификации, когда в числителе берется $A_c + A_y$.

Критерий технологических возможностей в любой форме представления изменяет свои значения на отрезке $0 \leq K_{т. в} \leq 1$. Хотя улучшение критерия связано с возрастанием значения $K_{т. в}$, все же его нельзя отнести к монотонно возрастающим функциям, поскольку часто в новых поколениях ТО для улучшения более важных критериев приходится ухудшать критерий технологических возможностей. Основная форма представления критерия (2.1) стимулирует исключение абсолютно нетехнологичных элементов $A_{н3}$ и минимизацию элементов $A_y, A_{н1}, A_{н2}$ в соответствии с их весовыми коэффициентами.

Критерий технологических возможностей отражает фактор наследственности в технике, аналогичный фактору наследственности в живой природе, определяемому законом Дарвина. При переходе от одного поколения ТО к другому критерий $K_{т. в}$ заставляет в наибольшей мере сохранять и использовать проверенные практикой функциональные элементы, отработанную технологию их изготовления и существующее технологическое оборудование. Поскольку за каждое конструктивное изменение в новом поколении ТО приходится «платить» значительными дополнительными затратами, связанными с изменением технологического процесса и созданием соответствующего технологического оборудования, приспособлений и инструментов, тем более имеется риск, что новые элементы не оправдают себя на практике.

Критерий технологических возможностей начал оказывать влияние на развитие техники с конца XVIII века, когда значительно возросла сложность ТО и в достаточной степени развилось «машинное производство машин», орудий труда и оружия, выпускаемых большими сериями. Актуальность критерия технологичности сильно возросла в первой половине XX века и продолжает расти до сих пор.

Критерий технологических возможностей имеет отношение к любому классу ТО.

Критерий использования материалов. Для изготовления элементов ТО используют различные природные материалы, отлитые заготовки, стандартные корпуса, кабели и шины, специальные профильные заготовки (валы, шары, шестерни) и др. В процессе обработки исходного материала и заготовок появляются обрезки, стружка и другие отходы, в результате чего масса готовых деталей и, соответственно, ТО получается меньше массы израсходованных материалов. В связи с этим потери, например, черных металлов в машиностроении составляют 20...25%, отходы металла в стружку при обработке резанием – до 28%. В целом коэффициент использования металла не превышает 0.55.

Поскольку доля отходов в большей мере проявляется от технологических процессов и технологического оборудования, существует и действует технологический критерий использования материалов $K_{и.м.}$, равный

отношению массы изделия G к массе израсходованных материалов P (при этом покупные комплектующие элементы не учитываются):

$$K_{и.м} = \frac{G}{P}. \quad (2.2)$$

В случае, когда в ТО используются материалы, значительно различающиеся по стоимости, при вычислении критерия $K_{и.м}$ рекомендуется пользоваться следующими зависимостями:

$$G_n = \sum_{i=0}^m k_i q_i, \quad (2.3)$$

$$P_n = \sum_{i=0}^m k_i p_i, \quad (2.4)$$

где $i = 0, 1, \dots, m$ – номера используемых различных материалов; q_i – масса i -ого материала, используемого в ТО; k_i – весовой коэффициент i -ого материала (можно принять $k_i = \frac{c_i}{c_0}$, где $i = 0, 1, \dots, m$); c_i – стоимость единицы массы i -

ого материала; c_0 – стоимость единицы массы основного материала; p_i – масса i -ого материала, израсходованного на изготовление элементов ТО.

Критерий $K_{и.м}$ представляет собой монотонно убывающую функцию, которая принимает значения в интервале $0 \leq K_{и.м} \leq 1$. Несмотря на тенденцию монотонного убывания, функция (2.2) иногда имеет ступенчатые (скачкообразные) возрастания, обычно связанные с переходом на новые технологические процессы со значительно большей производительностью или новые более дешевые материалы.

Критерий $K_{и.м}$ можно назвать коэффициентом полезного использования материалов, поскольку по содержанию, характеру и диапазону изменения он близок к энергетическому коэффициенту полезного действия.

Критерий использования материалов начал проявлять свое действие около 40 тыс. лет назад, когда более совершенные разнообразные каменные орудия стали в значительно большем количестве изготавливать в основном из кремня, обсидиана, агата и других нешироко распространенных и находящихся в ограниченных количествах минералов. В это время сформировалась технология экономного использования материалов. Актуальность критерия $K_{и.м}$ на протяжении всей истории техники всегда была и остается высокой и неизменной по отношению к любому классу ТО.

Критерий расчленения ТО на элементы. Почти каждый ТО можно выполнить из существенно меньшего числа элементов (узлов и деталей), чем он сделан на самом деле. Например, некоторые простые функциональные узлы можно изготовить в виде одной микросборки, отдельные ЭРЭ объединить в интегральную микросхему и т.п. Такая минимизация числа элементов дает, казалось бы, определенный выигрыш за счет исключения элементов сопряжения и соединения (уменьшается общая масса изделия, повышается его жесткость и надежность, уменьшается трудоемкость

механической обработки и сборки и т.д.). Однако такое кажущееся упрощение конструкции, наряду с указанными положительными моментами, часто приносит несоизмеримо большие потери. Дело в том, что большое расчленение часто сокращает время и трудоемкость разработки и доводки изделия в целом, поскольку в каждом новом изделии, как бы хорошо оно ни было спроектировано, имеются более или менее совершенные узлы. Поэтому в процессе разработки и доводки нового изделия экономичнее и проще устранять недостатки отдельных более простых узлов, чем сложных узлов или изделия в целом. Большое расчленение ТО на узлы и детали облегчает и расширяет унификацию и стандартизацию с присущими им преимуществами, позволяет чрезмерно сложные (с точки зрения изготовления) по конструкции элементы собирать из простых однотипных элементов.

Следует также отметить, что при чрезмерно мелком дроблении ТО на элементы многие из этих достоинств оборачиваются недостатками.

Кроме указанных технологических причин, на расчленение ТО влияют также функциональные, экономические и антропологические факторы. Это влияние рассматривается при исследовании соответствующих критериев.

Таким образом, всегда существует оптимальное расчленение ТО на узлы и детали, которое значительно упрощает технологию разработки, доводки, изготовления, ремонта и модернизации изделий, является основой для унификации и стандартизации.

Критерий K_p расчленения ТО на элементы обеспечивает в каждом новом поколении изделий приближение к оптимальному разделению на элементы. Ввиду сложности определения этого критерия не будем давать его аналитического выражения, которое при необходимости можно взять из книги [15].

Критерий K_p имеет отношение к любому классу ТО, которые состоят более чем из одного элемента, серийно изготавливаются и от поколения к поколению претерпевают прогрессивные конструктивные изменения.

Экономические критерии развития ТО. Критерий расхода материалов. Всесторонняя экономия материалов при разработке и изготовлении ТО вызвана рядом факторов. К основным причинам уменьшения расхода материалов относятся:

- снижение стоимости ТО, поскольку стоимость материалов в ТО составляет 25...65% их себестоимости;

- снижение транспортных и погрузочно-разгрузочных расходов при перевозке исходного сырья и материалов для изготовления ТО и при транспортировании готовых ТО к месту их использования;

- экономия энергии при эксплуатации ТО (таких, как транспортные, обрабатывающие и другие машины и устройства), в которых значительная часть энергии затрачивается на обеспечение поступательного, возвратно-поступательного, вращательного и других видов механического движения.

Критерий расхода материала K_M равен отношению массы технической системы G к ее главному показателю эффективности Q :

$$K_M = \frac{G}{Q}, \quad (2.5)$$

т.е. представляет собой удельную массу материалов на единицу получаемой эффективности.

Показатель эффективности Q выбирают в соответствии с рекомендациями данными выше.

Следует заметить, что формула (2.5) в случаях использования в ТО материалов с значительно различающейся стоимостью оказывается малочувствительной к изменению массы дорогих материалов, которые обычно применяют в небольших количествах. В таких случаях рекомендуется определять приведенную массу G_{Π} по формулам (2.3), (2.4), данным для критерия использования материалов.

Критерий расхода материалов является одним из самых древних. Актуальность его на протяжении всей истории техники всегда была и остается весьма высокой и неизменной.

Критерий K_M , как правило, представляет собой монотонно убывающую функцию при условии, что сопоставление различных поколений ТО ведется по одному показателю эффективности Q . Имеются все основания утверждать, что критерий K_M проявляет свое действие и влияние (в большей или меньшей мере) по отношению к любому классу ТО.

Критерий расхода энергии. При изготовлении и/или эксплуатации ТО, как правило, расходуется определенное количество энергии. Поскольку удовлетворение возрастающих потребностей людей обычно жестко ограничивается имеющимися энергетическими возможностями, то указанные затраты энергии всегда стремятся свести к минимуму. В связи с этим существует и действует критерий расхода энергии:

$$K_{\varepsilon} = \frac{W_{\Pi} + E}{TQ}, \quad (2.6)$$

где W_{Π} – полная затрата энергии за время эксплуатации ТО; E – затраты энергии при изготовлении ТО; T – время эксплуатации ТО.

Формулу (2.6) рекомендуется использовать в случаях, когда величины W_{Π} и E соизмеримы. Для многих ТО $W_{\Pi} \gg E$. В таких случаях используется более простая формула критерия:

$$K_{\varepsilon} = \frac{W}{Q}, \quad (2.7)$$

где W – затраты энергии при эксплуатации ТО в единицу времени.

Поскольку большинство конструктивных мероприятий по улучшению критерия (2.7) сводятся к повышению доли энергии, используемой непосредственно для выполнения полезной работы, то в инженерной практике широко используют еще одну модификацию критерия расхода энергии, называемую коэффициентом полезного действия. Эта модификация

критерия равна отношению полезной работы (энергии) W_0 к затраченной работе (энергии) W :

$$K_{\mathcal{E}} = \frac{W_0}{W}. \quad (2.8)$$

Коэффициент полезного действия (КПД) в какой-то мере можно назвать частным случаем критерия (2.7), тем более, что, например, для двигателей, генераторов, трансформаторов и других ТО, производящих энергию, критерий (2.8) равен обратной величине критерия (2.7). Несмотря на частный характер критерия (2.8), он имеет самостоятельное значение и особенно удобен при разработке улучшенных (по энергетическим показателям) модификаций ТО.

Критерии (2.6), (2.7), как правило, представляют собой монотонно убывающую во времени функцию при условии, что сравнение различных поколений ТО ведется по одному и тому же сопоставимому показателю эффективности Q . Критерий (2.8) является монотонно возрастающей функцией, которая принимает значения в интервале $0 < K_{\mathcal{E}} < 1$; при этом подразумевается сравнение ТО с одинаковыми физическими принципами действия. История техники знает немало случаев, когда переход на более перспективный источник энергии происходил со снижением КПД. Примером в радиоэлектронике может служить переход от источников вторичного электропитания (ИВЭП) без частотного преобразования энергии с КПД порядка 30...40% к ИВЭП с преобразованием частоты с КПД 70...80%.

Критерий расхода энергии является также одним из самых древних, поскольку, начиная с каменного века, люди стремились при получении единицы продукции минимизировать затраты энергии. Актуальность этого критерия на протяжении всей истории техники была и остается весьма высокой и неизменной.

Имеются все основания утверждать, что критерий (2.6) проявляет свое действие и влияние (в большей или меньшей мере) по отношению к любому классу ТО.

Критерий затрат на информационное обеспечение. В последнее время в связи с широким использованием вычислительной техники проявились и возросли затраты на подготовку и обработку информации при создании и эксплуатации многих ТО. Эти затраты становятся сопоставимыми с затратами на материалы и энергию, а прибыли от них быстро возрастают. В связи с этим появилась необходимость введения критерия затрат на информационное обеспечение в виде соотношения:

$$K_{и.о} = \frac{S}{Q}, \quad (2.9)$$

где S – затраты на подготовку и обработку информации, включающие стоимость или эксплуатацию вычислительной техники, разработку (или аренду) программного и информационного обеспечения и т.д.

Критерий (2.9) представляет собой монотонно убывающую функцию. Однако критерий может иметь скачки, когда дополнительные значительные затраты S связаны с переходом на принципиально новую перспективную вычислительную технику, которая сразу не дает опережающего повышения эффективности ТО.

Критерий габаритных размеров ТО. Снижение габаритных размеров ТО и их элементов связано в первую очередь с получением следующих выгод:

- уменьшение площади и объема ТО;
- уменьшение площади земли, занимаемой непосредственно ТО или зданиями, в которых находятся ТО;
- увеличение полезного объема в ТО типа летательных или космических аппаратов, судов, подводных лодок и т.д.;
- сокращение расходов по защите ТО (расходы на материал корпуса, кожухи, чехлы, лакокрасочные покрытия и т.п.) и уходу за ними;
- сокращение расходов по транспортированию ТО.

Критерий габаритных размеров равен отношению основных габаритных размеров технического объекта V к его эффективности:

$$K_{\Gamma} = \frac{V}{Q}.$$

Если наиболее важным является снижение объема ТО, то $V = L \cdot B \cdot H$; если снижение занимаемой площади представляется более важным показателем, чем объем, то $V = L \cdot B$, если наиболее важным из габаритных параметров является уменьшение некоторого линейного размера, то $V = L$ (L , B , H – соответственно длина, ширина и высота ТО). За эффективность Q принимают те же показатели, что и в критерии использования материалов.

Критерий K_{Γ} , как правило, представляет собой монотонно убывающую функцию при условии сопоставления различных поколений ТО по одному и тому же сопоставимому показателю эффективности Q . Актуальность этого критерия все время монотонно возрастает.

Критерий K_{Γ} имеет влияние на развитие подавляющего большинства ТО за исключением тех, у которых уменьшение габаритных размеров функционально ограничено, например, размерами человека, животных и других объектов, имеющих неизменные размеры.

Антропологические критерии развития ТО. Группа антропологических критериев обеспечивает по возможности наибольшее соответствие и приспособление ТО к человеку, снижение дискомфорта и повышение положительных эмоций, снижение или исключение вредных и опасных (непосредственных или опосредованных) воздействий ТО на человека.

Критерий эргономичности ТО. Эффективность многих ТО в значительной степени зависит от того, насколько они приспособлены к психофизиологическим качествам человека-оператора, использующего этот

ТО или управляющего им при воздействии на предмет обработки, т.е. насколько в системе человек-машина использованы физические, психические и интеллектуальные возможности человека.

Свойство системы «человек-машина» изменять свою эффективность в зависимости от степени использования возможностей человека-оператора называют эргономичностью. Эффективность ТО при этом в первую очередь выражается через функциональные критерии развития ТО, например, производительность, надежность, точность и др.

Критерий эргономичности для конкретного ТО равен отношению реализуемой эффективности системы «человек-машина» к максимально возможной эффективности этой системы. Он представляет собой зависящую от времени монотонно возрастающую функцию, стремящуюся к своему пределу, равному единице. В книге [15] дан способ вычисления критерия эргономичности.

Критерий эргономичности можно интерпретировать как коэффициент полезного действия человека в системе «человек-машина», тем более, что граница и характер изменения значений этого критерия такие же, как у энергетического коэффициента полезного действия.

Критерий эргономичности действует с древнейших времен по отношению ко всем ТО, с которыми взаимодействует человек-оператор. Актуальность и значимость этого критерия оставалась стабильной до начала XIX века. Начиная со второй половины XIX века стали быстро возрастать разнообразие и сложность машин, станков, аппаратов, в результате чего стали также расти и расширяться требования к человеку-оператору. Особенно усилился этот процесс во второй половине XX века, т.е. актуальность и значимость критерия эргономичности в последнее столетие возросла и продолжает расти, что вызвало формирование и развитие новой научной дисциплины – эргономики, основная прикладная ориентация которой заключается в проектировании и создании оптимальных по эффективности сложных человеко-машинных систем.

Критерий красоты ТО. Эстетическое влияние ТО здесь понимается шире, чем принято в дисциплине по технической эстетике и художественному конструированию. В книге [15] предлагается способ количественной оценки критерия красоты.

Критерий безопасности ТО. Многие ТО, а также выпускаемая ими продукция и используемое сырье оказывают или могут оказать на работающих и окружающих людей различные вредные или опасные воздействия:

- повреждение или поражение органов, приводящее к временной потере трудоспособности;
- тяжелые повреждения или поражения, приводящие к постоянной потере трудоспособности (перевод на инвалидность);
- смертельный исход (исходы).

В связи с этим существует критерий безопасности, под действием которого ТО в своем развитии имеет тенденцию понизить или исключить вредные и опасные воздействия на окружающих людей.

Критерий безопасности ТО можно определять по формуле

$$K_6 = \sum_{i=1}^n \beta_i \gamma_i \frac{S_i}{S_i^H},$$

где n – число вредных и опасных факторов; β_i – весовой коэффициент i -го фактора, который выбирается в соответствие с градацией по тяжести вредных и опасных воздействий ТО при условии, что $\sum_{i=1}^n \beta_i = 1$; γ_i – весовой

коэффициент i -го вредного или опасного фактора, который принимает следующие значения: $\gamma_i = 1$ при $S_i = S_i^H$; $\gamma_i = \frac{1}{\min(\beta_i)}$; S_i – величина i -го

вредного или опасного фактора, вызванного рассматриваемым ТО (это может быть вероятность легкой или тяжелой травмы, уровень радиации, звуковая или вибрационная нагрузка, концентрация отравляющих веществ в воздухе и т.д.); S_i^H – нормативное (предельно допустимое) значение i -го вредного или опасного фактора (будем так задавать значения величин S_i , S_i^H , чтобы всегда иметь $S_i^H > 0$, а допустимое значение $S_i \leq S_i^H$).

Для каждого нового класса ТО требуется проведение специальных исследований и обоснований для выбора совокупности факторов S_i ; их нормативных значений S_i^H и весовых коэффициентов β_i .

Легко видеть, что при условии ненарушения нормативов, когда все $S_i \leq S_i^H$, критерий K_6 принимает значения $0 \leq K_6 \leq 1$. При нарушении любого из нормативов получаем $K_6 > 1$ и, если нарушение связано с фактором, имеющим относительно большой вес β_i , то $K_6 \gg 1$.

Следует заметить, что когда ведется оценка вредных действий ТО на окружающих людей, то часто наряду с рассматриваемым ТО аналогичные вредные воздействия оказывают и другие существующие ТО. В таких случаях рассматривают вопрос не только о невозможности создания проектируемого ТО, но и об исключении существующих ТО, которые имеют свою долю в нарушении нормативов.

Критерий безопасности имеет отношение ко всем классам ТО, которые своим функционированием, выпускаемой продукцией или используемым сырьем оказывают или могут оказать на окружающих людей вредное или опасное воздействие.

Критерий экологичности. Критерий экологичности, или критерий сохранения окружающей среды, должен регулировать взаимоотношения между естественной природой и ТО с точки зрения комфорта и возможности жизни людей.

Критерий экологичности в общем виде можно выразить зависимостью

$$K_{\text{эк}} = \frac{S_{\text{н}} + S_{\text{к}}}{S_0}, \quad (2.10)$$

где $S_{\text{н}}$ – площадь территории (суши и воды), на которой по одному или нескольким факторам имеются *недопустимые* (выше нормы, но ниже критических) загрязнения или изменения; $S_{\text{к}}$ – площадь территории, на которой по одному или нескольким факторам имеются *критические* загрязнения и изменения, при которых жизнь человека становится смертельно опасной или невозможной; S_0 – вся площадь страны (или интересующего региона, области и т.д.), которая должна быть постоянной величиной.

К факторам загрязнения и изменения среды относятся:

а) инородные примеси, вносимые в атмосферу, воду и землю в виде *новых* веществ, физических полей и воздействий; различные газы и пыль, выделяемые заводами и транспортными машинами; загрязнение воды и земли промышленными сбросами, пестицидами; радиоактивное, шумовое и тепловое загрязнение среды и многое другое;

б) изменения в неживой природе в виде отклонений от *естественной нормы* концентрации веществ, характеристик физических полей и воздействий, рельефа и структуры поверхности земли и др.;

в) изменения в живой природе в виде отклонений от естественной нормы числа особей существующих видов на единицу площади, исчезновения существующих видов или появления новых.

До начала XIX века отношение (2.10) по существу не действовало как критерий. В XIX веке его действие постепенно возрастало, а в первой половине XX века стало ускоренно расти, и это ускорение усилилось в последнее время особенно за счет составляющей $S_{\text{к}}$. В это время собственно и возникла проблема охраны окружающей среды, и стали вводить соответствующее законодательство.

Следует отметить, что жесткое влияние критерия $K_{\text{эк}}$ не подразумевает абсолютного прекращения нежелательных загрязнений и изменений природы, поскольку первейшие потребности растущего народонаселения нельзя удовлетворить, не производя таких изменений. Этот критерий в первую очередь должен влиять на выбор средств минимального воздействия на природу, на серьезное обоснование нормативов загрязнения и изменения среды, нарушение которых приносит несоизмеримо больший вред по сравнению с пользой или вообще недопустимо. Под средствами минимального воздействия на природу понимается также широкое использование компенсационных мероприятий, которые обеспечивают в целом уменьшение или стабилизацию критерия $K_{\text{эк}}$. Например, одновременно с созданием интересующих ТО, которые повышают критерий экологичности, исключают некоторые существующие ТО или проводят специальные мероприятия по восстановлению природы и т.д.

Сфера действия критерия экологичности весьма широкая. Он имеет отношение ко всем классам ТО, производство и функционирование которых загрязняет и изменяет природу.

В вопросах сохранения окружающей среды решающее значение имеет психологический фактор. Здесь в первую очередь должна быть в принципе изменена *психологическая установка* всех лиц, которые непосредственно вносят или могут внести определенное загрязнение и изменение природы, приводящее к повышению $K_{\text{эк}}$. Этот круг лиц для краткости назовем вредителями природы. Такие люди и в отдаленные времена сознавали, что их действия вызовут некоторые нежелательные изменения окружающей среды. Однако при этом, как правило, считалось, что природа справится с вносимыми загрязнениями и изменениями, которые будут иметь сугубо локальный характер и в итоге не окажут существенного влияния на здоровье и самочувствие людей.

Психологическая установка вредителей природы должна теперь в принципе измениться, поскольку природа в последнее время в результате суммирования многих нежелательных воздействий оказалась «предельно напряжена» по отношению ко многим факторам загрязнения и изменения. В связи с этим, в отличие от прежних времен, теперь даже небольшое, казалось бы, локальное загрязнение и изменение часто оказывается «последней каплей», вызывающей неожиданные крупные нежелательные или даже катастрофические изменения, которые у большинства людей (в том числе у самих вредителей природы, их родных и близких) вызывают повышение дискомфорта, ухудшение самочувствия и состояния здоровья.

Важность критерия экологичности заключается в том, что при решении очень многих задач поиска более эффективных конструкторско-технологических решений нужно стремиться понизить $K_{\text{эк}}$. Кроме того, в настоящее время открылось большое поле благородной творческой деятельности – улучшение экологии инженерными средствами, основывающимися на новых конструкторско-технологических решениях.

Применительно к задачам конструирования РЭА можно рекомендовать в качестве функциональных критериев технические параметры данного вида изделия, определяемые стандартами различного уровня, надежность и группу условий эксплуатации. Технологические показатели довольно подробно рассмотрены выше и также могут быть взяты из соответствующих нормативных документов, используемых участниками проектирования. К экономическим показателям, безусловно, относятся цена, энергопотребление, КПД, масса, объем, коэффициенты заполнения узлов по массе, объему и площади. Антропогенные показатели также определены ГОСТами системы безопасности труда, экологическими ограничениями и такими эргономическими и эстетическими факторами как мода, современное состояние дизайна, «капризы» заказчика.

2.5.2 Формирование дерева целей

На этом этапе формируются (желательно самими участниками) цели участников проблемной ситуации, достижение которых позволяет решить проблему создания объекта проектирования, заключающуюся в установлении требуемых технических параметров объекта. Например, для потребителя бытового радиоэлектронного аппарата основной целью является высокое качество этого аппарата при минимальной цене, для производителя – высокая технологичность аппарата, для сервисных служб – высокая ремонтпригодность, для окружающей среды – минимум вредных воздействий на человека и природу в процессе производства, эксплуатации и утилизации аппарата, для будущего поколения – высокий уровень эстетичности, эргономичности, рост качества этого типа аппаратов от поколения к поколению (прогресс). Этап «целевыявление» заканчивается построением дерева целей в виде графа, вершинами которого являются цели, а ребрами (ветвями) – участники проблемной ситуации (рисунок 2.2).

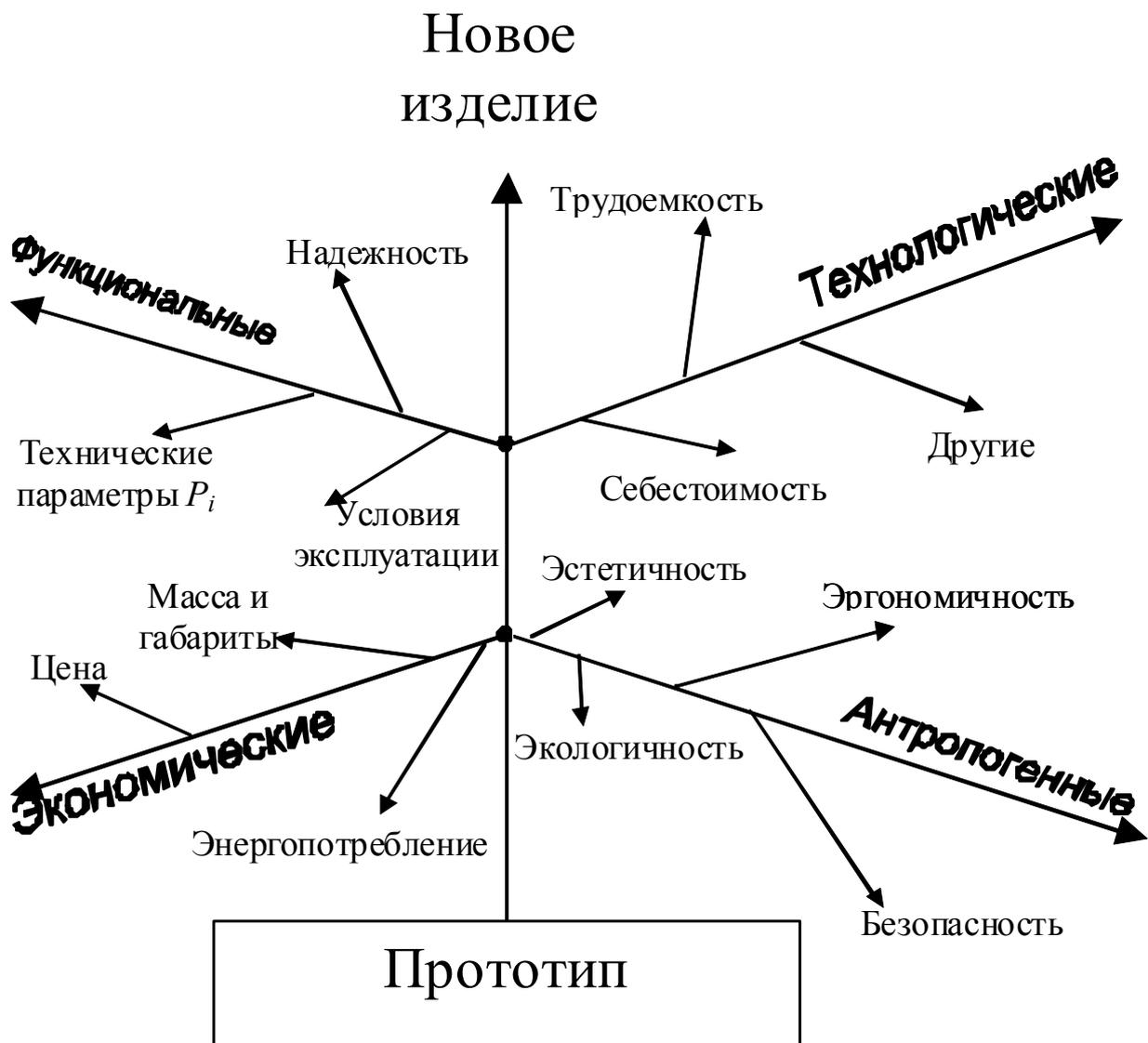


Рисунок 2.2 - Примерный вид дерева целей для радиоэлектронного аппарата

Заметим, что вид дерева целей зависит от проблемы проектирования и от особенностей изделия. Целевыявление может осуществляться следующими методами:

- прогнозированием на основе информационного исследования;
- аналитическим на основе математического моделирования тенденций развития проектируемого объекта и последующего расчета его параметров с учетом развития;
- заданием параметров объекта на основе интуиции и опыта его эксплуатации.

В любом случае успешность целевыявления определяется объективностью задания параметров объекта проектирования. Завышение параметров может не обеспечить решение проблемы, занижение – привести к моральному старению объекта еще на этапе проектирования. В дереве целей указываются конкретные числовые значения показателей проектируемого изделия. Величина этих значений зависит от проблемы, сформулированной на этапе фиксации проблемы, и может отличаться от показателей прототипа в соответствии с этой проблемой.

2.5.3 Составление технического задания на проектирование изделия

Форма технического задания и пример заполнения приведены в Приложении 2. Техническое задание согласовывается с заказчиком и является документом, регламентирующим все последующие стадии разработки изделия.

2.6 Исследование проблемы проектирования и путей ее решения

Исследование проблемы в конечном итоге выливается в детальное изучение проектируемого объекта, в прогнозирование значений сформированных критериев и в выбор методов достижения заданных значений критериев.

Исследование может быть проведено информационным, теоретическим, экспериментальным, экспериментально-теоретическим, теоретико-экспериментальным методами. Для исследования может быть применен вычислительный эксперимент. Цель исследований – изучить проектируемый объект, его конструктивно-функциональную структуру, описать его физический принцип действия. Изучаются прототип и аналоги. При изучении рассматриваются физические эффекты и законы, которые заложены в основу ФПД. При информационном исследовании делается детальный анализ

литературных источников информации см. 2.4 , при теоретическом – моделирование объекта, при экспериментальном – изучается физическая модель объекта в виде макета или действующего образца. Этап исследования является очень важным для принятия новых технических решений в соответствии с выявленными целями. В процессе исследований необходимо выявить все функции изучаемого ТО, классифицировать их на главную, основные, дополнительные и вредные. Это делается на всех уровнях составных частей ТО, вплоть до элемента конструктивно-функциональной схемы (КФС). Напомним, что под элементом в системном анализе понимается такая часть ТО, которая больше в процессе анализа не делится. Элементом ТО, как системы, может быть блок, субблок, функциональный узел, ячейка, типовой элемент замены, электрорадиоэлемент. Информационное исследование является минимально необходимым. По сути, оно заключается в детальном обзоре информационных источников, определенных конфигуратором. Задача информационного исследования – выявить современные тенденции достижения показателей дерева целей и сделать заключение о том, можно ли достигнуть этих показателей, и, если можно, то каким путем. В случае, если проанализированные источники информации не дают ответов на поставленные вопросы, необходимо провести углубленные исследования экспериментальным, теоретическим методами или моделированием. Использование этих методов изложено в [16].

2.7 Генерация идеи решения проблемы проектирования

Для принятия новых технических решений по проблеме проектирования могут быть использованы следующие методы [14, 17 - 23]:

- 1) мозговые атаки;
- 2) морфологический анализ;
- 3) функционально-стоимостной анализ;
- 4) метод эвристических приемов;
- 5) использование теории решения изобретательских задач (ТРИЗ);
- 6) использование «изобретающих» пакетов прикладных программ;
- 7) аналитические методы, моделирование и исследование моделей.

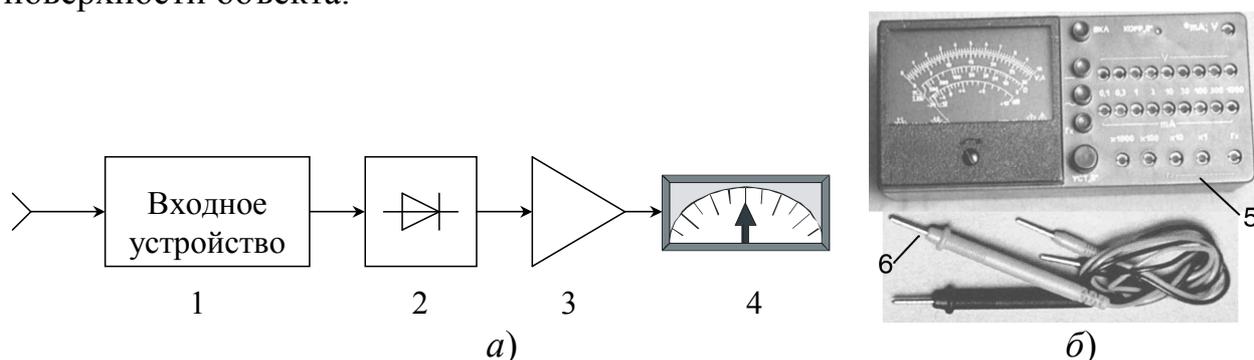
На этом этапе решаются две задачи – выбор и обоснование метода поиска новых технических решений и собственно поиск. Из найденных решений выбираются оптимальные по отобраным ранее критериям.

На этом этапе из множества сгенерированных вариантов с помощью выбранных критериев принимается решение о том, какой вариант должен быть реализован, а какие отброшены.

2.7.1 Анализ возможных вариантов решения проблемы проектирования

Анализ возможных вариантов решения проблемы приводится ниже в примере улучшения показателей электронного вольтметра.

В качестве прототипа взят аналоговый электронный вольтметр (рисунок 2.3, а), состоящий из входного устройства 1, среднеквадратичного детектора 2, усилителя постоянного тока 3 и стрелочного измерителя магнитоэлектрической системы 4. Электронные функциональные узлы 1...4 размещаются внутри корпуса 5 (рисунок 2.3, б). Измеряемая величина снимается путем удержания руками измерительного щупа 6 на контактной поверхности объекта.



а – структурная схема; б – внешний вид

Рисунок 2.3 – Аналоговый вольтметр

В качестве дополнительных прототипов к описанному выше можно рассмотреть варианты с пиковым детектором и детектором средневыпрямленного значения.

Выявление недостатков прототипа. Удержание измерительного щупа руками на контактной поверхности объекта не гарантирует плотного и надежного контакта, вследствие чего правильность измерений может быть нарушена. Время, затрачиваемое на этапы регистрации измерения, оказывается чрезмерным. Поскольку регистрация измерения проводится оператором вручную, не исключены ошибки: на этапе считывания показаний со шкалы стрелочного измерителя магнитоэлектрической системы 4 за счет параллакса; на этапе фиксации результата на бумаге за счет описок; на этапе ввода данных измерений в ЭВМ за счет ошибок программиста.

Для снижения вероятности появления ошибок измерения и их регистрации, а также для повышения производительности процесса многократных измерений желательно иметь измерительный комплекс с надежным креплением измерительного щупа к контактной поверхности объекта и автоматизированным вводом значений измеряемой величины в ЭВМ.

Выбор критериев качества. За критерий качества примем относительное время регистрации одного измерения:

$$\tau = \frac{t_1}{t_{\text{РЕГ}}},$$

где $t_{\text{РЕГ}}$ – абсолютное время регистрации одного измерения; t_1 – время на подключение измерительного щупа.

Точность измерения за критерий качества, в данном случае, принимать не целесообразно, поскольку автоматизированные измерительные комплексы вносят дополнительные погрешности измерения, связанные с аналого-цифровым преобразователем.

Разделение вольтметра (прототипа) на элементы. Описание функций элементов вольтметра приведено в таблице 2.8, а соответствующая ему конструктивно-функциональная схема – на рисунке 2.4.

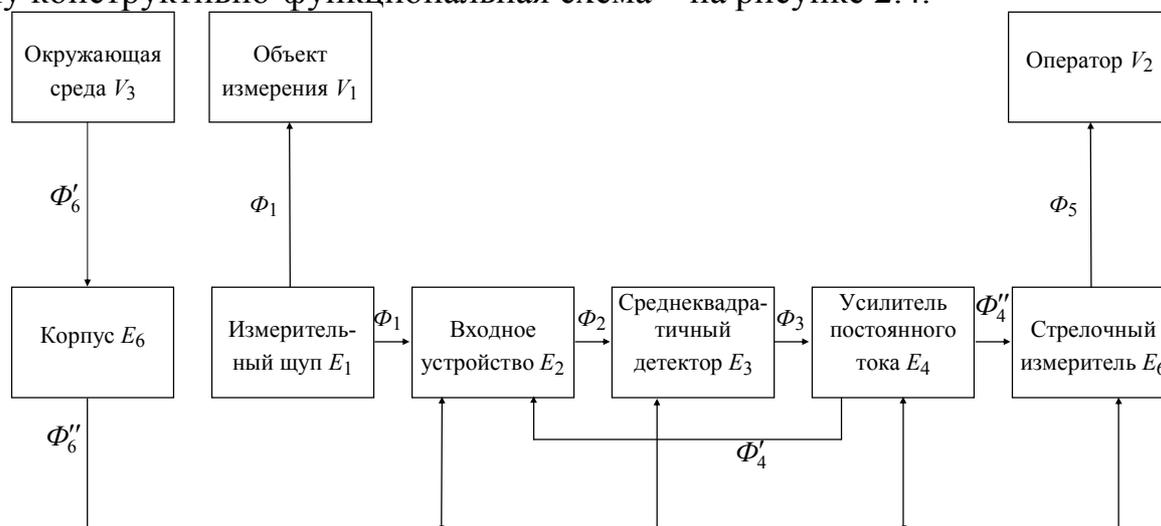


Рисунок 2.4 – Конструктивно-функциональная схема прототипа

Таблица 2.8 – Измерение постоянного и переменного напряжений (прототип)

Элементы		Функции	
Обозначение	Наименование	Обозначение	Описание
E_1	Измерительный щуп	Φ_1	Электрическое соединение между контактной поверхностью объекта измерения V_1 и клеммами входного устройства E_2
E_2	Входное устройство	Φ_2	Деление напряжения, действующего на измерительном щупе E_1
E_3	Среднеквадратичный детектор	Φ_3	Выделение постоянной составляющей напряжения со входного устройства E_2 , которое прямо пропорционально среднеквадратичному значению напряжения на измерительном щупе E_1
E_4	Усилитель постоянного тока	Φ_4	Обеспечение высокого сопротивления и чувствительности входного

			устройства E_2
		Φ_4''	Подача сигнала на магнитоэлектрическую систему для отклонения стрелочного измерителя E_5
E_5	Стрелочный измеритель магнитоэлектрической системы	Φ_5	Отображение значения измеряемого напряжения для оператора V_2
E_6	Корпус	Φ_6'	Защита внутренних элементов вольтметра $E_2 \dots E_5$ от внешних воздействий V_3
		Φ_6''	Фиксация внутренних элементов вольтметра $E_2 \dots E_5$

Построение улучшенных ФС. Для автоматизации процесса измерения напряжения и передачи измеренных данных в ЭВМ необходимо перейти к цифровому (дискретному) представлению информации. Для этого целесообразно ввести блок аналого-цифрового преобразования E_4 (рисунок 2.5). Поэлементная детализация блока аналого-цифрового преобразования не приводится, чтобы не усложнять конструктивно-функциональную схему нового устройства. Необходимо также ввести новый интерфейсный блок E_7 , который бы обеспечивал передачу данных в ЭВМ. Желательно отказаться от стрелочного измерителя магнитоэлектрической системы и заменить его устройством цифрового отсчета (индикатором) E_5 . Улучшенная КФС представлена в таблице 2.9 и на рисунке 2.5.

Таблица 2.9 – Измерение постоянного и переменного напряжений (улучшенный вариант)

Элементы		Функции	
Обозначение	Наименование	Обозначение	Описание
E_1	Измерительный щуп	Φ_1	Электрическое соединение между контактной поверхностью объекта измерения V_1 и клеммами входного устройства E_2
E_2	Входное устройство	Φ_2	Деление напряжения, действующего на измерительном щупе E_1
E_3	Детектор	Φ_3	Выделение постоянной составляющей напряжения со входного устройства E_2

E_4	Блок аналого-цифрового преобразования	Φ_4	Преобразование аналоговой величины напряжения, выделенной детектором E_3 , в дискретную величину
E_5	Устройство цифрового отсчета (индикатор)	Φ_5	Отображение цифрового значения измеряемого напряжения для оператора V_2
E_6	Корпус	Φ'_6	Защита внутренних элементов вольтметра $E_2 - E_5$ от внешних воздействий V_3
		Φ''_6	Фиксация внутренних элементов вольтметра $E_2 - E_5$
E_7	Интерфейсный блок	Φ_7	Передача цифровых данных о измеряемой величине в ЭВМ V_4

Составление морфологических таблиц. Анализ задачи показывает, что различные способы реализации функций Φ_2 , Φ_5 , Φ_6 мало влияют на устранение недостатков прототипа и повышение критерия его качества. Поэтому для этих функций не будем рассматривать различные альтернативные варианты реализации и не будем включать их в морфологическую таблицу. Результаты работы по заполнению морфологической матрицы приведены в таблице 2.10.

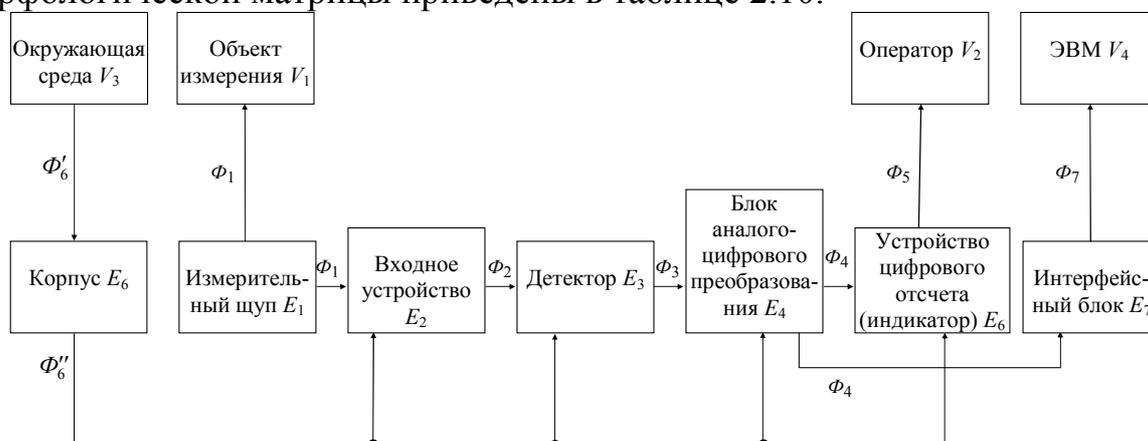


Рисунок 2.5 – Улучшенная функциональная структура вольтметра

Таблица 2.10 – Морфологическая таблица вариантов цифрового вольтметра

Φ_1 - способ контакта между поверхностью объекта измерения и измерительным щупом	Φ_3 - выделение постоянной составляющей напряжения со входного устройства	Φ_4 - преобразование аналоговой величины напряжения в дискретную	Φ_7 - передача цифровых данных о измеряемой величине в ЭВМ
---	--	---	---

A_1^1 - вакуумный	A_3^1 - пиковый (амплитудный) детектор с открытым входом	A_4^1 - времяимпульсное преобразование	A_7^1 - параллельный интерфейс данных <i>LPT</i>
A_1^2 - механический контакт	A_3^2 - пиковый (амплитудный) детектор с закрытым входом	A_4^2 - поразрядное уравнивание	A_7^2 - последовательный интерфейс данных <i>COM</i>
A_1^3 - клейкое электропроводное покрытие измерительного щупа	A_3^3 - детектор среднеквадратичного значения	A_4^3 - параллельное уравнивание	A_7^3 - универсальная последовательная шина <i>USB</i> аппаратной версии 1.0
	A_3^4 - детектор средневыпрямленного значения	A_4^4 - комбинированное преобразование (A_4^1, A_4^2); (A_4^1, A_4^3); (A_4^2, A_4^3) и т.д.	A_7^4 - универсальная последовательная шина <i>USB</i> аппаратной версии 2.0 (повышенная скорость передачи данных)

Выбор наиболее эффективных технических решений (ТР). В соответствие с таблицей 2.10 число возможных вариантов ТР цифрового вольтметра составляет $N = 3 \cdot 4 \cdot 4 \cdot 4 = 192$. Поскольку $N < 10^4$ [14], то сокращение альтернатив в столбцах проводить не нужно.

Сокращение множества возможных вариантов ТР. Сначала строится таблица 2.11, в которой исключаются наихудшие комбинации из двух элементов. Затем строится таблица 2.12, в которой устраняются наихудшие комбинации из трех элементов (зачеркнуты двумя линиями). Поскольку осталось много допустимых вариантов, то для них проводится сравнительная оценка, и из них опять исключаются худшие (зачеркнуты одной чертой).

Таблица 2.11 – Сокращение комбинаций из двух элементов

	A_3^1	A_3^2	A_3^3	A_3^4
A_1^1				
A_1^2				
A_1^3				

Таблица 2.12 – Сокращение комбинаций из трех элементов

	A_4^1	A_4^2	A_4^3	A_4^4
$A_1^1 A_3^1$				
$A_1^1 A_3^2$				
$A_1^1 A_3^3$				
$A_1^2 A_3^1$				
$A_1^2 A_3^2$				
$A_1^2 A_3^3$				

Строится окончательная таблица 2.13, в которой сначала устранили явно худшие варианты (зачеркнуты двумя линиями). Оставшиеся варианты сравниваются между собой с использованием также дополнительных показателей сравнения (надежность, трудоемкость изготовления, стоимость). Исключенные при этом варианты зачеркнуты в таблице 2.13 одной чертой.

Выбор наиболее эффективных вариантов ТР. Формально в таблице 2.13 осталось четыре варианта, относящихся к двум строкам. Таким образом, для более детальной проработки предлагается четыре варианта:

$$ТР1 = (A_1^2, A_3^3, A_4^1, A_7^1),$$

$$ТР2 = (A_1^2, A_3^3, A_4^1, A_7^4),$$

$$ТР3 = (A_1^2, A_3^3, A_4^3, A_7^1),$$

$$ТР4 = (A_1^2, A_3^3, A_4^3, A_7^4).$$

Таблица 2.13 – Сокращение комбинаций из четырех элементов

№№		A_7^1	A_7^2	A_7^3	A_7^4
1	$A_1^1 A_3^2 A_4^1$				
2	$A_1^1 A_3^2 A_4^3$				
3	$A_1^1 A_3^2 A_4^4$				
4	$A_1^1 A_3^3 A_4^1$				
5	$A_1^1 A_3^3 A_4^3$				
6	$A_1^1 A_3^3 A_4^4$				
7	$A_1^2 A_3^2 A_4^1$				
8	$A_1^2 A_3^2 A_4^3$				
9	$A_1^2 A_3^2 A_4^4$				
10	$A_1^2 A_3^3 A_4^1$				

11	$A_1^2 A_3^3 A_4^3$				
12	$A_1^2 A_3^3 A_4^4$				

2.7.2 Описание альтернативного варианта

В описании альтернативного варианта необходимо отразить следующие вопросы:

- физический принцип действия альтернативного варианта и его обоснование;
- электрическая схема изделия;
- предпочтительный конструктивный вариант исполнения;
- рекомендации по технологии изготовления изделия.

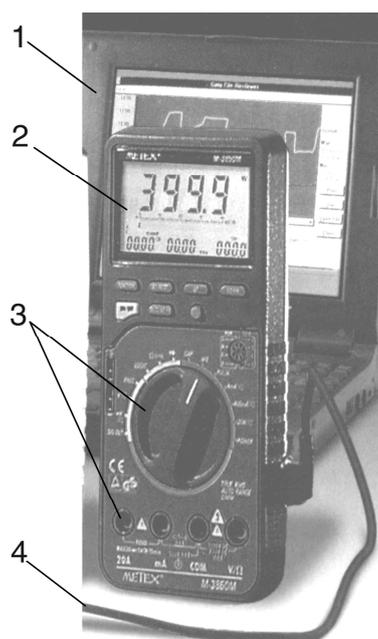
По рассматриваемому примеру, связанному с проектированием улучшенного варианта электронного вольтметра, имеем четыре технических решения.

Полученное ТР1 изображено на рисунке 2.6. В качестве способа крепления измерительного щупа к объекту измерения выбран механический способ фиксации. В частности, целесообразно применить широко распространенный зажим типа «крокодильчик» (на рисунке не показан). Во входном устройстве 3 в отличие от прототипа число входных гнезд сокращено до четырех, а выбор необходимых масштабов измерения осуществляется поворотным переключателем. Вид детектора в улучшенной конструктивно-функциональной схеме вольтметра не изменился по сравнению с прототипом на рисунке 2.3. Стрелочный измеритель магнитоэлектрической системы преобразован в мультidisплей 2 с одновременным отображением измеряемой величины в цифровом виде и на графической шкале. Для связи с ЭВМ 1 служит параллельный интерфейс LPT 4, особенностью которого является относительно высокая скорость передачи информации.

ТР2 отличается использованием перспективного интерфейса USB аппаратной версии 2.0, который обладает не только высокой скоростью передачи информации, но и возможностью «горячего» подключения к ЭВМ (без перезагрузки).

ТР3 и ТР4 отличаются использованием другого способа аналого-цифрового преобразования – параллельного уравнивания (метод считывания) [11]. Указанный способ преобразования наиболее полно отвечает сформулированному критерию качества.

Далее описываем новое техническое решение по приведенным выше рекомендациям.



1 – ЭВМ; 2 – мультидисплей; 3 – входное устройство; 4 – кабель интерфейса
Рисунок 2.6 - Улучшенное техническое решение вольтметра

3 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Системные методы в проектировании, производстве, эксплуатации РЭС позволяют методологически оптимально решать проблемные ситуации, возникающие в ходе практической деятельности радиоинженера. Практика применения технологии прикладного системного анализа в различных сферах инженерной деятельности, накопленная нами в 1992...2010 гг., показывает, что теория системного анализа, примененная для решения проблем анализа и синтеза различных систем, дает впечатляющие результаты.

Конструирование систем – это сложный и многогранный процесс. Для достижения поставленной цели необходимо учесть множество ограничений и интересы всех участников проблемной ситуации. Сделать это позволяет системный подход на основе методологии системного анализа. Теория научно-технического творчества дает возможность наикратчайшим путем получить оптимальное техническое решение. Следует заметить, что выбор того или иного метода поиска нового технического решения существенным образом зависит от образа мышления и психологии инженера, использующего методологию инженерного творчества. Для лиц с необузданной фантазией и раскованным мышлением больше подходит метод мозговой атаки. Педанты, склонные к тщательному и скрупулезному анализу, предпочтут морфологические методы, основанные на всестороннем исследовании поставленной проблемы.

Заметим, что методология системного анализа и инженерного творчества настоятельно требует создания индивидуальной базы данных для каждого инженера, которая должна содержать банки физико-технических эффектов, эвристических приемов, собственных технических решений, которые наиболее приемлемы и доступны именно для индивидуального использования.

Существенную роль в инженерной деятельности играют вопросы физического и математического моделирования процессов, протекающих в проектируемых РЭС различного системного уровня. Поэтому указанная индивидуальная база данных должна содержать современные программные комплексы и программные продукты для моделирования. Современный арсенал программного обеспечения физико-математического моделирования электрических, электромагнитных, тепловых, механических и других процессов позволяет в сочетании с системными методами их применения рационально решить проблему выбора нового технического решения.

В заключение пожелаем читателю системного мышления в любых сферах своей практической деятельности и успехов в достижении поставленных целей.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев В.П., Озёркин Д.В. Системный анализ и методы научно-технического творчества: Уч. пособие. – Томск: Издательство ИОА СО РАН, 2003. – 304 с.
2. Основы научных исследований. Учебное пособие. Под ред. В.И.Крутова. М.: Высшая школа, 1989. – 400 с.
3. Еременко Д. Цифровое телевидение – в Москве // Stereo&Video, 2002, №9. С. 18-19.
4. Карлащук В.И. Электронная лаборатория на IBM PC. Программа Electronics Workbench и ее применение. М.: Солон-Р, 1999. – 512 с.
5. Скурихин В.И., Шифрин В.Б., Дубровский В.В. Математическое моделирование. Киев, Техника, 1983. – 270 с.
6. Официальный сайт фирмы Loewe. <http://www.loewe.ru>.
7. Озёркин Д.В. Анализ и синтез термостабильных радиотехнических устройств и систем // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Томск, 2000. – 166 с.
8. Деньдобренъко Б.Н., Малика А.С. Автоматизация конструирования РЭА: Учебник для вузов. - М., Высш. школа, 1980. – 384 с.
9. Разевиг В.Д. Схемотехническое моделирование с помощью Micro-CAP 7. – М.: Горячая линия – Телеком, 2003. – 368 с.
10. Дьяконов В. MathCAD 2001: Учебный курс. СПб: Питер, 2001. – 621 с.
11. Опадчий Ю.Ф. и др. Аналоговая и цифровая электроника (Полный курс): Учебник для ВУЗов / Ю.Ф.Опадчий, О.П.Глудкин, А.И.Гуров; Под ред. О.П. Глудкина. – М.: Горячая линия – Телеком, 2002. – 768 с.
12. Городилин В.М., Городилин В.В. Регулировка радиоаппаратуры: Учеб. для ПТУ. – 4-е изд., испр. и доп. – М.: Высш. шк., 1992. – 271 с.
13. Чернышев А.А. Основы конструирования и надежности электронных вычислительных средств: Учеб. для вузов. – М.: Радио и связь, 1998. – 448 с.
14. Половинкин А.И. Основы инженерного творчества. – М.: Машиностроение, 1988.
15. Половинкин А.И. Методы инженерного творчества. Учеб. пособие. Волгоград: ВолгПИ, 1984. – 364 с.
16. Алексеев В.П., Озёркин Д.В. Основы научных исследований и патентоведение: Уч. пособие. – Томск: Издательство ИОА СО РАН, 2003. – 180 с.
17. Мюллер И. Эвристические методы в инженерных разработках / Пер. с нем. М.: Радио и связь, 1984. – 144 с.
18. Альтшуллер Г.С. Алгоритм изобретения. М.: Московский рабочий, 1973. – 296 с.
19. Буш Г.Я. Основы эвристики для изобретателей. Рига: Знание, 1977.

20. Диксон Д. Проектирование систем: изобретательство, анализ, принятие решений / Пер. с англ. М.: Мир, 1969. – 440 с.

21. Выявление обобщенных приемов улучшения основных характеристик преобразователей с распределенными параметрами/Зарипов М.Ф., Файрушина Т.А., Зайнутдинова Л.Х., Мамаджанов А.М.//Теория информационных систем и систем управления с распределенными параметрами. М.: Наука, 1978. С. 148—153.

22. Грамп Е.А. Функционально-стоимостной анализ: сущность, теоретические основы, опыт применения за рубежом. М.: Информэлектро, 1980. – 64 с.

23. Петров В.М., Злотина Э.С. Теория решения изобретательских задач – основа прогнозирования развития технических систем. Л.: Квант, 1989. – 92 с.

24. Алексеев В.П., Озёркин Д.В. Системная технология инженерного проектирования РЭС: Уч. пособие – Томск, ТУСУР, 2006 – 150 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1 - МЕТОДИЧЕСКИЙ ПРИМЕР ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРИКЛАДНОГО СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ РЭС

**Тема проекта: «Электронный модуль защиты асинхронных
электродвигателей»**

1. Фиксация проблемы

1.1 Определение потребности в разрабатываемом изделии

Во многих областях современной промышленности используются электродвигатели (ЭД), к безопасной эксплуатации которых предъявляются высокие требования, выполнение которых исключают возможность выхода из строя электродвигателей и, как следствие, возникновение аварийных ситуаций на производстве. Вышедшие из строя электродвигатели могут явиться следствием аварий, пожаров, взрывов, техногенных катастроф. Стоимость сгоревшего оборудования порой ничтожно мала по сравнению с потерями, связанными с остановкой производства, простоем технологического процесса

В зависимости от типа электропривода и условий эксплуатации применяются различные виды защиты ЭД от внешних и внутренних факторов, препятствующие проявлению отказов в работе ЭД или выходу их из строя.

Для недорогих электродвигателей мощностью до нескольких киловатт защита ограничивается предохранителями в сочетании с магнитными пускателями. Предохранители надёжно защищают устройство от перегрузки по току, но нередко являются первопричиной другого вида повреждений – обрыва фазы. Защиту от чрезмерно большого тока обеспечивают тепловые реле магнитных пускателей, которые включаются в цепь питания электродвигателя. Однако такое защитное устройство требует подстройки при изменении внешней температуры и подбора нагревательных элементов в соответствие с мощностью защищаемого электродвигателя. Как показывает практика эксплуатации подобных видов защит их эффективность довольно низка.

1.2 Анализ состояния рынка. Прогнозирование объемов производства. Поиск аналогов и прототипа.

1.2.1 Анализ состояния рынка

Анализ состояния рынка проведём на основе определения объема продаж и запросов на электронный модуль защиты асинхронных электродвигателей в прежней реализации. Основой для указанного анализа

может служить матрица потребности и реализации, которая была составлена на основании маркетингового исследования, проведённого специалистами фирмы-изготовителя (см. таблицу 1.1).

Таблица 1.1 – Матрица потребности и реализации изделия

Регион	Объем продаж, в 2009 году, шт.	Объем запросов, на 2010 год, шт.	Дефицит/профицит, шт.
Уральский	20962 в год	34000 в год	Дефицит 13038 в 2010 году
Сибирский	81123 в год	78000 в год	Профицит 3123 в 2010 году

Анализ матрицы потребности и продаж показывает, что в сибирском регионе требуются дополнительные маркетинговые исследования о причинах падения спроса на изделие. Однозначно можно сделать вывод о том, что объём крупносерийного производства в 100 тыс. изделий в год сохраняется. На 2011 год его можно планировать, но с учётом предполагаемого улучшения потребительских качеств вновь разрабатываемого изделия требуется глубокое маркетинговое исследование.

1.2.2 Прогнозирование объемов производства

На основании таблицы 1.1 и анализа потребности установим уровень серийного производства в объёме 100000 изделий в год с возможностью увеличения до 110...120 тыс. изд./год. При увеличении спроса необходимо предусмотреть технологические и организационные способы обеспечения спроса.

1.2.3 Поиск аналогов и прототипа проектного изделия

Рассмотрим аналогичные устройства защиты электродвигателей выпускаемые отечественной промышленностью.

Устройство «РДЦ-01м» (рисунок 1.1) с цифровой настройкой и индикацией контролируемых параметров предназначено для защиты трехфазных асинхронных электродвигателей 0.4 кВ (127/220 В, в том числе глубинных насосов) от последствий: перегрузок, асимметрии питающей сети, работы с недогрузкой, превышения питающего напряжения, понижения питающего напряжения, неправильного чередования фаз.



Рисунок 1.1 – Устройство «РДЦ-01М» фирмы «ТРАНСЭКО»

Одновременно, кроме защитных функций, устройство имеет возможность индикации следующих параметров:

- потребляемого тока по каждой фазе (I_A, I_B, I_C);
- напряжения в сети по каждой фазе (U_A, U_B, U_C);
- частоты сети;
- аномалии в сети и причин;
- наступивших аварийных состояний.

Условия эксплуатации:

- для исполнения УЗ, УХЛ2: $-40...+55^{\circ}\text{C}$;
- для исполнения ТЗ: $-10...+55^{\circ}\text{C}$.

Порог срабатывания при перегрузке по току в диапазоне $(1.1...2.0) \cdot I_{\text{НОМ}}$.

Время срабатывания при перегрузке по току зависит от времени запуска двигателя и величины перегрузки по току.

Устройство может комплектоваться внешними датчиками контроля тока.

Устройство защиты электродвигателя «УЗЭД-2» (рисунок 1.2) предназначено для защиты статорных обмоток электродвигателей мощностью от 5 до 100 кВт при наличии следующих аварийных режимов:

- отключение электродвигателя от сети при пропадании фазы питающей сети;

- отключение электродвигателя от сети при повышении тока статорной обмотки выше номинального значения при следующих возможных причинах: асимметрия сети, выход из строя подшипников, большая нагрузка на вал ротора. Кратность установки срабатывания защиты устанавливается в диапазоне $1.05...1.2$ от номинального тока электродвигателя;

- отключения электродвигателя от сети при асимметрии ее выше уровня $+60\text{В}$ от 380В .

Технические характеристики УЗЭД-2:

- напряжение питания 220 В, 50Гц;
- время задержки срабатывания защиты при пуске электродвигателя $5...7$ с;
- время срабатывания защиты 2 с;

- интервал рабочих температур 0...+40°C;
- габаритные размеры 255×92×44 мм;
- масса, не более 0.65 кг;
- влажность до 95 %.



Рисунок 1.2 – Устройство «УЗЭД-2» фирмы «ТЭИРА»

Имеющийся недостаток данного устройства в том, что предусмотрена защита электродвигателя только по току.

Назначение устройства «УЗЭ-1,-2,-3» фирмы «СЭЛВА» (рисунок 1.3): устройство защиты электродвигателя предназначено для автоматической защиты трехфазных асинхронных и синхронных электродвигателей переменного тока промышленной частоты (50 Гц) при перегрузках и обрыве (потере) любой из фаз питающей сети.



Рисунок 1.3 – Устройство «УЗЭ-1,-2,-3» фирмы «СЭЛВА»

Область применения: электроустановки напряжением 220/380 В, эксплуатирующиеся под навесом, в помещениях или в оболочке, исключающих прямое воздействие атмосферных осадков, брызг воды и конденсацию влаги. Номинальные значения климатических факторов на устройство по ГОСТ 15150-69 для вида климатического исполнения УХЛ и категории размещения 2, но при температуре от –45°C до +40°C.

Устройство имеет три исполнения:

- УЗЭ-1 – с диапазоном токов защиты 1.75...25 А (для электродвигателей с мощностью от 1 до 15 кВт);
- УЗЭ-2 – с диапазоном токов защиты 12...150 А (для электродвигателей с мощностью от 7 до 90 кВт);
- УЗЭ-3 – с диапазоном токов защиты 60...490 А (для электродвигателей с мощностью от 30 до 275 кВт).

Основные параметры:

- напряжение питающей сети переменного тока частотой 50 ± 1 Гц: 220В (+22; -33);
- потребляемая от сети мощность: не более 8 ВА;
- габаритные размеры и масса составных частей:
 - блок защиты (БЗ): $150 \times 80 \times 50$ мм;
 - датчики тока (ДТ-1, ДТ-2, ДТ-3): $70 \times 55 \times 24$ мм;
- масса составных частей:
 - блок защиты БЗ: 0.4 кг;
 - датчики тока (ДТ-1, ДТ-2, ДТ-3): 0.2 кг;
- число установок токов защиты в каждом исполнении: от 40 до 55;
- погрешность установок токов защиты: не более 10 %;
- степень защиты оболочек БЗ и ДТ по ГОСТ 14254-80: IP20;
- инерционность: не более 3 с;
- диапазон регулирования времени нечувствительности к пусковым перегрузкам: не уже 4...30 с;
- количество выходов: 2 (один замыкающий и один переключающий «сухие» контакты, гальванически развязанные между собой);
- коммутирующая способность выходов:
 - род тока: переменный;
 - максимальный ток (эффективное значение): 1.6 А;
 - максимальное напряжение (эффективное значение): 410 В;
 - характер нагрузки: активный или активно-индуктивный с $\cos \phi$ не менее 0.4;

Устройство обеспечивает отключение пусковой аппаратуры (пускателя, контактора) при:

- обрыве (потере) любой из фаз питающей сети;
- перегрузке электродвигателя;
- обрыве и коротком замыкании линии связи между БЗ и ДТ.

Устройство защиты трехфазных двигателей «УЗТЭ-1» ООО «Энергопромавтоматика» (рисунок 1.4) используется для отключения двигателя при его перегрузке по мощности, а также при обрыве одной из фаз питающей сети. Магнитный пускатель устройства может быть подключен к внешней цепи управления. Для защиты от перегрузки по мощности используется автомат типа АП или АЕ. Для защиты по току используется реле контроля фаз собственной разработки (для удешевления устройства).



Рисунок 1.4 – «УЗТЭ-1» ООО «Энергопромавтоматика»

Технические характеристики «УЗТЭ-1»:

- напряжение питания: 220 В, 50Гц;
- количество фаз: 3;
- мощность нагрузки до 20 кВт;
- время отключения: не более 1с;
- время отключения при обрыве фазы: не более 5 с;
- габаритные размеры: 250×400×120 мм;
- масса: не более 5 кг.

Недостатки «УЗТЭ-1»: отсутствие контроля температуры и виброшумов электродвигателя, большие массогабаритные показатели.

Микропроцессорное устройство защиты электродвигателя «МПУЗЭ-5» ОАО КСПКБ «Менас» (рисунок 1.5) предназначено для отключения асинхронных электродвигателей мощностью 10...350 кВт с номинальным напряжением 380 В при недопустимых перегрузках при пуске, в рабочем режиме и при обрыве фазы.



Рисунок 1.5 – Устройство «МПУЗЭ-5» ОАО КСПКБ «Менас»

Устройство состоит из программируемого микроконтроллера и датчиков тока. Датчики тока выполнены в виде трех колец. Каждое кольцо одевается на одну из фаз питания электродвигателя, и они контролируют ток независимо по каждой фазе с момента подачи напряжения на двигатель. Датчики тока формируют сигнал о значении тока независимо по каждой фазе. Микроконтроллер с помощью коммутатора и АЦП периодически измеряет токи в силовых проводах фаз *A*, *B* и *C*. Средний ток 3-х фаз отображается на индикаторе. По измеренным значениям фазных токов выявляются аварийные режимы работы двигателя: обрыв фазы и перегрузка по току. При появлении аварийных режимов двигатель автоматически отключается. Клавиатура, имеющаяся в «МПУЗЭ-5» предназначена для задания параметров в цифровой форме. Параметры в процессе ввода отображаются на индикаторе и записываются во внутреннюю энергонезависимую память. В этой же памяти накапливаются сведения о количестве аварийных отключений двигателя отдельно по перегрузке тока и по обрыву фазы. Количество отключений по названным причинам отображается на индикаторе.

Технические характеристики «МПУЗЭ-5»:

- количество программируемых параметров: 5;
- ток коммутации при напряжении 220В: 16 А;
- время отключения при обрыве фазы: не более 2 с;
- время разгона до номинальных оборотов при пуске: 1...99 с;

- время блокировки пуска: 0...255 мин;
- число параметров и состояний, отражаемых на табло индикации: 14;
- напряжение питания: 220 В, 50 Гц;
- потребляемая мощность: не более 3.5 Вт;
- габаритные размеры: 160×95×50 мм;
- масса: не более 1 кг;

Блок обеспечивает:

- контроль времени разгона электродвигателя до номинальных оборотов;
- контроль и индикацию перегрузки по току при пуске электродвигателя;
- контроль и индикацию рабочего тока ЭД при номинальных оборотах;
- контроль и индикацию перегрузок по току при номинальных оборотах;
- контроль обрыва любой из фаз на работающем электродвигателе.

Недостатки «МПУЗЭ-5»: отсутствие контроля температуры ЭД, акустических шумов и вибраций электродвигателя, высокая стоимость.

Универсальный блок защиты ЭД «УБЗ-301» (рисунок 1.6) обеспечивает защиту от аварий сетевого напряжения: обрыв, слипание, нарушение последовательности, перекос, скачки, провалы напряжения. Осуществляет одновременный контроль токов и напряжений, необходимый для анализа вида аварии. «УБЗ-301» работает по действующим значениям тока и напряжения. Применение микропроцессорной техники в конструкции «УБЗ-301» обеспечивает защиту по тепловому перегрузу и осуществляет защиту при симметричном/несимметричном перегрузе фазных/линейных токов по сложной логике принятия решений (механические перегрузки, повреждения внутри двигателя/питающего кабеля и пр.).



Рисунок 1.6 – Устройство «УБЗ-301»

В блоке «УБЗ-301» имеется защита по минимальному рабочему или пусковому току («сухой ход» для насосов).

В блоке «УБЗ-301», в отличие от других, два гальванически развязанных «сухих» контакта, что необходимо для построения схемы дистанционного контроля и управления. Он единственный имеет

интерфейсный выход, что дает возможность использования его в проектах АСУ ТП и диспетчеризации.

Существующие устройства защиты ЭД отличаются большим разнообразием контролируемых параметров. Систематизировав анализ рассмотренных устройств, сведем полученные результаты в таблицу 1.2.

Таблица 1.2 – Существующие устройства защиты ЭД

Название, фирма-разработчик	Выполняемые функции	Достоинства	Недостатки
«УЗЭД-2» фирмы «ТЭИРА»	Устройство защиты электродвигателя при пропадании фазы питающей сети; при повышении тока статорной обмотки выше номинального; при асимметрии сети выше уровня +60В от 380В	Малые габариты, масса, быстрое время срабатывания защиты	Отсутствие контроля температуры ЭД, акустических шумов, ударов и вибраций электродвигателя, высокая стоимость. Устройство защиты предназначено только для защиты электродвигателя по току
«РДЦ-01М» фирмы «ТРАНСЭКО»	Устройство защиты электродвигателя с цифровой настройкой и индикацией от последствий: перегрузок, асимметрии питающей сети, работы с недогрузкой, превышения питающего напряжения, понижения питающего напряжения, неправильного чередования фаз	Цифровая настройка и индикация контролируемых параметров	Отсутствие контроля температуры ЭД, акустических шумов, ударов и вибраций электродвигателя, высокая стоимость
«УЗЭ-1,-2,-3» фирмы «СЭЛВА»	Устройство защиты электродвигателя при перегрузках и обрыве (потере) любой из фаз питающей сети	Контролирует характер нагрузки – активный или активно-	Отсутствие контроля температуры ЭД, акустических шумов, ударов и

		индуктивный , высокая точность установок токов защиты	вибраций электродвигателя, высокая стоимость
--	--	--	--

Продолжение таблицы 1.2

Название, фирма- разработч ик	Выполняемые функции	Достоинства	Недостатки
«УЗТЭ-1» ООО «Энергопр омавтомати ка»	Устройство защиты трехфазных двигателей для отключения двигателя при его перегрузке по мощности, а также при обрыве одной из фаз питающей сети	Быстрое время срабатывани я защиты	Отсутствие контроля температуры ЭД, акустических шумов и вибраций электродвигателя, высокая стоимость. Большие габариты и вес
«МПУЗЭ- 5» ОАО КСПКБ «Менас»	Микропроцессорное устройство защиты электродвигателя при недопустимых перегрузках при пуске, в рабочем режиме и при обрыве фазы.	Большое количество программиру емых параметров. Большое число параметров и состояний, отражаемых на табло индикации.	Отсутствие контроля температуры ЭД, акустических шумов и вибраций электродвигателя, высокая стоимость.
«КАС- КАД»	Устройство управления и защиты «Каскад» предназначено для эксплуатации с электронасосными агрегатами переменного тока асинхронного типа	Цифровая настройка и индикация контролируе мых параметров	Отсутствие контроля температуры ЭД, акустических шумов и вибраций электродвигателя. Высокая квалификация персонала

«АЛТАЙ-С»	Устройство узко специализированно для управления погружными насосами	Незначительные массогабаритные показатели. Простое в эксплуатации и при отсутствии фирменного сервиса	Отсутствие контроля температуры ЭД, акустических шумов и вибраций электродвигателя
-----------	--	---	--

Окончание таблицы 1.2

Название, фирма-разработчик	Выполняемые функции	Достоинства	Недостатки
«УКЗ-25» НИИ ПП	Устройство позволяет контролировать: перегрузку по току, перекос фазного тока, неполную нагрузку контролируемого устройства	Позволяет сохранять во встроенной памяти информацию о количестве и причинах аварийных отключений. Компактное	Отсутствие контроля температуры ЭД, акустических шумов и вибраций электродвигателя. Высокая стоимость
«УБЗ-301»	Универсальный блок защиты обеспечивает защиту от аварий сетевого напряжения: обрыв, слипание, нарушение последовательности, перекос, скачки, провалы напряжения. Осуществляет контроль токов и напряжений, необходимый для анализа вида аварии	Применение микропроцессорной техники в конструкции «УБЗ-301» обеспечивает защиту по тепловому перегрузу. Осуществляется защита при симметричном / несимметричном перегрузе	Отсутствие контроля температуры ЭД, акустических шумов и вибраций электродвигателя. Высокая стоимость

		фазных / линейных токов	
--	--	-------------------------------	--

1.3 Критика прототипа и формулировка проблемы

На основании анализа приведенной таблицы можно сделать вывод о том, что ни одно из приведенных устройств защиты электродвигателей однозначно не соответствует предъявляемым требованиям технического задания. В данной проектной ситуации в качестве прототипа определим устройство «Алтай – С». Заполним таблицу недостатков прототипа (таблица 1.3).

Таблица 1.3 – Недостатки прототипа «Алтай – С»

Параметры	Схемные недостатки	Конструктивные недостатки	Технологические недостатки
Параметры защиты от перегрева и вибраций	Отсутствие схемы защиты от температуры и вибраций	Отсутствие функциональных узлов (ФУ) защиты от перегрева и вибраций	Отсутствие технологической документации на устройства защиты от перегрева и вибраций
Параметры защиты от токовых перегрузок и короткого замыкания	Отсутствие схемы защиты от токовых перегрузок и коротких замыканий	Отсутствие ФУ защиты от токовых перегрузок (ТП) и коротких замыканий (КЗ)	Отсутствие технологической документации на устройства защиты от ТП и КЗ

Сформулируем проблему проектирования:

Проблема проектирования состоит в том, что необходимо разработать конструкцию устройства, выполняющего функции комплексной защиты электродвигателя (его отключение) от токовых перегрузок его обмоток при обрыве любой фазы питающей сети, при электрическом пробое обмоток статора ЭД, возникновении короткого замыкания в обмотках ЭД, при превышении электродвигателем допустимого значения рабочей температуры, при возникновении недопустимых механических вибраций корпуса электродвигателя. Устройство должно обладать простотой в обращении и

обслуживании, обеспечивать надлежащий срок надежной эксплуатации при низкой стоимости. Эти параметры должны быть *не хуже*, чем у прототипа. Таким образом, проблема заключается в том, чтобы создать устройство *комплексной* защиты электродвигателя.

2. Участники проблемной ситуации и анализ их интересов

2.1 Список участников проблемной ситуации

При составлении списка участников проблемной ситуации следует руководствоваться здравым смыслом, чувством меры, выделенными ресурсами и научной добросовестностью. Тогда исключается опасность пропустить кого-то из участников, либо охватить слишком широкую область.

В процессе проектирования, производства и эксплуатации модуля защиты электродвигателя выявлены следующие участники проблемной ситуации:

1. Заказчик: НИИ АЭМ (ТУСУР).
2. Разработчик: студент группы 236-1 Иванов И.И.
3. Изготовитель: опытное производство НИИ АЭМ.
4. Служба сбыта: служба сбыта НИИ АЭМ.
5. Потребитель: предприятия нефтегазодобывающей промышленности, агропромышленного сектора, коммунального хозяйства.
6. Служба сервиса: сервисная служба НИИ АЭМ.
7. Окружающая среда: флора, фауна, человек.
8. Культура: традиции проектирования, производства, сервиса, утилизации изделий, выпускаемых на опытном производстве НИИ АЭМ.
9. Инвесторы: банки; инвестиционные организации, финансирующие НИИ АЭМ.

Далее раскрываются возможности всех участников проблемной ситуации на основе анализа деятельности организации НИИ АЭМ

2.2 Анализ адекватности требований заказчика.

Определение источников финансирования

Из формулировки проблемы следует, что условия заказчика о создании модуля комплексной защиты ЭД соответствуют современным требованиям по обеспечению надёжной работы систем, в которых используются дорогие ЭД, замена которых требует больших затрат. Такие модули имеют большую потребность. К источникам финансирования следует отнести ресурсы заказчика при дополнительном взятии кредитов в банке или инновационных вложениях будущих потребителей.

2.3 Анализ возможностей разработчика

Разработчик сталкивается с указанной проблемой впервые. Для её решения необходимо сформировать конфигуратор и изучить его. В список информационных источников должны войти материалы по особенностям проектирования схем, конструкций и технологических процессов, обеспечивающих достижение поставленной цели и ограничений. Экономические закономерности, характерные для современных условий, также должны быть предметом рассмотрения.

2.4 Анализ возможностей изготовителя

Производственная база НИИ АЭМ не обеспечит заданную степень серийности, поскольку не имеет современного роботизированного оборудования. Принимаем решение о выпуске опытной серии в 100 изделий на этой базе для отладки конструкции на технологичность с последующей передачей конструкторской и технологической документации на серийный завод, который определит заказчик на конкурсных условиях.

2.5 Анализ возможностей потребителя

Нефтегазодобывающие компании, как и агропром, являются неквалифицированными потребителями электронных устройств, поэтому потребуются создание сети сервиса и обслуживания предприятием-изготовителем.

2.6 Анализ возможностей служб сбыта, сервиса и утилизации

Серийный завод, на котором будет организовано производство модулей защиты ЭД, должен иметь фирменную сеть сбыта, сервиса и утилизации этих изделий. Данное условие должно быть выполнено при объявлении конкурса в соответствии с Федеральным Законом № 94.

2.7 Анализ интересов прошлого и будущего поколений

При фиксации проблемы интересы прошлого поколения были частично учтены, поскольку степень серийности и сама проблема отвечают требованиям улучшения параметров новых изделий, следовательно, будет наблюдаться прогресс в освоении разработчиком, изготовителем, потребителем новых изделий и технологий. Остаётся правильно, с соблюдением наработанных ранее традиций, составить техническое задание и решить все проблемы участников проблемной ситуации. Будущее поколение также выиграет за счёт увеличения количества рабочих мест при массовом производстве модулей.

2.8 Анализ возможных последствий решения проблемы

проектирования на экологическую ситуацию

При проектировании, производстве, эксплуатации, утилизации электронного модуля защиты ЭД возможно отрицательное влияние этих процессов на окружающую среду и человека. Попробуем сделать прогноз такого влияния и выявить вредные факторы. Следует заметить, что основной причиной вредного влияния, как правило, являются нарушения правил охраны труда, производственной санитарии, технологической и трудовой дисциплины, инструкций по технической эксплуатации и технике безопасности при работе с изделиями электронной техники. Немалую роль играет тщательный и своевременный контроль на всех указанных выше жизненных циклах проектируемого изделия за соблюдением всех норм и правил, а также периодическая их корректировка в сторону ужесточения по мере развития науки и техники.

На последующих этапах проектирования все указанные в таблице 1.4 факторы уточняются и разрабатываются меры по их нейтрализации.

Таблица 1.4 – Возможные последствия при изготовлении, эксплуатации, утилизации изделий

Стадии жизненного цикла изделия	Экологические факторы			
	Название 1	Название 2	Название 3	Название 4
Проектирование и изготовление	1. Освещение рабочих мест 2. Защитное заземление и зануление 3. Чистота воздуха 4. Чистота воды 5. Соблюдение норм занимаемой площади работниками и оборудованием	1. Вредные выделения газов 2. Вредные выделения ядовитых жидкостей 3. Вредные отходы твёрдых веществ	1. Вредные электромагнитные излучения 2. Вредные радиоактивные излучения	1. Опасность поражения электрическим током
Эксплуатация	1. Освещение рабочих мест 2. Защитное заземление и зануление 3. Чистота воздуха 4. Чистота воды 5. Соблюдение норм	1. Вредные выделения газов 2. Вредные выделения ядовитых жидкостей 3. Вредные	1. Вредные электромагнитные излучения 2. Вредные радиоактивные излучения	1. Опасность поражения электрическим током

	занимаемой площади работниками и оборудованием	отходы твёрдых веществ		
Утилизация	1. Освещение рабочих мест 2. Защитное заземление и зануление 3. Чистота воздуха 4. Чистота воды 5. Расположение свалки и переработка отходов	1. Вредные выделения газов 2. Вредные выделения ядовитых жидкостей 3. Вредные отходы твёрдых веществ	1. Вредные электромагнитные излучения 2. Вредные радиоактивные излучения	1. Опасность поражения электрическим током

3. Формирование проблемного массива

3.1. Матрица проблемного массива

Проблемный массив устройства защиты электродвигателя можно представить в виде таблицы 1.5.

Таблица 1.5 – Матрица проблемного массива

Участники проблемной ситуации	Проблемы участников
1. Заказчик	1.1 Найти квалифицированного разработчика 1.2 Получить качественное изделие в кратчайший срок 1.3 Определить дополнительные рынки сбыта 1.4 Обеспечить необходимую комплектацию изделия по минимальным ценам 1.5 Наделить устройство максимально возможными потребительскими свойствами
2. Разработчик	2.1 Обеспечить схемотехническое решение с малыми токами потребления и питающим напряжением 2.2 Обеспечить минимальное число элементов схемы при высоком качестве изделия 2.3 Не применять остродефицитные и драгоценные материалы 2.4 Обеспечить высокую эксплуатационную надежность и ремонтпригодность

	2.5 Обеспечить легкий и удобный вид крепления модуля
3. Изготовители: а) технологи; б) организаторы производства; в) рабочие	3.1 Обеспечить минимальную трудоемкость изготовления, сборки, настройки изделия 3.2 Обеспечить высокую технологичность схемы и конструкции 3.3 Рационально организовать процесс изготовления изделия 3.4 Обеспечить низкий уровень брака 3.5 Обеспечить высокую экологическую чистоту производства
4. Службы сбыта	4.1 Обеспечить рекламу выпускаемой продукции 4.2 Найти оптовых покупателей 4.3 Заинтересовать покупателя 4.4 Знать особенности продукции, рассказать о них покупателю

Окончание таблицы 1.5

Участники проблемной ситуации	Проблемы участников
5. Потребитель	5.1 Научиться пользоваться устройством, для чего изучить всю техническую и эксплуатационную документацию, инструкции и правила технической эксплуатации изделия 5.2 Грамотно и эффективно использовать изделие, для чего провести обучение персонала, обеспечивать регулярную аттестацию его профессиональных навыков. Обеспечить аттестацию рабочих мест 5.3 Обеспечить минимальные затраты на приобретение изделия и эксплуатацию
6. Службы сервиса	6.1 Обеспечить высокий уровень обслуживания 6.2 Обеспечить комплектацию модуля защиты ЭД запасными частями для ремонта 6.3 Обеспечить ремонт и утилизацию
7. Окружающая среда	7.1 Обеспечить экологическую чистоту при создании, эксплуатации и утилизации модуля защиты
8. Культура	8.1 Обеспечить сохранение традиций предприятий, участвующих в сферах проектирования, производства, сбыта, эксплуатации и утилизации изделия
9. Инвесторы	9.1 Не потерять вложения

3.2 Анализ противоречий и поиск компромиссов

На основании матрицы проблемного массива по данной конкретной теме выявляются противоречия между всеми участниками проблемной ситуации, которые желательно устранить.

4. Формирование конфигуратора

Чтобы учесть особенности, связанные с проектированием модуля защиты ЭД, выполним его описание на различных языках. В качестве языков описания модуля защиты ЭД выбираем следующие:

- профессиональный. Сюда относится теория электрических цепей, электродинамика, аналоговая и цифровая электроника, теория конструирования, технология РЭС, теория надежности;

- алгоритмический. Для анализа работы схемы устройства можно использовать программный комплекс MicroCAP; для конструирования – AutoCAD, AltiumDizainer, КОМПАС, SolidWorks ; для расчетов могут быть использованы алгоритмические языки и математический программный комплекс MathCAD;

- финансовый. Для маркетинга характерны такие понятия, как лимитная цена, себестоимость, розничная цена;

- технический. В процессе проектирования и производства необходимо использовать системы ЕСКД и ЕСТД, ГОСТы и ОСТы, СТП, регламентирующие качество профессиональной аппаратуры.

На основании анализа особенностей модуля защиты электродвигателя составлена таблица 1.6.

Таблица 1.6 – Языки, используемые в исследовании проблемной ситуации

Наименование языка	Наименование проблемы	Особенности модуля защиты
1. Теория электрических цепей, электродинамика, электроника	Изучить схемы защиты от токовых перегрузок, температуры, вибраций, отсутствия фазовых напряжений или превышения их допустимых величин	Высокое качество, современная элементная база
2. Теория	Изучить методы	Ремонтопригодность,

конструирования, теория надежности	конструирования взрыво- пожаробезопасной РЭА, способы обеспечения конструктивной надёжности в жёстких условиях эксплуатации	устойчивость к внешним воздействиям
3. Технология	Изучить особенности организации массового производства и его подготовки	Технологичность
4. Программные комплексы Altium Designer, AutoCAD, MathCAD, Solid- Works	Изучить особенности работы с указанными программными продуктами	Малые сроки и высокое качество проектирования

Окончание таблицы 1.6

Наименование языка	Наименование проблемы	Особенности модуля защиты
5. Финансовый	Изучить особенности формирования цены и структуру ценообразования	Низкая цена
6. ЕСТД, ЕСКД, ГОСТы, ОСТы, СТП	Изучить всю нормативно- техническую документацию по проблеме проектирования	Высокие показатели стандартизации и унификации. Правильное оформление конструкторской документации

4.1 Список источников информации, необходимых для решения проблемы проектирования

Для разработки модуля защиты ЭД сформирован следующий список необходимой литературы и других информационных источников:

1) Двигатели асинхронные однофазные ДАО200-1500/2000-3. Технические условия ЕИЖА.525541.001ТУ.

2) Электродвигатели ДПУ мощностью 180,550,1100 Вт. Технические условия ТУ16-515.247-80 (ЕИЖА.527344.005ТУ).

3) Устройство управления агрегатами ЭЦВ «Алтай-С-1-11-У2», паспорт ИЛКЮ.656327.001ПС.

4) ГОСТ 183-74 «Машины электрические вращающиеся. Общие технические требования».

5) АВВ. Основной каталог. Аппараты защиты электродвигателей.

Далее приводятся еще 20 информационных источников в соответствии с проблемами в таблице 1.6.

Вышеприведенный список позволяет решать вопросы, возникающие в процессе разработки конструкции модуля защиты ЭД. Заметим, что новизна всех источников научно-технической информации не должна превышать 10 лет за исключением фундаментальных базовых учебников.

5. Целевыявление

5.1 Формирование массива критериев и показателей решения проблемы

Оценить качество конструкции модуля устройства защиты ЭД можно с помощью следующих критериев:

- функциональные – напряжение питания $U_{\text{пит}}$; количество проверяемых параметров N ; ток цепи управления $I_{\text{упр}}$; время отключения в аварийных ситуациях $\tau_{\text{откл}}$; температура корпуса ЭД $T_{\text{доп}}$; условия эксплуатации.

- технологические – коэффициент стандартизации, унификации и технологичности $K_{\text{СТ}}$, $K_{\text{УН}}$, $K_{\text{ТЕХН}}$;

- экономические – цена C ; надежность $P(t)$; масса m ; габаритные размеры $v \times l \times h$, потребляемая мощность $P_{\text{потр}}$;

- антропогенные – степень защиты, условия безопасности.

5.2 Формирование дерева целей

На основании анализа названной группы критериев сформулируем конкретные цели участников проблемной ситуации (проектирование модуля защиты электродвигателя согласно параметрам, указанным в техническом задании) в виде дерева целей. Цели для участников проекта сформулируем в виде количественных и качественных показателей, указанных на рисунке 1.7.

Отметим, что для более объективного обоснования целей необходимо проводить анкетирование участников проблемной ситуации со статистической обработкой результатов.

5.3 Составление технического задания на проектирование изделия

Пример технического задания на проектирование устройства защиты ЭД применительно к дипломному проектированию приведено в Приложении 2.

6 Исследование проблемы проектирования и пути ее решения

Чтобы решить проблему проектирования устройства, обеспечивающего надежную защиту работы электродвигателя при возникновении дестабилизирующих факторов в цепях питания, а также при превышении допустимых значений температуры корпуса ЭД и возникновении, в силу ряда причин, недопустимых вибраций корпуса, необходимо провести анализ и рассмотреть вопросы, касающиеся режимов работы электродвигателей, возможных неисправностей ЭД, методов и способов защиты ЭД, существующих датчиков контролируемых параметров ЭД. *Ниже проводится детальный обзор литературы, приведённой в конфигураторе со ссылками на источники.*

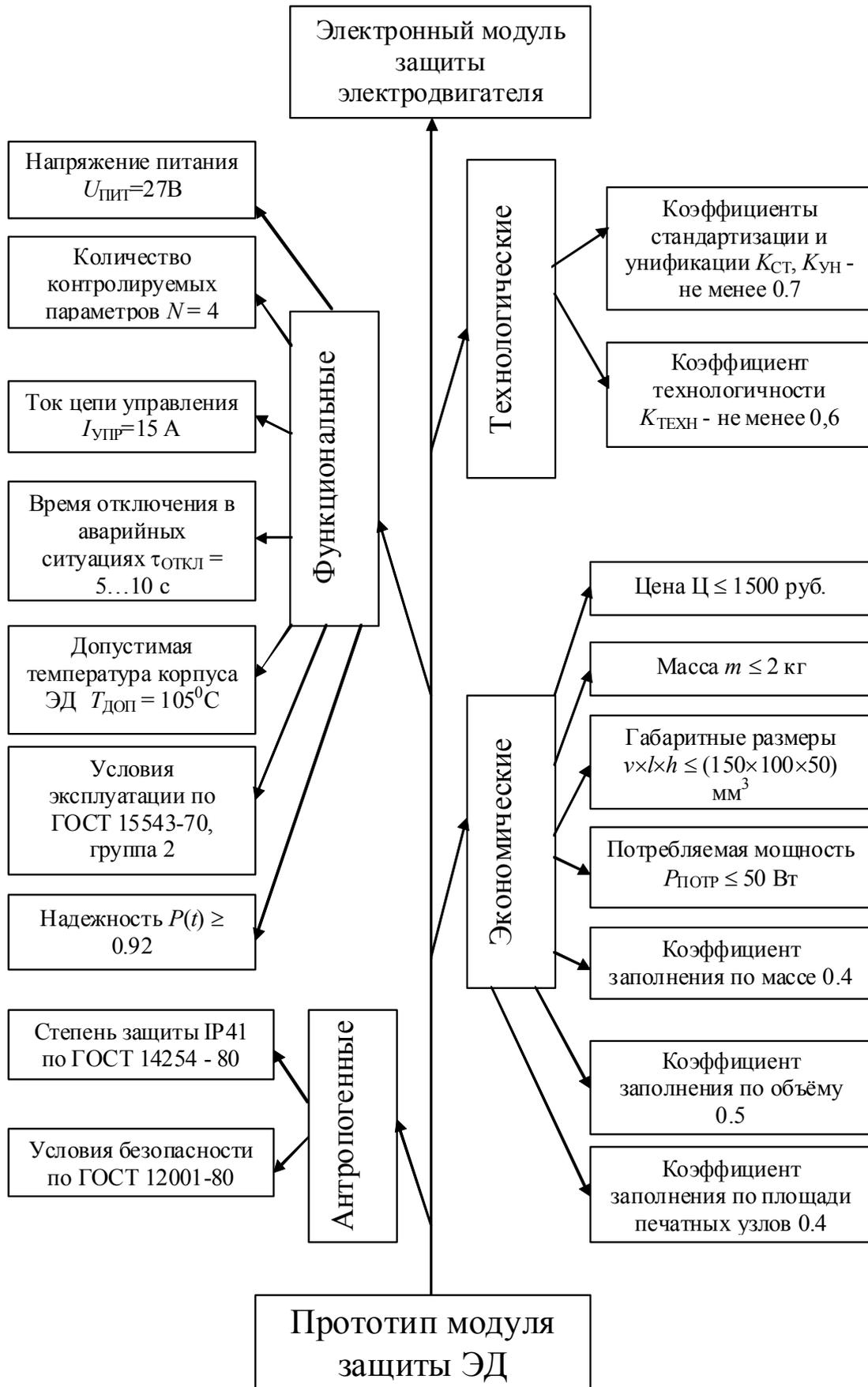


Рисунок 1.7 – Дерево целей устройства защиты ЭД

6.1 Режимы работы электродвигателей

В зависимости от характера изменения нагрузки различают четыре основных номинальных режима работы ЭД: продолжительный, кратковременный, повторно-кратковременный и смешанный.

Заметим, что основной характеристикой режимов ЭД является тепловая характеристика электродвигателя. Работа ЭД всегда сопровождается его нагревом, что обусловлено происходящими в нем процессами и потерями энергии. Нормативный срок службы электродвигателя определяется, в конечном счете, допустимой температурой нагрева его изоляции. В современных двигателях применяется несколько классов изоляции, допустимая температура нагрева которых составляет для класса А – 105°С, Е – 120°С, В – 130°С, F – 155°С, Н – 180°С, С свыше 180°С. Превышение допустимой температуры ведет к преждевременному разрушению изоляции и существенному сокращению срока его службы.

В эксплуатации, в основном, приходится сталкиваться с режимами, ненормированными ГОСТами. Наиболее характерным является режим ЭД с быстроизменяющейся нагрузкой, когда двигатель периодически входит в режим перегрузки, возвращаясь затем на номинальный режим или опускаясь в режим работы с нагрузкой меньше номинальной. Таким образом, имеет место неустановившийся тепловой процесс, т.к. в разные промежутки времени в ЭД возникают различные потери мощности, а, следовательно, и происходит различный нагрев корпуса электродвигателя.

При превышении допустимого нагрева ЭД для данного класса изоляции его обмоток происходит, так называемое, ускоренное «старение» изоляции: снижается механическая прочность, появляется хрупкость, разломы и трещины, что приводит к снижению ее электрической прочности и пробую.

6.2 Существующие методы и способы защиты электродвигателей

6.2.1 Защита от аварийных режимов

Стремясь защитить двигатели от аварийных режимов, еще с середины прошлого века в энергетике стали применять различную релейную защиту: тепловую, токовую, температурную, фильтровую и комбинированную. Многолетний опыт эксплуатации ЭД показал, что большинство существующих защит не обеспечивают безаварийную работу ЭД. Так, например, тепловые реле рассчитывают на длительную перегрузку в 25...30% от номинальной. Но, чаще всего, они срабатывают при обрыве одной фазы при нагрузке 60% от номинальной. При меньшей нагрузке реле не срабатывает, и ЭД продолжает работать на двух фазах и выходит из строя в результате перегрева изоляции обмоток. Правильный выбор защитного устройства – это важный фактор в обеспечении безопасной эксплуатации ЭД.

Приборы защиты ЭД от аварийных режимов можно разделить на несколько видов:

- а) тепловые защитные устройства: тепловые реле, расцепители;
- а) токозависимые защитные устройства: плавкие предохранители, автоматы;
- в) термочувствительные защитные устройства: термисторы, термостаты;
- г) защита от аварий в электросети: реле напряжения и контроля фаз, мониторы сети;
- д) приборы МТЗ (максимальной токовой защиты), электронные токовые реле;
- е) комбинированные устройства защиты.

Попробуем подробнее описать принципы действия, достоинства и недостатки существующих защит, а также попытки создания универсальных защитных устройств ЭД.

6.2.2 Защита от аварий сетевого напряжения

Защита от аварий сетевого напряжения: обрыв, слипание, нарушение последовательности, перекос, скачки, провалы напряжения. В большинстве устройств такой контроль, как правило, отсутствует. В некоторых, перед включением, в лучшем случае проверяется наличие и полнофазность питающей сети. В большинстве случаев о плохом напряжении судят лишь после включения нагрузки по токам, т.е. косвенно.

Одновременный контроль токов и напряжений необходим для анализа вида аварии. Такой анализ дает возможность применить соответствующую логику принятия решений. Например, при сетевых авариях повторный пуск разрешать, при авариях, связанных с повреждениями внутри двигателя – запрещать.

6.2.3 Токозависимые защитные устройства

Токозависимые защитные устройства: предохранители, автоматические выключатели (автоматы).

Предохранители предназначены для защиты ЭД от перегрузок и коротких замыканий. Конструктивно они состоят из корпуса из электроизоляционного материала и плавкой вставки, выбираемой из такого расчета, чтобы она плавилась прежде, чем температура двигателя достигнет опасных пределов в результате протекания токов перегруза или короткого замыкания. Включаются предохранители последовательно защищаемой цепи.

Основной характеристикой плавкой вставки является зависимость времени ее перегорания от тока. Токи плавкой вставки связаны соотношением:

$$I_{\text{НОМ}} = I_{10} / 2.5,$$

где I_{10} – ток, при котором расплавление вставки и отключение сети происходит через 10 с после установления тока.

При защите короткозамкнутых ЭД следует учитывать, что пусковой ток двигателя в 5...7 раз больше номинального, а время пуска электродвигателя равняется нескольким секундам. Номинальный ток плавкой вставки с учетом пускового тока определяется по формуле:

$$I_{\text{НОМ}} = k_{\text{п}} \cdot I_n / \alpha,$$

где $k_{\text{п}}$ – кратность пускового тока электродвигателя по отношению к номинальному; I_n – номинальный ток электродвигателя [А]; α – коэффициент, зависящий от условий пуска электродвигателя.

Для двигателей с нормальными условиями пуска (редкие пуски и время разгона 5...10 с) $\alpha = 2.5$; для двигателей с тяжелыми условиями пуска (частые пуски и большая длительность разгона) $\alpha = 1.6...2$.

Предохранители способны защитить ЭД только от токов короткого замыкания в 10...100 раз превышающие номинальные токи. Токи же перегруза или другие токовые аварии, они будут воспринимать как пусковые токи, не реагируя на них. В лучшем случае, они способны отключить электродвигатель только через несколько минут, что может привести к перегреву обмоток и к аварии ЭД. Поэтому, для защиты электродвигателей от короткого замыкания в нем самом или в подводящем кабеле, используют предохранители с более пологой токо-временной характеристикой. Они способны выдерживать, не расплавляясь, токи в 5...10 раз превышающие номинальные в течение 10 с, что вполне достаточно для запуска двигателя. Для защиты от перегрузки необходимо использовать другие устройства.

Предохранители абсолютно не способны защищать от аварий, связанных с авариями сетевого напряжения, от аварий, связанных с нарушением режимов работы ЭД или тепловым перегрузом, а также от режима холостого хода двигателя. В то же время, при однофазном коротком замыкании, а иногда при сильном перекосе фаз они, как правило, отключают только одну фазу, что приводит к аварийному режиму работы на двух фазах.

6.2.4 Тепловые защитные устройства

Тепловые защитные устройства: тепловые реле (расцепители) применяются для защиты электродвигателей от перегрузок недопустимой продолжительности, а также от обрыва одной из фаз.

Конструктивно представляют собой набор биметаллических расцепителей (по одному на каждую фазу), по которым протекает ток электродвигателя, оказывающий тепловое действие. Под действием тепла происходит изгиб биметаллической пластины, приводящий в действие механизм расцепления. При этом происходит изменение состояния вспомогательных контактов, которые используются в цепях управления и сигнализации. Реле снабжаются биметаллическим температурным

компенсатором с обратным прогибом по отношению к биметаллическим пластинам для компенсации зависимости от температуры окружающей среды, обладают возможностью ручного или автоматического взвода (возврата).

Ток несрабатывания реле составляет $1.05 \cdot I_{\text{ном}}$. При перегрузке электродвигателя на 20% ($1.2 \cdot I_{\text{ном}}$), произойдет его срабатывание в соответствии с токо-временной характеристикой.

Выбор реле производится по кривым срабатывания, с учетом холодного и теплого старта электродвигателя. Характерным параметром выбора является перегрузочная способность электродвигателя:

$$K_{\text{П}} = I_a / I_n ,$$

где I_a – пусковой ток; I_n – номинальный ток, указанные в паспортных данных на электродвигатель.

Правильно подобранные тепловые реле защищают ЭД не только от перегрузки, но и от заклинивания ротора, перекоса фаз и от затянутого пуска.

Недостатком тепловых реле является то, что трудно подобрать реле из имеющихся в наличии так, чтобы ток теплового элемента соответствовал току электродвигателя. Тепловые реле не способны защитить двигатель от режима холостого хода или недогруза, причем даже при обрыве одной из фаз. Поскольку тепловые процессы, происходящие в биметалле, носят достаточно инерционный характер, реле плохо защищает от перегруза, связанного с быстропеременной нагрузкой на валу электродвигателя.

Если нагрев обмоток обусловлен неисправностью вентилятора (погнуты лопасти или проскальзывание на валу), загрязнением оребренной поверхности двигателя, тепловое реле тоже окажется бессильным, т.к. потребляемый ток не возрастает или возрастает незначительно. В таких случаях, только встроенная тепловая защита способна обнаружить опасное повышение температуры и вовремя отключить двигатель.

6.2.5 Реле напряжения и контроля фаз

Реле напряжения и контроля фаз (мониторы напряжения) предназначены для постоянного контроля параметров сетевого напряжения и управления электродвигателями путем отключения их от электрической сети в случае наступления аварийных режимов: недопустимых перепадов напряжения (скачки и провалы напряжения); обрывы, слипания, перекосы, нарушения последовательности фаз и последующего автоматического повторного включения электродвигателя после возвращения параметров сети в норму, если иное не предусмотрено технологическим процессом.

Как показывает статистика, до 80% аварий электродвигателя, напрямую или косвенно связаны именно с авариями сетевого напряжения. Для защиты ЭД наиболее целесообразно применение мониторов напряжения, контролирующих несколько видов сетевых аварий.

Большинство из присутствующих на рынке реле напряжения, не обладают указанной универсальностью. Одни из них контролируют только обрыв фаз, другие – превышение или понижение напряжения, третьи – перекося фаз и т.д. Это приводит к необходимости использования нескольких аналогичных реле одновременно, что неоправданно усложняет и удорожает схему, приводит к повышенному энергопотреблению и тепловыделению, уменьшает надежность.

Микропроцессорные мониторы напряжения способны в одном малогабаритном устройстве совместить большинство функций, производят работу по действующему значению напряжения, различают виды аварий, имеют множество регулируемых и настраиваемых параметров. Такие мониторы для управления оборудованием с длительными переходными процессами имеют возможность контроля контактов магнитного пускателя, что актуально для мощных двигателей или для двигателей, работающих в старт-стопном режиме (например, для электродвигателей компрессоров).

6.2.6 Термочувствительные защитные устройства

Термочувствительные защитные устройства (термисторы, термостаты) относятся к встраиваемой тепловой защите электродвигателя. Они располагаются в специально предусмотренных для этой цели гнездах в лобовых частях электродвигателя (защита от заклинивания ротора) или в обмотках электродвигателя (защита от теплового перегруза). В основном их можно разделить на два типа: термисторы – полупроводниковые резисторы, изменяющие свое сопротивление в зависимости от температуры и термостаты – биметаллические выключатели, срабатывающие при достижении некоторой критической температуры.

Термисторы в основном делятся на два класса: РТС-типа – полупроводниковые резисторы с положительным температурным коэффициентом сопротивления и НТС-типа – полупроводниковые резисторы с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления. Для защиты электродвигателей используются в основном РТС термисторы (позисторы), обладающие свойством резко увеличивать свое сопротивление, когда достигнута некоторая характеристическая температура T_R . Применительно к двигателю, это максимально допустимая температура нагрева обмоток статора для данного класса изоляции. Термисторная защита предпочтительней в тех случаях, когда по току невозможно определить с достаточной точностью температуру двигателя. Это касается, прежде всего, двигателей с продолжительным периодом запуска, частыми операциями включения и отключения (повторно-кратковременный режим) или двигателей с регулируемым числом оборотов (при помощи преобразователей частоты). Термисторная защита эффективна также при сильном загрязнении двигателей или выходе из строя системы принудительного охлаждения.

Недостатками данного вида защиты является то, что с датчиками выпускаются далеко не все типы двигателей. Это особенно касается двигателей отечественного производства. Датчики могут устанавливаться только в условиях стационарных мастерских. Температурная характеристика термистора достаточно инерционна и сильно зависит от температуры окружающей среды и от условий эксплуатации самого двигателя. Они требуют наличия специального электронного блока: термисторного устройства защиты двигателей, теплового или электронного реле перегрузки, в которых находятся блоки настройки и регулировки, а также выходные электромагнитные реле, служащие для отключения катушки пускателя ЭД.

Для более оперативного реагирования на сверхнормативные повышения температуры обмотки статора, в корпус двигателя встраивают биметаллические выключатели (термостаты).

Термостаты, их иногда называют реле температуры, представляют из себя биметаллические регуляторы, работающие по принципу температурной отсечки. Принцип работы термостата основан на температурной деформации металла с различным коэффициентом теплового расширения. Состоят из неподвижной контактной пластины, закрепленной в корпусе, биметаллической мембраны, изгибающейся в зависимости от температуры и подвижной контактной группы, прикрепленной к ней стержнем. Для защиты двигателей обычно используются три (по одному на каждую обмотку) нормально замкнутых термостата, включенных последовательно и подключенных непосредственно к схеме управления двигателем. При превышении критической температуры обмотки они мгновенно разрывают свою цепь, что приводит к отключению двигателя.

Большинство из описанных защитных устройств, работающих по принципу измерения прямого или косвенного теплового действия тока, очень плохо реагируют на аварии, связанные с авариями сетевого напряжения.

6.2.7 Существующие датчики параметров устройств защиты электродвигателей

Как видно из анализа, существующие способы защиты ЭД основаны в основном на принципе контроля тока, реже оснащаются датчиками температуры и виброшумов. Различие между способами защиты сводится в основном к способу контроля параметров.

Очевидно, что электронная схема, оснащённая датчиками тока, по сравнению с плавкими вставками и тепловыми реле позволит более корректно следить за режимами работы электродвигателя. Важно правильно выбрать тип датчика тока, который позволит решить поставленную задачу в соответствии с требованиями технического задания наиболее рациональным способом.

Рассмотрим три наиболее распространённых метода контроля тока:
- резистивный (шунты);

- индукционного преобразования (трансформаторы тока);
- гальваномагнитного преобразования (с элементами, работающими на эффекте Холла).

Наиболее простым является **резистивный метод**, основанный на законе Ома:

$$\Delta U = I_0 \cdot Z_{\text{ш}},$$

где ΔU – падение напряжения на шунте; I_0 – измеряемый ток; $Z_{\text{ш}}$ – полное сопротивление шунта.

Но его преимущество в простоте реализуется только при небольших токах и частотах. С повышением тока резко растёт выделяемая на шунте мощность:

$$P = I^2 \cdot R_{\text{ш}},$$

где $R_{\text{ш}}$ – активное сопротивление шунта.

Из-за этого приходится сопротивление шунта делать на уровне миллиомов, что в свою очередь уменьшает его выходной сигнал. Нетрудно подсчитать, что даже при номинальном токе в 100 А и условии потерь по мощности не более 2 Вт, сопротивление шунта будет равно $2 \cdot 10^{-4}$ Ом. Сигнал управления с такого малого сопротивления необходимо предварительно усиливать перед обработкой. Возникают проблемы отвода тепла, обеспечения низкой индуктивности шунтов, оказывающей большое влияние на точность измерения с повышением частоты, требования к температурной стабильности материала шунта. Главным недостатком резистивного метода является отсутствие гальванической развязки измеренного сигнала от силовой части, обуславливающей необходимость применения различных методов гальванической развязки, усложняющих изделие.

Трансформаторы тока (ТТ) относятся к числу наиболее известных и распространённых пассивных индукционных преобразователей. Их действие основано на индуцировании трансформаторной ЭДС ($e_{\text{мп}}$) в тороидальной обмотке, охватывающей проводник с измеряемым током:

$$e_{\text{mn}} = \oint_l E dl ; \quad (6.1)$$

где E – напряженность поля, в котором находится контур l .

ТТ могут выполняться как на ферромагнитном сердечнике, так и без него, как например, пояс Роговского. В последнее время используются трансформаторы тока, имеющие разъёмные (составные) сердечники, а также трансформаторы без сердечников. Конструктивная разница между этими преобразователями не вносит принципиального различия в их рассмотрение.

ТТ обладают рядом особенностей. Во-первых, ТТ работают в режиме, близком к короткому замыканию и при низких индукциях в сердечнике (примерно в 50...100 раз меньших, чем в силовых трансформаторах). Во-вторых, ток вторичной цепи I_2 в известных пределах не зависит от её сопротивления. Таким образом, ТТ осуществляют преобразование вида:

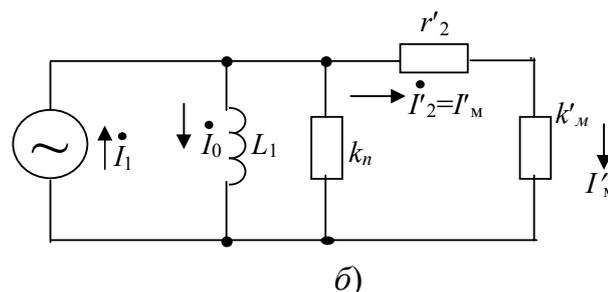
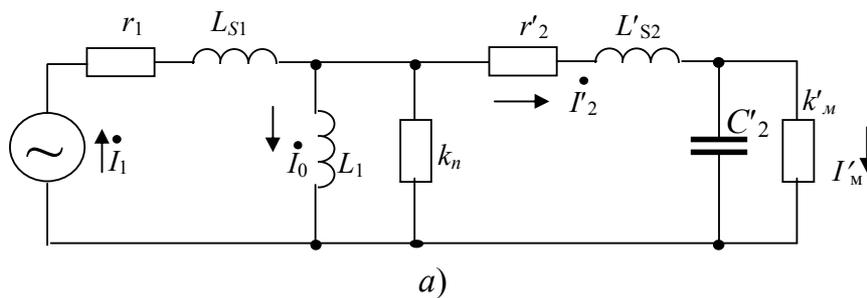
$$I_2 = k_{\text{ТТ}} \cdot I_1; \quad (6.2)$$

где $k_{\text{ТТ}}$ – постоянный коэффициент трансформации, равный отношению количества витков вторичной и первичной обмоток.

Строгий расчёт частотных и фазовых характеристик широкополосных ТТ представляют собой весьма сложную задачу. Сложность её решения обусловлена тем, что ТТ с ферромагнитным сердечником, во-первых, является нелинейной схемой, параметры которой зависят от измеряемого тока и от частоты. Во-вторых, ёмкости и индуктивности ТТ, обычно представляемые как сосредоточенные параметры, в действительности являются распределёнными, что необходимо учитывать в расчётах на больших частотах. Эти факторы, если не исключают строгого решения, то делают практически непригодными результаты в инженерной практике. К этому следует добавить некоторые неизбежные ошибки, которые появляются в конструктивных расчётах ТТ вследствие того, что используемые значения магнитной проницаемости материала сердечника и потерь могут существенно изменяться не только в разных партиях материала одной марки, но даже внутри одной партии и зависят от способа их измерений.

Указанные сложности и стремление получить максимальную наглядность анализа привели к тому, что в основном пользуются линейной моделью замещения, а все элементы замещения принимают как элементы с сосредоточенными параметрами.

Поскольку число витков первичной обмотки $w_1 = 1$, то коэффициент трансформации $k_{\text{ТТ}}$ равен числу витков вторичной обмотки w_2 . В эквивалентной схеме все параметры трансформатора приводятся к первичной обмотке и принимаются линейными и сосредоточенными. Даже с учётом отмеченных допущений, эквивалентная схема (рисунок 1.8), оказывается достаточно сложной для анализа в широком диапазоне частот из-за громоздкости получаемых формул.



a – полная; b – для средних и нижних частот

Рисунок 1.8 – Эквивалентная схема замещения ТТ

На представленной эквивалентной схеме:

- r_1 – сопротивление первичной обмотки;
- \dot{I}_1 – ток первичной обмотки;
- \dot{I}_0 – ток намагничивания.

Приведённое сопротивление вторичной обмотки:

$$r'_2 = \frac{r_2}{w_2^2}. \quad (6.3)$$

Приведённое сопротивление нагрузки:

$$R'_2 = \frac{R_H}{w_2^2}, \quad (6.4)$$

где R_H – эквивалентное сопротивление потерь магнитопровода;

Индуктивность намагничивания:

$$L \approx (L_1 - L_{S1}) - \frac{M}{w_2^2}, \quad (6.5)$$

где L_1 – индуктивность первичной обмотки; L_{S1} – индуктивность рассеивания первичной обмотки; M – коэффициент взаимной индукции обмоток.

Приведённая индуктивность вторичной обмотки:

$$L'_{S2} \approx \frac{L_2 - \frac{M}{w_2^2}}{w_2^2}, \quad (6.6)$$

где L_2 – индуктивность вторичной обмотки.

Приведённая ёмкость вторичной обмотки:

$$C'_2 = C_2 \cdot w_2^2. \quad (6.7)$$

Приведённый ток вторичной обмотки:

$$I'_2 = \dot{I} \cdot w_1. \quad (6.8)$$

Приведённое напряжение на нагрузке:

$$\dot{U}'_H = \frac{\dot{U}_H}{w_2}. \quad (6.9)$$

Приведённый ток нагрузки:

$$\dot{I}'_H = \dot{I}_H \cdot w_2. \quad (6.10)$$

Поэтому обычно схему исследуют по отдельным частотным участкам – для нижних, средних и верхних частот. Для нашего случая достаточно ограничиться средними и низкими частотами. Такое упрощение не вносит заметной погрешности, если отношение верхней частоты диапазона к нижней составляет более 10.

При расчёте ТТ важно знать размеры и частотные зависимости эквивалентного сопротивления потерь сердечника, которые определяются как:

$$P_n = k_n \cdot f^m \cdot B^n \cdot V_c, \quad (6.11)$$

где k_n , m , n – эмпирические коэффициенты, зависящие от марки материала; V_c – объём сердечника; B – магнитная индукция; f – частота.

ТТ имеют несомненные преимущества. Они обеспечивают гальваническую развязку цепей измерения. Возможно получение достаточно большого выходного сигнала по напряжению, что удобно для его обработки. При относительно низких требованиях к точности, ТТ имеют невысокую себестоимость.

Но при всём этом имеется и ряд недостатков. Невысокий диапазон измеряемых токов, как правило не превышающий даже для специальных материалов сердечников ТТ одного порядка. Снизу диапазон ограничен из-за уменьшения магнитной проницаемости сердечника в области малых измеряемых токов, связанных с потерями на перемагничивание, а сверху насыщением. Существенным недостатком является невозможность измерения на постоянном токе.

При измерении больших токов получили широкое распространение бесконтактные способы с применением *элементов Холла*, основанные на гальваномагнитном преобразовании тока. Эти способы характеризуются измерением напряженности магнитного поля, создаваемого вокруг проводника с током. Измерения могут быть сделаны как с помощью одного только датчика Холла без магнитной цепи, так и с помощью датчика Холла, находящегося в зазоре между концентраторами, а также с помощью датчика Холла в зазоре сердечника, охватывающего проводник с током.

Эффект Холла характеризуется возникновением поперечной разности потенциалов, пропорциональной магнитной индукции и току, протекающему по проводнику. Развиваемая преобразователем Холла ЭДС является сложной функцией линейных размеров пластины, материала, индукции и тока, протекающего по пластине. Основным интерес составляет напряжение, описывающее поперечный эффект Холла:

$$U_Y = -\frac{R_H}{C} I_X B_X, \quad (6.12)$$

где R_H – коэффициент Холла; C – толщина пластины; I_X – ток, протекающий в пластине; B_X – величина магнитной индукции в пластине.

Коэффициент Холла однозначно определяется концентрацией носителей тока в полупроводнике. Для случая полупроводника n -типа и для полупроводника p -типа, соответственно:

$$R_{Hn} = -\frac{1}{en}, \quad (6.13)$$

где n – концентрация электронов.

$$R_{Hp} = -\frac{1}{ep}, \quad (6.14)$$

где p – концентрация дырок.

В случае полупроводника со смешанной проводимостью, выражение для коэффициента Холла принимает более сложный вид:

$$R_{Hn} = -\frac{1}{e} \cdot \frac{n\mu_n^2 - p\mu_p^2}{n\mu_n + p\mu_p}, \quad (6.15)$$

где μ – подвижность носителей тока.

Таким образом, при фиксированном токе питания элемент Холла может выполнять роль измерителя индукции или при магнитной проницаемости $\mu = 1$ – напряжённости магнитного поля.

В элементе Холла имеет место зависимость сопротивления и чувствительности от геометрических размеров, а также от индукции.

Измерение тока с помощью датчика Холла без магнитной цепи применяется очень редко из-за малой точности. Отсутствие магнитной цепи означает, что измеряемая напряжённость магнитного поля, а значит, и напряжение Холла очень малы, и в связи с этим может иметь место сильное влияние внешних магнитных полей и ферромагнитных масс. Кроме того, так как напряжённость магнитного поля обратно пропорциональна расстоянию от проводника с током, необходимо стремиться к ближайшему расположению датчика Холла к поверхности проводника. Однако в этом случае датчик Холла будет находиться в магнитном поле с очень большим градиентом напряжённости поля, и точность измерения сильно зависит от положения датчика Холла. Применение концентраторов поля приводит к увеличению напряжения Холла в несколько десятков раз, но ещё недостаточно защищает от отрицательного влияния внешних магнитных полей.

Эту проблему решает только применение сердечника, охватывающего проводник с током.

Напряжение Холла датчика Холла, показанного на рисунке 1.9, описывается выражением (6.12). Поддерживая $I_x = \text{const}$ и предполагая линейную зависимость между измеряемым током I_m и индукцией B в воздушном зазоре, получим линейную зависимость напряжения Холла U_H от измеряемого тока I_m . Сумма магнитных напряжений вдоль замкнутой магнитной цепи равняется намагничивающей силе F . Для ферромагнитного сердечника с зазором, получаем:

$$H_S \cdot l_S + H_{Fe} \cdot l_{Fe} = F, \quad (6.16)$$

где H_S – напряжённость поля в зазоре; l_S – длина зазора; H_{Fe} – напряжённость поля в сердечнике; l_{Fe} – средняя длина линии поля в сердечнике.

Индукция в зазоре сердечника:

$$B_S = \frac{\mu_0}{l_S} (F - H_{Fe} \cdot l_{Fe}), \quad (6.17)$$

где μ_0 – проницаемость воздуха.

С целью получения линейной зависимости между индукцией в зазоре и силой намагничивания необходимо стремиться к выполнению зависимости:

$$H_{Fe} \cdot l_{Fe} \ll F. \quad (6.18)$$

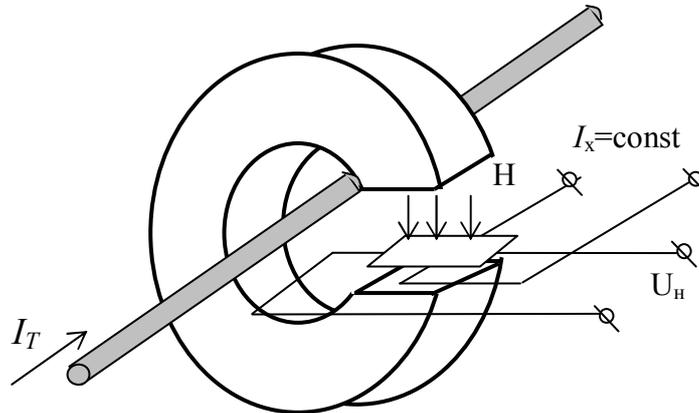


Рисунок 1.9 – Измеритель тока с датчиком Холла, помещённым в зазор кольцевого концентратора

Следовательно, сердечник должен быть изготовлен из материала с узкой петлёй гистерезиса и большим значением индукции насыщения, так как тогда можно будет получить большое значение индукции в воздушном зазоре. Этим требованиям лучше всего отвечает холоднокатаная тонколистовая электротехническая сталь.

Пользуясь неравенством (6.18), получаем:

$$B_S = \frac{\mu_0}{l_S} F. \quad (6.19)$$

Линейная зависимость в формуле (6.19) справедлива только до определённого предельного значения силы намагничивания, зависящего от индукции насыщения сердечника и рассеяния в зазорах.

Сформулируем требования, предъявляемые к материалу сердечника и элементу Холла в датчике тока, построенного по принципу гальваномагнитного преобразования.

Относительно сердечника:

- зависимость магнитной индукции от напряжённости магнитного поля в широких пределах его изменения должна быть линейной;
- величина коэрцитивной силы должна быть мала. Этот параметр является мерой магнитного гистерезиса, наличие которого является причиной ошибок, которые нельзя скомпенсировать. Можно только уменьшить гистерезис. Но материалы с малым значением коэрцитивной силы имеют более высокую стоимость;
- величина индукции насыщения должна быть большой;

- магнитная проницаемость должна быть большой. Но необходимо учесть, что с увеличением воздушного зазора эффективная проницаемость очень быстро уменьшается с ростом отношения длины зазора к длине силовой линии в сердечнике;

- зависимость проницаемости от температуры должна быть мала. При высоких требованиях к температурной стабильности применение ферритов становится нежелательным;

- зависимость проницаемости от частоты должна быть мала. Нежелательно применение материалов с низким удельным сопротивлением ввиду того, что с повышением частоты появляются относительно большие потери на вихревые токи. Действие вихревых токов равнозначно наличию экранов, и в присутствии их имеет место спад проницаемости. Для определения граничной частоты, при которой проницаемость составит 71% от начальной, измеренной на постоянном токе или переменном токе низкой частоты, служит формула:

$$f = \frac{0.1 \cdot \rho}{\mu \cdot d^2}, \quad (6.20)$$

где f – частота [кГц]; μ – магнитная проницаемость материала; d – толщина пластины [см]; ρ – удельное сопротивление [мкОм·см].

К числу главных требований, предъявляемых к элементу Холла, можно отнести:

- элемент Холла должен обладать малой толщиной, позволяющей проводить измерения в очень малых зазорах. У плёночных элементов Холла толщина доводится вместе с подложкой до 0.1 мм;

- должна быть обеспечена в больших диапазонах линейная зависимость выходного напряжения от управляющих величин (поля и тока);

- зависимость сопротивления и коэффициента Холла от магнитного поля должна быть мала;

- необходимо свести к возможно минимальному значению остаточное напряжение, в том числе резистивное и термическое;

- элемент Холла должен обладать большой чувствительностью и большим выходным напряжением.

Главными достоинствами приборов на элементах Холла, служащих для измерения силы тока, являются:

- возможность измерения без разрыва цепи;

- отсутствие гальванической связи между входным и выходным сигналами;

- возможность исследования распределения тока;

- возможность изменения диапазона измерения, например, увеличивая число витков с током, разделяя многожильный провод при больших токах, изменяя ток опроса датчика Холла в допустимых пределах;

- отсутствие обмоток, что даёт большую динамическую устойчивость;

- возможность измерения в широком диапазоне частот при точной передаче сигнала;
- выходной сигнал может быть любым – постоянным, переменным, импульсным с произвольной формой;
- возможность применения в установках с высоким напряжением ввиду простоты изолирования датчика Холла, например, заливкой его в эпоксидную смолу;
- напряжение на выходе датчика пропорционально индукции измеряемого поля, а не производной от индукции по времени, как это имеет место, например, в индукционных методах.

Для **контроля температуры** разработано достаточно большое количество методов и средств измерения этого параметра.

По принципу измерения различают датчики температуры непосредственного измерения (когда нагретое тело непосредственно имеет контакт с датчиком температуры) и дистанционного (температура определяется по интенсивности и спектру излучения электромагнитных волн). На практике датчики дистанционного типа (пирометры) используются только при измерении высоких температур – свыше 600°C, например, в металлургии.

В устройствах автоматики для контроля температуры широко распространены термопары, построенные на эффекте Зеебека – возникновения разности потенциалов между «горячим» и «холодным» спаем двух разнородных электропроводящих элементов. Диапазон измеряемых температур в зависимости от используемых материалов лежит в пределах 4...2800 К.

Для контроля температуры широкое распространение получили также терморезисторы, у которых собственное сопротивление является функцией температуры. В качестве материала обычно применяют проводники или полупроводники с приемлемым по величине и линейности температурным коэффициентом сопротивления (ТКС). Для изготовления полупроводниковых терморезисторов используют: смеси окислов переходных металлов (например, *Mn*, *Co*, *Ni*, *Cu*); германий и кремний, легированные различными примесями; карбид кремния; синтетический алмаз; органические полупроводники и т.д. Различают терморезисторы с отрицательным и положительным ТКС. Диапазон измеряемых температур лежит в пределах от 170 К до 570 К при ТКС в нормальных условиях равным 2.4...8.4 %/К.

При температурах от -40 °С до +90 °С наиболее эффективны полупроводниковые датчики температуры. Действие большинства из них основано на тех же идеях, что и интегральный ϕ_3 -стабилитрон. Но у них добиваются не минимального, а максимального температурного коэффициента напряжения (ТКН). В частности, используется тот факт, что разбаланс напряжений на двух одинаковых *p-n*-переходах составляет:

$$\Delta U_{\text{БЭ}} = \varphi_{\text{T}} \ln \frac{I_1}{I_2}. \quad (6.21)$$

Если $I_1/I_2 = 17.7$, то $\Delta U/\Delta\theta = 250$ мкВ/К в широком диапазоне температур. «Измерительные» структуры одновременно и усиливают сигнал, так что получается двухвыводной датчик-стабилитрон с ТКН = -10 мВ/К, запитываемый от источника тока. Этот стабилитрон изготавливается так, чтобы при 0 °С его выходное напряжение было 2.732 В, тогда легко непосредственно отсчитывать температуру по шкале Кельвина.

Состояние *механической* части электродвигателя можно оценить по уровню и спектру его собственных шумов (вибраций). Для контроля уровня шумов (вибрации) электродвигателя обычно применяют *тензодатчики*, являющиеся измерительными преобразователями деформации твёрдого тела, вызываемой механическими напряжениями, в электрический сигнал. Наибольшее распространение получили тензодатчики сопротивления, выполненные на базе тензорезисторов, действие которых основано на их свойстве изменять под влиянием деформации (растяжения или сжатия) своё электрическое сопротивление.

Конструктивно тензорезисторы представляют собой либо решётку, изготовленную из проволоки или фольги (из константана, нихрома, различных сплавов на основе никеля, молибдена, платины), либо пластинку из полупроводника, например, кремния. Тензорезистор жёстко соединяют (приклеивают или приваривают) с упругим элементом тензодатчика, либо крепят непосредственно на электродвигателе. Упругий элемент воспринимает изменения исследуемого параметра машины (давления, деформации узла машины, ускорения) и преобразует их в деформацию решётки (пластинки) $\varepsilon(x)$, что приводит к изменению сопротивления тензорезистора на величину:

$$\Delta R(\varepsilon) = \pm k \cdot R_0 \cdot \varepsilon; \quad (6.22)$$

где R_0 – начальное сопротивление тензорезистора; k – коэффициент тензочувствительности (для проволочных $k \leq 2 \dots 2.5$, для полупроводниковых $k \approx 200$).

Тензорезисторы обычно работают в области упругих деформаций до $\varepsilon \leq 10^{-3}$.

Величина ΔR обычно зависит не только от деформации, но и от температуры упругого элемента:

$$\Delta R(\theta) = a \cdot R_0 \cdot \Delta\theta; \quad (6.23)$$

где $\Delta\theta$ – изменение температуры упругого элемента; a – температурный коэффициент относительного изменения сопротивления тензорезистора.

Для проволочных и фольговых тензорезисторов $a = (2 \dots 7) \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$. Для уменьшения погрешности требуется автоматическое введение поправок или термокомпенсация.

Таким образом, с учётом сформулированных в техническом задании дипломного проекта условий, на основании вышеперечисленного анализа

проблем защиты электродвигателей при нештатных ситуациях во время их эксплуатации, а также рассмотренных методов и средств контроля параметров электродвигателей можно сделать следующий вывод.

Построение эффективной схемы защиты электродвигателя возможно в широком диапазоне изменения рабочего тока нагрузки, при обеспечении контроля температуры и механических уровней вибрации корпуса ЭД.

7. Генерация идеи решения проблемы проектирования

В результате системного анализа принято решение о построении двух вариантов функционально-структурной схемы электронного модуля защиты электродвигателя (ЭМЗЭ): на цифровых и на аналоговых элементах. Выбор оптимального решения и окончательную разработку структурной схемы устройства примем на основании обоснованного выбора и расчета вариантов этих схем.

В дальнейших разделах дипломного проекта детально рассмотрены вопросы проектирования и разработки конструкции электронного модуля защиты электродвигателя, а также технологические процессы его изготовления.

Содержание структурной схемы разрабатываемого ЭМЗЭ определяется его назначением и схемой подключения электропривода. Использование ЭМЗЭ возможно в двух качествах:

- во-первых, как сигнальное устройство, по сути являющееся пороговым датчиком тока, температуры и вибраций, которое при нарушении установленных режимов работы, оговоренных в техническом задании, выдаёт сигнал аварии автоматизированной системе управления технологическим процессом (схеме управления электроприводом) или оператору, принимающему дальнейшее решение в сложившейся ситуации;
- во-вторых, ЭМЗЭ сам выполняет аварийное отключение электропривода при возникновении нештатной ситуации посредством управления устройством, коммутирующим цепь нагрузки (электромагнитный пускатель, контактор, полупроводниковый интегральный ключ).

7.1 Анализ возможных вариантов решения проблемы проектирования

Исходя из вышесказанного, и с учётом анализа рассмотренных вариантов решения проблемы защиты ЭД, изложенных выше в пояснительной записке проекта, можно утверждать, что для повышения вероятности безаварийной работы электродвигателей необходимо и достаточно разработать устройство, имеющее функции:

- контроль превышения потребляемого номинального тока (превышение предельной нагрузки электродвигателя, повышенное или пониженное питающее напряжение, межвитковое замыкание обмотки, заклинивание и т.д.);
- контроль пониженного потребления тока (вероятное повреждение системы привода нагрузки или питающих электрических цепей);
- контроль температуры корпуса электродвигателя (вероятное внешнее тепловое воздействие, нарушение системы охлаждения, повышение потерь в

сердечнике в результате завальцовывания пластин электротехнической стали);

- контроль вибраций корпуса электродвигателя (повреждение подшипников электродвигателя);

- возможность совместной работы с двигателями переменного и постоянного тока;

- возможность коммутации управляющих цепей пускателей (контакторов);

- устройство должно обладать блокировкой возможности повторного пуска электродвигателя при возникновении нештатной ситуации;

- по возможности наличие телеметрического выхода преобразования контролируемый ток – напряжение.

В результате предлагается к рассмотрению два варианта структурных схем ЭМЗЭ с аналоговой и цифровой обработкой контролируемых параметров. Схемы приведены соответственно на рисунках 1.10 и 1.11.

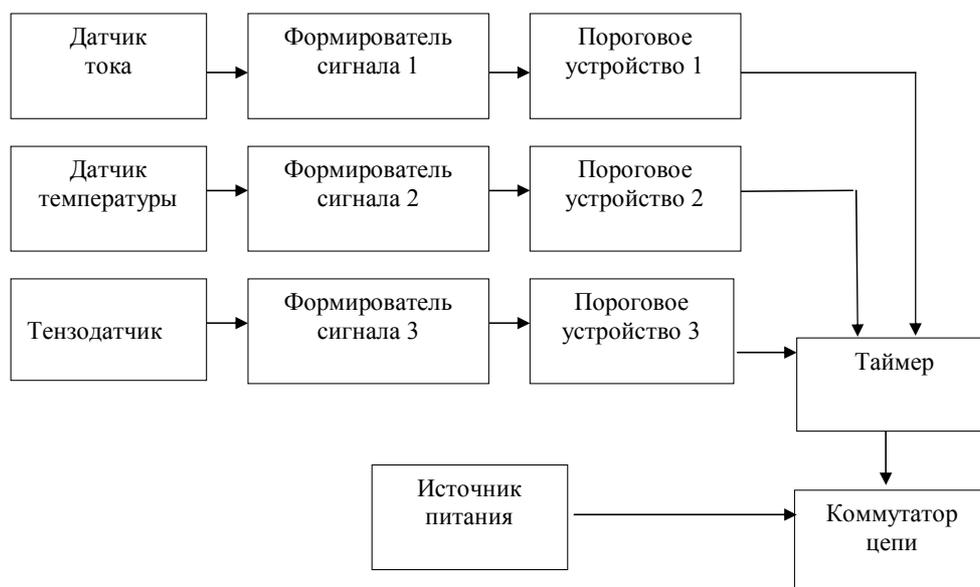


Рисунок 1.10 – Вариант структурной схемы модуля защиты электродвигателя с аналоговой обработкой сигналов

В варианте, представленном на рисунке 1.10, сигнал, полученный с датчика тока, при помощи формирователя сигналов 1 преобразуется в нормированное значение напряжения, прямо пропорциональное контролируемой величине рабочего тока с заданной погрешностью. Далее, полученный сигнал сравнивается при помощи порогового устройства 1 с установкой верхнего и нижнего допустимых пределов значения тока контролируемой цепи.

В случае если величина контролируемого сигнала находится вне рабочей зоны, пороговое устройство 1 выдаёт сигнал на таймер, осуществляющий задержку по времени дальнейшего прохождения сигнала аварии на фиксированную величину времени. При условии не прекращения

аварийного режима контролируемого тока таймер выдаёт команду на размыкание коммутатору цепи управления.

Работа тракта контроля температуры подобна работе тракта контроля рабочего тока нагрузки. Датчик температуры преобразует абсолютное значение температуры в электрический сигнал. Формирователь сигнала 2 преобразует сигнал к нормируемому значению напряжения, которое при помощи порогового устройства 2 сравнивается с фиксированной величиной напряжения установки. Выделенный сигнал нарушения температурного режима работы электродвигателя поступает на таймер. Далее процесс срабатывания коммутатора цепи управления полностью повторяет предыдущий случай аварии тока нагрузки.

Работа тракта контроля допустимых механических вибраций корпуса электродвигателя аналогична работе тракта контроля температуры.

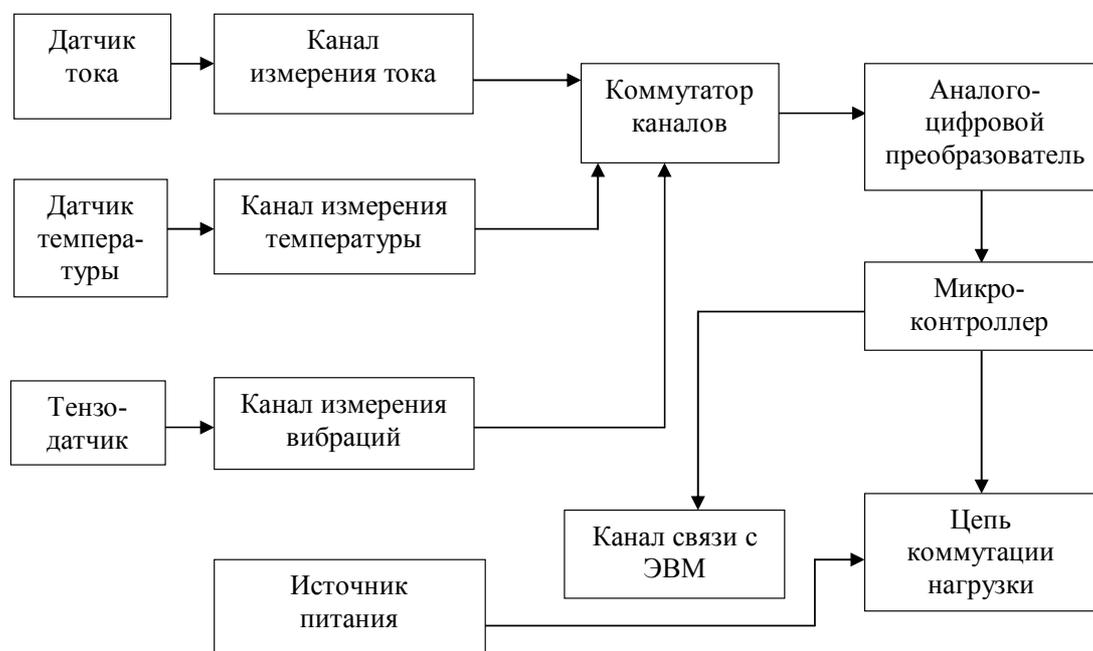


Рисунок 1.11 – Вариант структурной схемы модуля защиты электродвигателя с цифровой обработкой сигналов

В варианте структурной схемы модуля защиты ЭД, представленного на рисунке 1.11, полученные величины сигналов с датчиков тока, температуры и вибраций нормируются соответствующими каналами измерения. После чего аналоговые сигналы через коммутатор каналов поступают на аналого-цифровой преобразователь. Полученная в двоичном коде информация о действующем значении тока, температуре и вибрациях обрабатывается однокристалльным микроконтроллером, и, по мере необходимости, может быть передана в систему автоматизированного управления при помощи канала связи с электронно-вычислительной машиной. В данном случае микроконтроллер выполняет функции анализа аварийной ситуации и при определении нештатного режима работы электродвигателя через

установленное программно время задержки выдаёт команду на размыкание коммутатору цепи управления.

Вариант, представленный на рисунке 1.10, проще в исполнении, позволяет достичь желаемого результата с применением элементов значительно меньшей степени интеграции, следовательно, должен иметь меньшую себестоимость по сравнению со вторым вариантом. Как следствие, для обслуживания ЭМЗЭ по первому варианту достаточно менее высокой квалификации обслуживающего персонала, что по техническому заданию проекта для агропромышленных условий эксплуатации таких устройств является определяющим. Устройство защиты ЭД также должно обладать высокой ремонтпригодностью.

Преимущества варианта с цифровой обработкой контролируемых сигналов заключаются в возможности осуществления более гибкого алгоритма работы ЭМЗЭ в той или иной ситуации. Например, выдача предупреждающих сигналов при приближении значений контролируемых сигналов к критическому уровню. Кроме того, структурная схема на базе микроконтроллера позволяет более свободно дополнительно наращивать количество каналов измерения. Это может быть необходимо при контроле работы трёхфазных машин переменного тока, или, когда требуется, контролировать параметры и режимы работы одновременно нескольких электрических машин.

Таким образом, в условиях, сформулированных техническим заданием проекта, на данном этапе можно считать более актуальным осуществление построения структурной схемы ЭМЗЭ по первому варианту. Тем более реализация этого варианта требует меньших затрат по времени и ограниченных людских и материальных ресурсов.

Второй вариант можно считать дальнейшей перспективой развития данной темы.

7.2 Описание альтернативного варианта

Основываясь на выбранном варианте структурной схемы электронного модуля защиты электродвигателя, предлагается конструктивно выполнить модуль в виде отдельного автономно законченного устройства. Такое решение позволяет использовать модуль в условиях эксплуатации непосредственно возле электродвигателя, защиту которого предполагается осуществлять данным модулем.

Конструктивно законченный модуль должен обладать простотой в сборке, монтаже, настройке и электрическом подключении к защищаемому электродвигателю. Электромонтаж осуществляется посредством коммутирующих проводов.

Датчики фазных токов ЭД, температуры и вибраций корпуса ЭД через соответствующие разъемы на корпусе ЭМЗЭ обеспечивают его функционирование.

Электрическая схема модуля ЭМЗЭ выполняется в виде печатного узла и герметично размещается внутри корпуса.

Питание электрической схемы осуществляется от первичной сети, питающей контролируемый электродвигатель, тем самым осуществляется постоянство и независимость энергопотребления модулем.

Корпус ЭМЗЭ должен комплектоваться съемной крышкой, обеспечивающей возможность ремонта и настройки модуля.

В конструкции корпуса ЭМЗЭ необходимо предусмотреть универсальное крепление: либо к корпусу контролируемого электродвигателя, либо настенное крепление вблизи ЭД.

Для обеспечения техники безопасности в условиях использования силовой электрической цепи корпус модуля ЭМЗЭ следует выполнить из электроизоляционного материала, обеспечивающего его электрическую и механическую прочность.

**ПРИЛОЖЕНИЕ 2 - ПРИМЕР ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ НА
ПРОЕКТИРОВАНИЕ НОВОГО ИЗДЕЛИЯ В РАМКАХ ДИПЛОМНОГО
ПРОЕКТА КОНСТРУКТОРСКОГО ПРОФИЛЯ**

Министерство образования и науки РФ

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

Кафедра конструирования и производства радиоаппаратуры (КИПР)

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. каф. КИПР,
д. т. н., профессор

« ____ » _____ 2011 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ
на дипломный проект

«Электронный модуль защиты асинхронных электродвигателей»

Этап разработки: технический проект.

Исполнитель: студент группы _____ **Петров Александр Иванович**,
оканчивающий университет по специальности 210201.

Приказ ректора от _____ № _____

Срок сдачи законченного проекта на кафедру « ____ » _____ 2011 г.

Руководитель дипломного проекта:

доцент каф. КИПР Иванов Алексей Константинович

СОГЛАСОВАНО

Методист по дипломированию
_____ Хохлов С.Ю.

« ____ » _____ 2011 г.

1. ЦЕЛЬ И НАЗНАЧЕНИЕ РАБОТЫ

Электронный модуль защиты асинхронных электродвигателей (ЭМЗЭ) предназначен обеспечивать функционирование силовых электрических двигателей (ЭД) в условиях эксплуатации агропромышленных комплексов, надежно и своевременно отключать электродвигатели при воздействии внешних дестабилизирующих факторов и возникновении аварийных режимов, превышающих допустимые пределы эксплуатации, с целью предотвращения преждевременного выхода ЭД из строя, обеспечивая сохранение его надежной дальнейшей работоспособности в условиях эксплуатации.

2. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

2.1 Системный анализ и выявление возможности обеспечения защиты электродвигателей в рабочих условиях эксплуатации, способов и устройств её обеспечивающих.

2.2 Анализ возможных вариантов схем ЭМЗЭ.

2.3 Разработка структурной и функциональной схемы ЭМЗЭ.

2.4 Разработка схемы электрической принципиальной ЭМЗЭ.

2.5 Расчет схемы и выбор элементной базы.

2.6 Проектирование варианта топологии печатной платы модуля ЭМЗЭ.

2.7 Разработка и обоснование конструкции изделия.

2.8 Вопросы экономического обоснования проекта и обеспечение безопасности.

3. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ

3.1 Технические характеристики

3.1.1 Напряжение питания, В	27
3.1.2 Количество проверяемых параметров, N	4
3.1.3 Ток цепи управления, А	15
3.1.4 Время отключения в аварийных ситуациях, с	5...10
3.1.5 Температура корпуса ЭД, °С	105
3.1.6 Вероятность безотказной работы при времени работы 5000 часов, не менее	0.92
3.1.7 Средняя наработка на отказ, ч	20000
3.1.8 Коэффициент готовности	0.9
3.1.9 Номинальные значения климатических факторов внешней среды устанавливаются согласно ГОСТ 15543-70, степень жёсткости 2 (указываются конкретно).	

3.2 Конструктивные требования

Модуль защиты ЭД выполнить в виде автономного функционально законченного устройства. Конструкция уточняется в процессе разработки. Предусмотреть возможность внешнего закрепления модуля. Внешний вид конструкции модуля выполнить с учетом современных требований технической эстетики и эргономики.

3.3 Технологические требования

Коэффициенты стандартизации и унификации $K_{СТ}$, $K_{УН}$ – не менее 0.7.
 Коэффициент технологичности $K_{ТЕХН}$ – не менее 0.6.
 Объем производства – 100000 шт./год.

3.4 Экономические требования

Цена – $Ц \leq 1500$ руб.
 Масса – $m \leq 2$ кг
 Габаритные размеры – $v \times l \times h \leq (150 \times 100 \times 50)$ мм³
 Коэффициент заполнения по массе – не менее 0.4.
 Коэффициент заполнения по объёму – не менее 0.5.
 Коэффициент заполнения по площади печатных узлов – не менее 0.4.
 Потребляемая мощность – $P_{ПОТР} \leq 50$ Вт

3.5 Требования безопасности и влияния на окружающую среду

Все выводы изделия и элементы конструкции должны обеспечивать электрическую безопасность для обслуживающего персонала. Степень защиты IP41 по ГОСТ 14254-80. Условия безопасности по ГОСТ 12001-80.

3.6 Прочие требования

Полупроводниковые приборы и электрорадиоэлементы, используемые в модуле защиты ЭД, должны соответствовать перечню полупроводниковых приборов и деталей общего назначения, разрешенных к применению в новых разработках.

4. ТРЕБОВАНИЯ К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ ИНЖЕНЕРНОГО ТРУДА

При разработке модуля ЭМЗЭ и оформлении его конструкторской документации использовать САПР AutoCAD, Altium Designer, SolidWorks и текстовый редактор Microsoft Office 2010.

При анализе электрической схемы модуля использовать MathCAD 14 и MicroCap 10.0.

5. ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ

5.1 Двигатели асинхронные однофазные ДАО200-1500/2000-3. Технические условия ЕИЖА.525541.001ТУ.

5.2 Электродвигатели ДПУ мощностью 180,550,1100 Вт. Технические условия ТУ16-515.247-80 (ЕИЖА.527344.005ТУ).

5.3 Устройство управления агрегатами ЭЦВ «Алтай-С-1-11-У2», паспорт ИЛКЮ.656327.001ПС.

5.4 ГОСТ 183-74 «Машины электрические вращающиеся. Общие технические требования».

5.5 АВВ. Основной каталог. Аппараты защиты электродвигателей.

Далее приводится еще 20 информационных источников.

6. МАТЕРИАЛЫ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ ПО ОКОНЧАНИЮ РАБОТЫ В ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКЕ

6.1 Титульный лист.

6.2 Рефераты на русском и английском языках.

6.3 Содержание.

6.4 Техническое задание.

6.5 Введение.

6.6 Системный анализ существующих методов и средств защиты электродвигателей; в том числе, разработка вариантов функциональных схем ЭМЗЭ.

6.7 Анализ и описание схемы электрической принципиальной модуля защиты электродвигателя; в том числе:

- описание работы принципиальной электрической схемы;
- расчёт элементов принципиальной электрической схемы.

6.8 Конструкторская часть:

- выбор генерального направления конструирования ЭМЗЭ;
- выбор и обоснование конструкции;
- тепловой расчет;
- расчет надежности;
- расчет собственной частоты печатного узла;
- конструирование печатной платы ЭМЗЭ;
- проектирование топологии печатного узла ЭМЗЭ в системе Altium Designer.

6.9 Технологическая часть:

- выбор и обоснование материалов и технологии изготовления печатных плат;

- расчет технологической трудоемкости по сборке и монтажу печатного узла ЭМЗЭ;
- анализ технологичности конструкции печатного узла устройства.

6.10 Технико-экономическое обоснование разработки.

6.11 Вопросы безопасности жизнедеятельности

6.12 Заключение.

7. ГРАФИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

7.1 Чертеж общего вида ЭМЗЭ 1 лист А1.

7.2 Сборочный чертеж ЭМЗЭ 1 лист А1.

7.3 Схема электрическая функциональная ЭМЗЭ 1 лист А1.

7.4 Схема электрическая принципиальная ЭМЗЭ 1 лист А1.

7.5 Сборочный чертеж печатного узла 1 лист А2.

7.6 Чертеж печатной платы 1 лист А2.

7.7 Чертежи деталей 2 листа А2.

7.8 Демонстрационный лист по экономике 1 лист А1.

Все предъявляемые материалы должны соответствовать требованиям действующих стандартов, ОС ТУСУР 6.1-97 и методическим указаниям по дипломному проектированию.

8. СОДЕРЖАНИЕ ПРЕЗЕНТАЦИИ

8.1 Титульный лист 1 слайд А1.

8.2 Конструкторская документация 6 слайдов А1.

8.3 Демонстрационные листы по докладу 3 слайда А1.

8.5 Демонстрационный лист по экономике 1 слайд А1.

Руководитель дипломного
проектирования
доцент кафедры КИПР

Исполнитель (дипломник)

_____ А.К. Иванов
« ____ » _____ 2011 г.

_____ А.И. Петров
« ____ » _____ 2011 г.

Заказывающее подразделение

_____ 2011 г.

**ПРИЛОЖЕНИЕ 3 - ПРИМЕР ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ НА
БАКАЛАВРСКУЮ ДИПЛОМНУЮ РАБОТУ**

Министерство образования и науки Российской Федерации

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

Кафедра конструирования и производства радиоаппаратуры

УТВЕРЖДАЮ

Зав. каф. КИПР, д.т.н., проф.

« ____ » _____ 2011 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ
на бакалаврскую дипломную работу

«Электронный модуль защиты асинхронных электродвигателей»

Этап разработки: техническое предложение

Исполнитель: студент группы _____ **Петров Александр Иванович**,
оканчивающий университет по направлению подготовки 211000.

Приказ ректора от _____ № _____

Срок сдачи законченного проекта на кафедру « ____ » _____ 2011 г.

Руководитель дипломного проекта:

доцент каф. КИПР Иванов Алексей Константинович

СОГЛАСОВАНО:

Методист дипломирования,
доцент профилирующей кафедры

« ____ » _____ 2011 г.

1. ЦЕЛЬ И НАЗНАЧЕНИЕ РАБОТЫ

Электронный модуль защиты асинхронных электродвигателей (ЭМЗЭ) предназначен обеспечивать функционирование силовых электрических двигателей (ЭД) в условиях эксплуатации агропромышленных комплексов, надежно и своевременно отключать электродвигатели при воздействии внешних дестабилизирующих факторов и возникновении аварийных режимов, превышающих допустимые пределы эксплуатации, с целью предотвращения преждевременного выхода ЭД из строя, обеспечивая сохранение его надежной дальнейшей работоспособности в условиях эксплуатации.

2. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

2.1 Системный анализ проблемы и выявление возможности обеспечения защиты электродвигателей в рабочих условиях эксплуатации.

2.2 Анализ возможных вариантов структурной и функциональной схем ЭМЗЭ.

2.3 Разработка и обоснование структурной и функциональной схем ЭМЗЭ.

2.4 Разработка схемы электрической принципиальной устройства температурной защиты ЭМЗЭ.

2.5 Проектирование варианта топологии печатной платы устройства температурной защиты ЭМЗЭ.

2.6 Разработка и обоснование вариантов конструкции в целом.

3. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ

3.1 Технические характеристики

3.1.1 Напряжение питания, В	27
3.1.2 Количество проверяемых параметров, N	4
3.1.3 Ток цепи управления, А	15
3.1.4 Время отключения в аварийных ситуациях, с	5...10
3.1.5 Температура корпуса ЭД, °С	105
3.1.6 Вероятность безотказной работы при времени работы 5000 часов, не менее	0.92
3.1.7 Средняя наработка на отказ, ч	20000
3.1.8 Коэффициент готовности	0.9
3.1.9 Номинальные значения климатических факторов внешней среды устанавливаются согласно ГОСТ 15543-70, степень жёсткости 2 (указываются конкретно).	

3.2 Конструктивные требования

Модуль защиты ЭД выполнить в виде автономного функционально законченного устройства. Конструкция уточняется в процессе разработки. Предусмотреть возможность внешнего закрепления модуля. Внешний вид конструкции модуля выполнить с учетом современных требований технической эстетики и эргономики.

3.3 Технологические требования

- коэффициенты стандартизации и унификации $K_{СТ}$, $K_{УН}$ – не менее 0.7;
- коэффициент технологичности $K_{ТЕХН}$ – не менее 0.6;
- объем производства – 100000 шт/год.

3.4 Экономические требования

Масса - $m \leq 2$ кг

Габаритные размеры – $v \times l \times h \leq (150 \times 100 \times 50)$ мм³

Коэффициент заполнения по массе – 0.4, не менее.

Коэффициент заполнения по объёму – 0.5, не менее.

Коэффициент заполнения по площади печатных узлов – 0.4, не менее.

Потребляемая мощность – $P_{ПОТР} \leq 50$ Вт

3.5 Требования безопасности и влияния на окружающую среду

Все выводы изделия и элементы конструкции должны обеспечивать электрическую безопасность для обслуживающего персонала. Степень защиты IP41 по ГОСТ 14254-80. Условия безопасности по ГОСТ 12001-80.

3.6 Прочие требования

Полупроводниковые приборы и электрорадиоэлементы, используемые в модуле защиты ЭД, должны соответствовать перечню полупроводниковых приборов и деталей общего назначения, разрешенных к применению в новых разработках.

4. ТРЕБОВАНИЯ К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ ИНЖЕНЕРНОГО ТРУДА

При разработке модуля ЭМЗЭ и оформлении его конструкторской документации использовать САПР AutoCAD, Altium Designer, SolidWorks и текстовый редактор Microsoft Office Word 2010.

При анализе электрической схемы модуля использовать MathCAD 14 и MicroCap 10.0.

5. ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ

5.1 Двигатели асинхронные однофазные ДАО200-1500/2000-3. Технические условия ЕИЖА.525541.001ТУ.

5.2 Электродвигатели ДПУ мощностью 180,550,1100 Вт. Технические условия ТУ16-515.247-80 (ЕИЖА.527344.005ТУ).

5.3 Устройство управления агрегатами ЭЦВ «Алтай-С-1-11-У2», паспорт ИЛКЮ.656327.001ПС.

5.4 ГОСТ 183-74 «Машины электрические вращающиеся. Общие технические требования».

5.5 АВВ. Основной каталог. Аппараты защиты электродвигателей.

Далее приводится еще 20 информационных источников.

6. МАТЕРИАЛЫ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ ПО ОКОНЧАНИЮ РАБОТЫ В ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКЕ

6.1 Титульный лист.

6.2 Рефераты на русском и английском языках.

6.2 Рефераты на русском и английском языках.

6.3 Содержание.

6.4 Техническое задание.

6.5 Введение.

6.6 Системный анализ существующих методов и средств защиты электродвигателей, в том числе, разработка вариантов структурной и функциональных схем ЭМЗЭ.

6.7 Анализ и описание схем структурной, функциональной модуля ЭМЗЭ, в том числе принципиальной устройства температурной защиты электродвигателя.

6.8 Моделирование работы принципиальной электрической схемы температурной защиты электродвигателя с использованием пакета MicroCap.

6.9 Конструкторская часть:

- выбор генерального направления конструирования ЭМЗЭ;
- конструирование печатного узла устройства температурной защиты модуля ЭМЗЭ;

- моделирование и расчёты: компоновочный расчёт, расчёт надёжности, моделирование теплового режима;

- описание и обоснование выбранной конструкции ЭМЗЭ.

6.10 Технологическая часть:

- выбор и обоснование материалов и технологии изготовления печатной платы;

- описание технологии изготовления печатной платы;

6.11 Заключение.

7. ГРАФИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ (ПРЕДСТАВЛЯЕТСЯ В ПРИЛОЖЕНИИ К ПЗ И В ДЕМОСТРАЦИОННЫХ ИЛЛЮСТРАЦИЯХ ПО ЗАЩИТЕ)

7.1 Чертеж общего вида ЭМЗЭ 1 лист А1.

7.2 Схема электрическая функциональная ЭМЗЭ 1 лист А1.

7.3 Схема электрическая принципиальная устройства температурной защиты ЭМЗЭ 1 лист А1.

7.4 Сборочный чертеж печатного узла 1 лист А1.

7.5 Чертеж печатной платы 1 лист А1.

7.6 Чертеж оригинальной детали 1 лист А2.

7.7 Демонстрационные листы 2 листа А1.

8. СОДЕРЖАНИЕ ПРЕЗЕНТАЦИИ (ДЕМОСТРАЦИОННЫЕ ИЛЛЮСТРАЦИИ ПО ЗАЩИТЕ)

8.1 Титульный лист 1 слайд А1.

8.2 Конструкторская документация 5 слайдов А1.

8.3 Демонстрационные листы по докладу 2 слайда А1.

Все предъявляемые материалы должны соответствовать требованиям действующих стандартов, ОС ТУСУР 6.1-97 и методическим указаниям по дипломированию.

Руководитель
проектирования
доцент кафедры КИПР

Исполнитель (дипломник)

_____ А.К. Иванов
« ____ » _____ 2011 г.

_____ А.И. Петров
« ____ » _____ 2011 г.

Заказывающее подразделение

_____ 2011 г.

Учебное издание

Алексеев Валерий Павлович
Озёркин Денис Витальевич

**Системная технология
инженерного проектирования РЭС в дипломировании**

Учебное пособие

Формат 60×84 1/16. Усл. печ. л. 5,81

Тираж 100 экз. Заказ

Отпечатано в Томском государственном университете
систем управления и радиоэлектроники.

634050, Томск, пр. Ленина, 40. Тел. (3822) 533018.