

**Министерство образования Республики Беларусь**

**Учреждение образования  
«Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого»**

**Кафедра «Автоматизированный электропривод»**

**М. Н. Погуляев, В. А. Савельев**

# **ИНЖИНИРИНГ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

**ПОСОБИЕ**

**по одноименной дисциплине для студентов  
учреждений высшего образования II степени обучения  
специальности 1-53 81 03 «Автоматизация  
и управление в технических системах»  
дневной и заочной форм обучения**

**Гомель 2019**

УДК 62-83-52(075.8)  
ББК 31.291я73  
П43

*Рекомендовано научно-методическим советом  
факультета автоматизированных и информационных систем  
ГГТУ им. П. О. Сухого  
(протокол № 11 от 04.06.2018 г.)*

Рецензент: доц. каф. «Теоретические основы электротехники» ГГТУ им. П. О. Сухого  
канд. техн. наук, доц. *А. В. Козлов*

**Поголяев, М. Н.**  
П43 Инжиниринг систем автоматизации технологических процессов : пособие по одному им. дисциплине для студентов учреждений высшего образования II ступени обучения специальности 1-53 81 03 «Автоматизация и управление в технических системах» днев. и заоч. форм обучения / М. Н. Поголяев, В. А. Савельев. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2019. – 96 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <https://elib.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

Рассмотрены основные виды инжиниринговой деятельности, направленные на создание и эксплуатацию электроприводов и систем автоматизации производственных машин и технологических процессов. Представлена вся цепочка деятельности – от технического задания до монтажа, наладки и сервисного обслуживания.

Для студентов специальности 1-53 81 03 «Автоматизация и управление в технических системах» дневной и заочной форм обучения.

**УДК 62-83-52(075.8)  
ББК 31.291я73**

© Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», 2019

## ВВЕДЕНИЕ

В данном учебном пособии раскрываются методы и средства решения основных задач профессиональной деятельности, предусмотренных учебной программой дисциплины «Инжиниринг систем автоматизации технологических процессов» для выпускников вузов специальности 1–53 81 03 «Автоматизация и управление в технических системах»

Пособие ориентировано на помощь в практической работе магистрантам и молодым дипломированным специалистам при адаптации их к конкретному виду профессиональной деятельности по созданию и эксплуатации электроприводов и систем автоматизации технологических процессов.

В пособии рассматривается часть системного и электротехнического инжиниринга, включающая в себя следующие основные виды деятельности по созданию электроприводов и систем автоматизации для разнообразных объектов:

- проектирование и разработку конструкторской документации для различного электрооборудования, связь с поставщиками и консультантами унифицированных средств систем электроприводов и автоматизации;
- заказ и производство электрооборудования;
- монтаж и наблюдение за монтажом электрооборудования на объекте заказчика;
- выполнение пусконаладочных работ и обучение операторов технологического оборудования и обслуживающего персонала;
- гарантийное и сервисное обслуживание.

В настоящее время электроприводы и системы автоматизации, являющиеся эффективными средствами автоматизации производственных машин и технологических комплексов большинства отраслей промышленности, в значительной мере обеспечивают повышение производительности технологического оборудования и качество производимой продукции. Применение современных автоматизированных электроприводов, адаптированных к технологическим режимам работы машин и комплексов, обуславливает существенную экономию электроэнергии, что способствует снижению себестоимости продукции и энергетических потребностей предприятий.

Современные компьютеризированные энергосберегающие электроприводы, интегрированные с информационными сетями произ-

водств, применяются для выполнения самых разнообразных технологических процессов. Мировой объем продаж регулируемых электроприводов достигает 3 млрд долл. в год. При этом происходит быстрое обновление промышленных электроприводов, так как окупаемость этого обновления составляет во многих случаях 1–2 года. Для Республики Беларусь это особенно актуально, так как неизбежное повышение тарифов на электроэнергию приводит к повышению стоимости продукции, изготавливаемой на машинах с неэффективными и энергозатратными электроприводами старых поколений. Планируемое вступление Беларуси в ВТО потребует реконструкции существующих электроприводов в больших масштабах в целях обеспечения производства продукции, конкурентоспособной на мировом рынке.

Наряду с созданием новых технологий, машин и комплексов актуальным является реконструкция уже действующих. Так как многие машины создавались с большим запасом прочности и надежности, реконструкция электроприводов и систем автоматизации является во многих случаях экономически оправданным способом обновления производства.

Успех выполнения такой масштабной работы по реконструкции промышленного оборудования напрямую зависит от уровня подготовки и информационного обеспечения дипломированных специалистов по электроприводам и системам автоматизации.

Слово «инжиниринг» - новое для русского языка, но, как и другие новые слова, оно прочно входит в обиход. Широко используемое в экономически развитых странах это понятие включает в себя исследование, проектирование, монтаж, наладку, сервисное обслуживание и др.

Для большинства выпускников вузов практическая деятельность является именно инженеринговой и в наше динамичное время эта деятельность требует наличия хорошо подготовленных специалистов по всем вопросам создания высокоэффективных электроприводов и систем автоматизации для многих технологий.

## **ТЕМА 1. ПОНЯТИЕ И СОДЕРЖАНИЕ ИНЖИНИРИНГА**

Инжиниринг – это совокупность проектных и практических работ, относящихся к области инженерно-технической деятельности и направленных на создание и доведения до стадии внедрения и производства необходимых технологий и продукции.

Понятие комплексного инжиниринга может быть расширено до оказания содействия в эксплуатации созданного объекта и даже реализации продукции, изготовленной на этом объекте. Таким образом, комплексный инжиниринг в широком смысле слова включает:

- консультационный инжиниринг (инжиниринг консалтинг), связанный с интеллектуальным вкладом (предоставление услуг) в целях проектирования объектов;
- разработки планов строительства и контроля за проведением работ;
- технологический инжиниринг (инжиниринг технолджикал), состоящий в предоставлении заказчику технологий, необходимых для строительства промышленного объекта и его эксплуатации (договоры на передачу производственного опыта и знаний, передачу технологии и патента).

### **Системный и электротехнический инжиниринг. Объекты и характеристика системного и электротехнического инжиниринга.**

Объектами системного инжиниринга являются: технологические процессы производства продукции; производственные машины и комплексы, на базе которых реализуются технологические процессы; электротехническое оборудование и системы электроснабжения; системы автоматизации производств; строительные конструкции и помещения.

Характеристики производственных механизмов, машин и комплексов, а также реализуемых на их базе технологических процессов в разных отраслях промышленности подробно изложены в специальной литературе. Создание строительных конструкций и помещений, а также относящихся к ним инженерных систем водоснабжения, водотода, вентиляции, кондиционирования воздуха и других выполняется в соответствии со Строительными нормами и правилами (СНиП), а промышленных механизмов и технологических комплексов – в соответствии с государственными стандартами (ГОСТ).

Процесс разработки и постановки изделий на производство определяет ГОСТ 15 СРПП (стадии разработки и постановки изделий на производство), который предусматривает следующие его основные стадии:

- разработка, согласование и утверждение технического задания (ТЗ);
- разработка технической документации;
- изготовление опытных образцов (опытных партий);
- испытания и приемка опытных образцов (опытных партий), принятие решения о постановке продукции на производство;
- подготовка производства продукции;
- освоение производства продукции.

В стандартах определены функции заказчика (потребителя), разработчика и изготовителя продукции.

Заказчик предъявляет разработчику исходные требования к продукции, определяемые в результате изучения потребности и современных достижений в области ее производства, принимает участие в оценке технического уровня и качества выпущенной продукции и на стадиях ее разработки, подготовки производства и проводимых испытаний.

Разработчик разрабатывает ТЗ на основе исходных требований заказчика, согласовывает их с заинтересованными организациями, разрабатывает весь комплекс технической документации, проводит необходимые научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, патентные исследования, функционально-стоимостный анализ, моделирование, руководствуясь нормативно-техническими документами. На основе нормативно-технической документации разработчик определяет требования к техническому уровню заказанной продукции, а также к ее взаимозаменяемости и совместимости, безопасности для здоровья людей и природы.

Принципиальная особенность ТЗ состоит в том, что оно устанавливает технический уровень, который затем должен быть обеспечен на всех стадиях создания продукции. ТЗ, как правило, составляется разработчиком, но в отдельных случаях может быть разработано заказчиком или совместно с ним. ТЗ должно содержать технические требования к продукции, определяющие показатели ее качества, эксплуатационные характеристики и другие требования. В ТЗ обязательно должны содержаться экономические показатели: эффективность, срок окупаемости, цена и другие, а также должны быть уста-

новлены порядок контроля, испытаний, приемки готовой продукции и порядок экспертизы технической документации.

Изготовитель согласовывает ТЗ, принимает участие в рассмотрении разрабатываемой технической документации, проводит технологическую подготовку производства, обеспечивает освоение производства, стабильное качество продукции и выпуск ее в количестве, соответствующем производственной программе. Изготовитель также организует контроль, периодические испытания серийно изготавливаемой продукции и обеспечивает своевременное снятие с производства устаревшей продукции.

В случае необходимости подтверждения соответствия разработанной технической документации требованиям технического задания изготавливают опытные образцы (опытные партии) продукции, которые подвергают двум видам испытаний: предварительным (заводским) и приемочным. Предварительные испытания проводятся, как правило, на заводе-изготовителе в целях проверки соответствия образца техническому заданию, требованиям стандартов и технической документации, выявления возможных дефектов, недоработок технической документации и определения возможности предъявления данного образца для приемочных испытаний. Приемочные испытания дают возможность оценить технический уровень продукции и определить возможность постановки ее на производство.

Новая продукция должна пройти процедуру сертификации соответствия требованиям технических регламентов и положениям стандартов.

Объектами электротехнического инжиниринга являются электроприводы производственных механизмов, машин и комплексов; оборудование электротехнологий (сварочное, термическое, гальваническое); электроустановки, предназначенные для производства, преобразования, трансформации, передачи, распределения электрической энергии; электроосветительные приборы и сети; электропреобразовательные и зарядные станции, предназначенные для питания специальных устройств и подзарядки аккумуляторных батарей электротранспорта.

Электротехнический инжиниринг разделяется на составляющие, определяемые видом электрооборудования: силовое, осветительное, обеспечивающее электроснабжение.

Проектирование силового электрооборудования является наиболее емким и сложным вследствие его разнообразия и, как правило,

включает в себя проектирование системы распределения электроэнергии от источника питания до потребителей, рассосредоточенных по технологическому оборудованию, используемому для конкретного производства (т.е. проектирование распределительной сети электропитания). Проектирование электроснабжения в этом случае сводится к проектированию питающих сетей.

Проектирование электроосвещения сводится к расчету и выбору электроосветительных приборов и их сетей питания. Питающие сети электроосвещения, как правило, развязаны с питающими сетями силового электрооборудования.

Разработка отдельных проектов электроснабжения не выполняется для мелких предприятий, где суммарная мощность силового электрооборудования невелика. Проектирование питающих сетей совмещается в этом случае с проектированием силового электрооборудования.

При выполнении проектов силового электрооборудования придерживаются следующих положений.

1. Соблюдение требований нормативно-технических документов.

2. Обеспечение электромагнитной совместимости, надежности и удобства эксплуатации электрооборудования. Максимальное его соответствие технологическому оборудованию и технологическому процессу. Учет опыта эксплуатации электрооборудования на предприятиях.

3. Использование блочно-модульных принципов комплектования электрооборудования. Максимальное использование типовых унифицированных изделий, имеющих на рынке электрооборудования.

4. Обеспечение на предприятиях методики выполнения электромонтажных работ, приближенных к сборочным работам. Применение крупных узлов, блоков и комплектов электрооборудования и сетей, уменьшающих объемы электромонтажных работ.

5. Обеспечение экономичности принимаемых решений на основе анализа возможных вариантов (альтернатив). Выбор наиболее экономичного из вариантов, равноценных по другим оценкам, а также определение оптимального запаса по основным показателям электрооборудования (мощности, току нагрузки, температуре и др.).

При выполнении проектов электрооборудования разрабатываются строительные задания на следующие сооружения и элементы:



–электропомещения; фундаменты под электрические машины и электроагрегаты, устанавливаемые отдельно от технологического оборудования; канаты, траншеи и блоки для кабельных сетей;

–проходы и закладные части в элементах строительных конструкций зданий; каналы для воздухопроводов систем вентиляции электропомещений. отдельных электрических машин и электроагрегатов.

Разработка проекта начинается с ознакомления с заданиями на строительные сооружения, технологическое и механическое оборудование. Решение основных вопросов при проектировании выполняется в соответствии с ТЗ в следующем порядке:

– расчет и выбор электрооборудования; выбор питающих и распределительных электрических сетей;

– выбор системы управления и автоматизации; принятие конструктивных решений в отношении установки электрооборудования, монтажа информационных и электрических сетей.

### **Унификация, агрегатирование и типизация в системном инжиниринге.**

При разработке новых изделий используют приемы унификации, агрегатирования и типизации, что существенно сокращает сроки и стоимость их разработки и обеспечивает соответствие требованиям стандартов.

Унификация – это рациональное сокращение видов, типов и размеров изделий одинакового функционального назначения. Унифицированным является изделие, созданное на базе нескольких ранее существовавших различных его исполнений путем приведения к единому исполнению, заменяющему любое из них.

Степень унификации оценивается степенью насыщенности нового или проектируемого изделия элементами других изделий, уже освоенных в производстве. Высокая степень унификации обеспечивает возможность сокращения сроков проектирования и изготовления изделий, повышения производительности труда, увеличения гибкости и мобильности производства при переходе на выпуск новых видов продукции, а также повышения качества, надежности и долговечности изготавливаемых изделий. Унификация позволяет также снизить стоимость производства новых изделий, повысить уровень автоматизации производственных процессов, расширить специализированное производство.

Объектами унификации могут являться модули и блоки комплектных устройств, сборочные единицы, готовые изделия, технологические процессы, управляющие и информационные системы, технические требования, правила эксплуатации, термины и определения, системы документации и т.д. Унификация изделий осуществляется на основе определенного подобия выполняемых ими функций. Унификация изделий, целесообразность которой экономически обоснована, должна завершаться стандартизацией этих изделий.

Агрегатирование – это метод компоновки приборов, оборудования и машин из взаимозаменяемых, унифицированных узлов или агрегатов, каждый из которых представляет собой законченное изделие, выполняет определенную функцию и может быть использован при создании других изделий.

Применение агрегатирования связано с тем, что конструкции большинства изделий (оборудования, машин, комплексов, технологических процессов) можно разделить на ряд автономных агрегатов (узлов). Эти автономные функциональные узлы выделяются на основе структурного анализа их составных частей в целях использования в других изделиях. После разделения изделий полученные агрегаты унифицируют, стандартизируют и составляют для них конструктивно унифицированные (типоразмерные) ряды. При этом агрегаты, изготавливаемые независимо друг от друга, обладают взаимозаменяемостью по всем эксплуатационным показателям и присоединительным размерам.

Агрегатирование обеспечивает возможность расширения области применения машин посредством замены отдельных их узлов и блоков, а также возможность компоновки машин, приборов, оборудования разного функционального назначения из отдельных узлов, изготавливаемых на специализированных предприятиях. Агрегатирование позволяет увеличить номенклатуру выпускаемых машин и оборудования за счет модификации их основных типов и различных исполнений.

Внедрение агрегатирования позволяет перейти от конструирования и производства дорогостоящих оригинальных оборудования, машин и приборов к созданию их на основе стандартных унифицированных агрегатов. Примером такого оборудования в машиностроении может служить агрегатный металлообрабатывающий станок (обрабатывающий центр), имеющий систему автоматической смены инструментальных средств, которая обеспечивает с помощью устройства чи-

слового программного управления выполнение токарных, сверлильно-расточных, фрезерных и других операций.

Примером агрегатированного оборудования в металлургическом производстве могут служить сортовые прокатные станы, клетки которых являются унифицированными агрегатами, набор которых определяется конкретным сортаментом прокатываемого металла. Соединение (объединение) клеток в единый технологический комплекс осуществляется с помощью рольгангов [8].

В машиностроении используется метод базового агрегата, при котором, присоединяя к базовой модели машины дополнительное оборудование, получают ряд производных машин разнообразного назначения, например, конструктивно унифицированный ряд конвейеров или подъемно-транспортных машин. Применяют и метод секционирования – разделения машин на одинаковые унифицированные секции, из которых также можно собрать ряд производных машин. Например, унифицированный гусеничный ход, состоящий из двух гусеничных тележек и оснащенный автоматизированными электроприводами, используется в экскаваторах, буровых станках и другом горном оборудовании [8].

Принцип агрегатирования используется также при создании электрооборудования. Примерами блочно-модульного принципа комплектования электрооборудования являются комплектные трансформаторные подстанции, комплектные распределительные устройства, комплектные электроприводы.

Типизация – метод стандартизации, заключающийся в установлении типовых объектов. Для данной совокупности систем электроприводов промышленных механизмов, принимаемых за основу (базу) при создании других объектов, близких по функциональному назначению. В процессе типизации выбирается объекте оптимальными свойствами, наиболее характерный (типовой) для данной совокупности систем, который при получении конкретного объекта – изделия или технологического процесса – может претерпевать лишь некоторые частичные изменения или доработки. Таким образом, типизация – это распространение большого количества функций на малое число объектов, обеспечивающее сохраняемость только типовых объектов изданной совокупности систем. Типизация как эффективный метод стандартизации применяется для следующих объектов: технологических процессов; технологических агрегатов; систем управления технологическими агрегатами и процессами; программного обеспечения

систем управления; изделий общего назначения; руководящих технических материалов, устанавливающих рекомендуемый порядок проведения работ, расчетов, испытаний и т.п.

Особенно эффективна типизация в применении к системам управления технологическим оборудованием. Объединяя множество машин и механизмов, выполняющих одинаковые или аналогичные операции в технологических процессах разных отраслей промышленности, можно существенно облегчить разработку систем управления и обеспечить экономичную технологию проектирования компьютерных систем управления технологическими комплексами.

### **Нормативно-технические документы, используемые в электротехническом инжиниринге.**

Основными нормативно-техническими документами, используемыми в электротехническом инжиниринге, являются ГОСТы, строительные нормы и правила (СНиП), правила пользования электрической энергией (ППЭ), правила устройства электроустановок (ПУЭ), правила технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭ), правила техники безопасности электроустановок (ПТБ).

К стандартам, СНиП и ПТЭ обращаются при решении конкретных прикладных вопросов создания электрооборудования. Коротко остановимся на ППЭ и ПТБ. Правила пользования электрической энергией регламентируют взаимоотношения между энергосистемой и электропотребителями. В них определены:

- порядок присоединения электроустановок потребителей к энергосистеме;
- балансовая принадлежность оборудования и сетей и эксплуатационная ответственность потребителя и энергосистемы;
- соответствующие тарифы и системы расчета за электроэнергию;
- условия электроснабжения потребителей в период возникновения в энергосистеме временного дефицита мощности или энергии в целях сохранения устойчивого режима ее работы и порядок разгрузки за счет отключения части потребителей;
- порядок допуска персонала энергосистемы к электроустановкам потребителей для оперативных переключений и контроля режима электропотребления;

– ответственность энергосистемы и потребителей за электро-снабжение, качество электроэнергии и несоблюдение настоящих правил.

Технико-экономические вопросы взаимоотношений между энергосистемой и потребителем включают в себя разработку и выполнение:

–технических условий на присоединение электроустановок потребителей к энергосистеме; схем размещения приборов контроля качества электроэнергии;

–схем размещения приборов учета; нормативов по компенсации реактивной мощности и оптимальных режимов работы компенсирующих устройств;

–правил и норм, обеспечивающих надежную и экономичную эксплуатацию электроустановок потребителей.

Координация взаимоотношений между энергосистемой и потребителем возложена на Энергосбыт.

Правила техники безопасности электроустановок определяют условия, исключаящие воздействие опасных и вредных факторов на персонал, занятый обслуживанием, эксплуатацией или ремонтом электрооборудования. К числу указанных воздействий относятся электрический ток и создаваемые при выработке, преобразовании и потреблении электроэнергии электрическое и магнитное поля, а также шум и вибрации.

Допустимое воздействие электрического тока на человека определяют ГОСТ 12.1.038–82и рекомендации МЭК 479. В нормальном (неаварийном) режиме работы, когда изоляция электроустановок не повреждена, человек может контактировать с частями электроустановки, но при этом напряжения прикосновения и токи, протекающие через его тело, не должны превышать значений, указанных в ГОСТе.

При повреждении изоляции или контакте человека с токоведущими частями электроустановки в аварийном режиме работы предельно допустимые значения напряжения прикосновения и тока, протекающего через тело, зависят от времени нахождения человека под их действием и нормируются стандартом.

Электробезопасность человека при эксплуатации электроустановок обеспечивается основными техническими защитными мероприятиями, к которым относятся недоступность токоведущих частей и их надежная изоляция, а также дополнительными техническими мероприятиями, т.е. применением устройств и средств защиты, обеспе-

чивающих безопасность при повреждении основных средств защиты. Выбор конкретных средств защиты осуществляется на основании классификации электроустановок по параметрам используемых в них напряжений питания, а производственных помещений – по степени опасности поражения электрическим током.

Различают электроустановки с напряжением питания до 1000 В и свыше 1000 В. По частоте питающей сети различают оборудование постоянного тока, оборудование низкой (промышленной) частоты (до 60 Гц), среднечастотное оборудование (свыше 60 Гц и до 10 кГц), высокочастотное оборудование (свыше 10 кГц и до 300 МГц) и сверхвысокочастотное оборудование, рабочая частота которого превышает 300 МГц [55].

Электрооборудование классифицируется по степени защиты от электрического тока человека и степени защиты от проникновения в него пыли, твердых объектов и влаги. Согласно ГОСТ 14254–80 и рекомендациям МЭК 529–89 различают семь степеней защиты от нерегулируемого доступа к внутренним частям изделия и девять степеней защиты токоведущих частей от проникновения в них воды через корпус изделия. В зависимости от предполагаемых условий эксплуатации изделия выбирается в соответствии с номером международной классификации (IP-xx) степень его защиты оболочкой – корпусом.

Для защиты человека от прикосновения к металлическим частям изделия, находящимся под напряжением, и для защиты изделия от коротких замыканий и замыканий на корпус служит электрическая изоляция. Выбор изоляции изделия и его частей зависит от значения рабочего напряжения. Предусмотрены пять классов защиты от поражения электрическим током, которая обеспечивается не только основной изоляцией, но и дополнительной изоляцией и дополнительными средствами.

Дополнительными защитными мероприятиями от поражения током при повреждениях изоляции или оболочки изделия являются заземление, зануление, защитное отключение.

Заземление применяется в сочетании с контролем изоляции или защитным отключением в сетях с изолированной нейтралью и напряжением до 1000 В и в любых сетях с напряжением свыше 1000 В.

В сетях с напряжением до 1000 В в случае замыкания токоведущих частей на заземленный корпус за счет его малого сопротивления по отношению к прочим сопротивлениям утечек фаз сети на землю

напряжение замкнувшейся фазы относительно земли снижается до безопасного уровня, а средства контроля изоляции сигнализируют о возникновении неисправности и позволяют осуществить поиск места замыкания.

В высоковольтных электроустановках при правильном расчете и выборе средств защиты от коротких замыканий участок сети с возникшим повреждением автоматически отключается.

Сопротивление защитного заземления корпуса электроустановки в сети с изолированной нейтралью не должно превышать:

при напряжении до 1000 В и мощности трансформатора больше 100 кВ А – 4 Ом, а при меньшей мощности – 10 Ом;

при напряжении выше 1000 В –  $125/I$  (где  $I$  – расчетный ток замыкания на землю, А).

Для защиты от прикосновения к корпусу электроприемника, оказавшегося под напряжением, используются устройства защитного отключения (УЗО) или дифференциальные автоматические выключатели. В ряде стран мира такие устройства называются устройствами дифференциальной защиты на остаточных токах нулевой последовательности. Эти устройства регламентирует ГОСТ Р 50807–95, разработанный на основе МЭК755–83. В основном такие устройства применяются в сетях с глухозаземленной нейтралью, где их установка дополняется выполнением защитного заземления металлических корпусов электроприемников.

Все элементы установок, по которым протекают токи, являются источниками излучения электромагнитных полей. В зависимости от интенсивности излучения, рабочей частоты и места нахождения оператора относительно источника поля возможно воздействие его электрической или магнитной составляющей или их сочетания.

Основными источниками электрического и магнитного полей установок являются трансформаторы, реакторы, преобразователи частоты и конденсаторные батареи. Если данное оборудование размещается в закрытых металлических корпусах и шкафах, то за их пределами электромагнитное поле мало и не может вызвать нежелательные последствия для обслуживающего персонала.

К защитным мероприятиям от воздействия электромагнитных полей относятся: периодическое измерение уровней полей в рабочей зоне персонала (особенно после ремонта электрооборудования); размещение рабочих мест в зонах с интенсивностью излучений ниже

предельно допустимой; подавление электромагнитных полей посредством экранирования источника.

## **Тема 2. ИНЖИНИРИНГ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ И СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ**

### **Создание автоматизированных электроприводов механизмов, машин и комплексов на базе типовых средств**

Возможны два варианта создания автоматизированных электроприводов (АЭП): в составе вновь создаваемых механизмов, машин или комплексов и при реконструкции имеющихся механизмов, машин или комплексов.

В каждом из этих вариантов важна возможность тиражирования полученных результатов на другие аналогичные объекты.

В настоящее время создан развитый рынок типовых унифицированных средств ЭП и СА, т.е. имеется возможность выбора типовых средств от простых комплектных АЭП с невысокими динамическими показателями, предназначенных для управления автономными производственными механизмами, до интегрированных систем многодвигательных высокодинамичных АЭП, предназначенных для управления технологическими комплексами. При этом всегда предусматривается возможность сопряжения систем управления механизмами, машинами и комплексами с распределенными системами автоматизации технологических процессов (см. гл. 3 и приложение).

Большинство задач создания или модернизации АЭП конкретного объекта можно решить с использованием типовых средств. При этом важны выбор и компоновка этих средств, которые должны быть в максимальной степени адаптированы к конкретному объекту и режимам функционирования в технологическом процессе. Принципы построения автоматизированных электроприводов механизмов, машин, агрегатов и комплексов основаны на блочно-модульной идеологии и типизации структур систем управления.

Типовая структура автоматизированных многодвигательных электроприводов технологического комплекса показана на рис. 2.1.



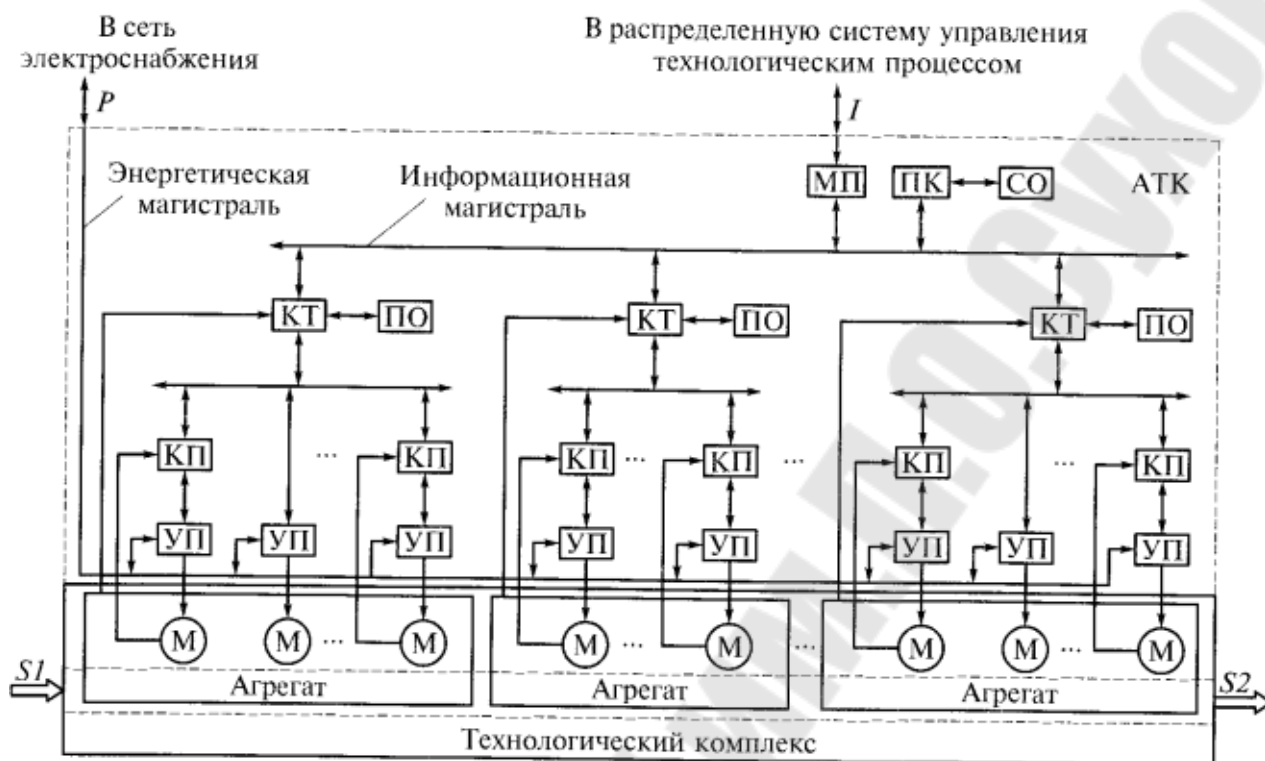


Рис. 2.1. Типовая структура автоматизированных электроприводов технологического комплекса:  $P$  – мощность электрической сети;  $I$  – информационный поток

Исполнительные органы рабочих машин и технологических агрегатов оснащаются индивидуальными электроприводами с электродвигателями (М), управляемыми преобразователями (УП) и программируемыми контроллерами приводов (КП). Совместно эти устройства составляют основу комплектного электропривода. Работу приводов и механизмов, входящих в состав технологического агрегата, координирует технологический программируемый контроллер (КТ). Координацию совместной работы агрегатов технологического комплекса выполняет один из микроконтроллеров (КТ) или промышленный компьютер (ПК), входящий в состав станции оператора (СО). Через магистральный преобразователь (МПП) осуществляется связь автоматизированного технологического комплекса (АТК) с распределенной системой управления технологическим процессом. Контроллеры взаимодействуют через коммуникационную связь, структура которой в соответствии с существующими стандартами по промышленным

сетям средств вычислительной техники может быть различной. Контроль агрегатов и управление ими могут осуществляться с периферийных пультов операторов (ПО).

Расчет автоматизированного электропривода связан с расчетом мощности электродвигателя, который выполняется в соответствии с режимами S1...S8 работы механизмов технологического оборудования на основании нагрузочных и скоростных диаграмм. Методы расчета и выбора мощности двигателей для длительного, кратковременного и повторно-кратковременного режимов работы рассмотрены в соответствующей литературе.

Выбор системы электропривода производится в соответствии с данными питающей электросети, мощностью, скоростью, режимами S1...S8 работы и перегрузочной способностью электродвигателя, а также на основании требований к регулированию скорости (рабочему диапазону, плавности изменения и точности поддержания заданной скорости) и динамическим показателям качества процесса регулирования (быстродействию, перерегулированию и др.).

Для примера, требования к точности и быстродействию АЭП некоторых рабочих машин приведены в таблице 2.1.

На выбор системы электропривода могут влиять также условия пуска механизмов. Многие механизмы (например, конвейеры) требуют обеспечения пуска под нагрузкой, а некоторые (например, центробежные вентиляторы главного проветривания шахт, дробилки крупного дробления) облачают значительными инерционными массами. В случае применения асинхронных короткозамкнутых двигателей или синхронных с асинхронным пуском может оказаться, что время пуска механизма недопустимо велико и за это время двигатель перегревается. Завышение мощности и момента вращения двигателя по условиям пуска приводит к его недоиспользованию в режиме рабочего функционирования и ухудшению энергетических показателей. При пуске механическая часть двигателя может испытывать большие перегрузки, что будет неблагоприятно сказываться на ее долговечности, особенно при наличии упругих элементов (канатов лебедок, конвейерных лент и др.). Вследствие этого может оказаться необходимым применение устройства плавного пуска или регулируемого привода.

Возможно применение редукторного привода или безредукторного с тихоходным двигателем. Рациональный выбор может быть выполнен на основании технико-экономического сравнения, которое должно учитывать не только различные стоимости тихоходного и бы-

строходного (с дополнительным редуктором) двигателей, но и их массу и габаритные размеры, влияющие на необходимые размеры помещения, фундамента и затраты на несущие конструкции при его размещении.

Таблица 2.1

Рабочая машина	Максимальная ошибка. %	Частота среза, с <sup>-1</sup>
Непрерывные прокатные станы: частота вращения высота петли натяжение полосы	0.5 1 5	50... 100 10...20 50...80
Ножницы: скорость положение (место резания)	0,1...0,05 1 ... 0.3	50...80 25...40
Бумагоделательные (картоноделательные) машины: скорость полотна соотношение скоростей соседних секций	0,01(0,05) 0,01(0,05)	100 –
Каландры для обработки синтетических материалов: скорость полотна соотношение скоростей соседних секций	0,5 0.5	50 –
Механизмы подачи станков: скорость точность позиционирования	0,5 0,001...0.0001	100 50

При номинальной скорости исполнительного органа не менее 300 мин<sup>-1</sup> предпочтительным является безредукторный привод с прямым соединением вала двигателя с валом рабочей машины (насоса, вентилятора). При меньшей скорости рабочего органа выбор не однозначен, хотя чаще всего редукторный привод имеет меньшие массу и габаритные размеры. Для механизмов, не требующих регулирования скорости, достаточно сравнения только по этим показателям.

Для механизмов с частыми пусками и реверсами важно сравнение двигателей по динамическим показателям. Безредукторные электроприводы более динамичны и предпочтительны для регулируемых электроприводов, так как их проще разгонять, тормозить, регулиро-

вать скорость. Поэтому они широко применяются для шахтных подъемных установок и прокатных станков.

Преимуществом безредукторных электроприводов являются их высокие динамические свойства. При этом обеспечиваются высокие частоты упругих механических колебаний в кинематических трактах приводов, а, следовательно, высокие частоты среза в системах регулирования скорости и положения. Переход на безредукторные электроприводы и мехатронные модули является перспективным направлением развития приводной техники. Особенно это перспективно для непрерывно-поточных производств.

При выборе системы электропривода необходимо учитывать характер нагрузки, создаваемой рабочим механизмом. Выравнивание момента двигателя для нерегулируемых электроприводов с неравномерной или пульсирующей нагрузкой достигается увеличением инерционных масс электропривода (поршневых компрессоров, дробилок крупного дробления), хотя это может затруднить его пуск.

Значительно сложнее решать этот вопрос для регулируемых реверсивных электроприводов, так как увеличение механической инерции снижает их быстродействие (что очень важно в электроприводах реверсивных прокатных станков).

Наличие в нагрузке пиков тока требует дополнительной проверки приводов по допустимой перегрузке.

В случаях, когда возможны перегрузки, которые не может преодолеть привод, необходимо предусмотреть соответственно настроенную защиту или систему управления, обеспечивающую ограничение тока и момента двигателя, а также динамические нагрузки в механических передачах (например, в экскаваторных электроприводах).

Выбор систем многодвигательных электроприводов помимо сказанного включает в себя решение еще двух основных задач.

1. Выбор структуры и средств распределительной силовой сети электроприводов.

2. Выбор структуры и средств системы координированного управления электроприводами.

Первая задача решается применением:

- индивидуальных преобразователей частоты для каждого электропривода и энергетической магистрали переменного тока;
- группового источника электропитания, энергетической магистрали постоянного тока и индивидуальных автономных инверторов напряжения для каждого электропривода;

–смешанной структуры, включающей в себя две предыдущие.

Для систем с большим числом электроприводов и большой суммарной мощностью целесообразно применение структуры распределительной силовой сети с несколькими групповыми источниками электропитания.

В многодвигательных системах сервоприводов групповые источники питания не используются, так как даже для сложных объектов суммарные мощности приводов невелики и экономический эффект оказывается небольшим.

Применяют индивидуальные сервоприводы для каждого механизма, входящего в рабочую машину, с координированным управлением от высокودинамичного специализированного технологического контроллера.

Каждый сервопривод, обладающий высокими динамикой, точностью и перегрузочной способностью в широком диапазоне регулирования частоты вращения, включает в себя серводвигатель и преобразователь частоты. Возможна установка в серводвигателях энкодеров и электромагнитных тормозов. Рациональными областями применения сервоприводов являются обеспечение подач в металлообрабатывающих станках, промышленных манипуляторах, механизмах автоматизированных конвейерных линий в пищевой, химической промышленности и др.

Динамическое управление и синхронизация работы нескольких сервоприводов выполняются программируемыми технологическими контроллерами. Одновременно им обеспечивается взаимодействие всех компонентов линии.

Проекты нового технологического оборудования выполняются в основном с использованием систем автоматизированных электроприводов переменного тока. Доля электроприводов постоянного тока в новых проектах незначительна.

Иначе обстоят дела в проектах модернизации действующего оборудования, так как в базовых отраслях промышленности (металлургической, машиностроительной, целлюлозно-бумажной др.) действующее оборудование оснащено в основном регулируемые электроприводами постоянного тока с устаревшими средствами и системами управления, а зачастую и с высоким уровнем энергозатрат в технологических процессах с глубоким регулированием скорости.

Существует четыре основных варианта проектов модернизации действующего оборудования в автоматизированных электроприводах.

1. Замена аналоговых и релейно-контактных систем управления на цифровые с использованием промышленных компьютеров, технологических и логических контроллеров, интеллектуальных модулей периферии и других модулей, соответствующих нижнему и среднему уровням автоматизации.

2. Замена аналоговых блоков управления комплектных электроприводов постоянного тока цифровыми с использованием контроллеров привода.

3. Замена силовых блоков комплектных электроприводов. При этом электродвигатели и сети электропитания остаются неизменными.

4. Полная модернизация автоматизированных электроприводов. Замена электроприводов постоянного тока электроприводами переменного тока.

Основные составляющие эффективности модернизации заключаются в следующем: снижение энергозатрат за счет некоторого повышения КПД технологического оборудования и увеличение коэффициента мощности до единицы без использования дополнительных средств; увеличение производительности благодаря сокращению времени технологического цикла; повышение качества управления и соответственно стабильности характеристик производимых изделий, а также исключение брака.

#### **Анализ и выбор альтернатив оптимального варианта системы.**

Процедура выбора оптимального варианта системы управления многодвигательными электроприводами соответствует общей процедуре проектирования сложных систем управления на основе системно-технического подхода и сводится к решению таких типовых задач, как определение общей структуры системы, организация взаимодействия между подсистемами, учет влияния внешних воздействий, выбор оптимальных структур подсистем и оптимальных алгоритмов функционирования системы. Проектирование ведется исходя из целей создания системы и решаемых ею задач. Оценка соответствия системы поставленным целям и задачам производится по критериям ее качества.

При проектировании сложных систем может существовать несколько частных критериев качества, не всегда согласованных между собой. Например, необходимо спроектировать систему, обеспечи-

вающую максимальную динамическую точность обработки вещества при минимальном электропотреблении переходных и установившихся режимах, минимальной стоимости и заданной надежности. Для совмещения частных критериев используют обобщенные критерии. Заданный критерий является основой для принятия решения при выборе структуры электромеханической системы, средств и алгоритмов управления из множества существующих вариантов, которые называют множеством альтернатив. Общую постановку задачи о выборе оптимального варианта системы управления можно представить следующим образом.

1. Имеется некоторое множество вариантов построения системы (альтернатив)  $A$ , причем каждая альтернатива  $a_j$ , характеризуется определенной совокупностью свойств  $a_1, a_2, \dots, a_m$ .

2. Имеется совокупность критериев  $q_1, q_2, \dots, q_n$ , отражающих количественно множество свойств системы. Каждая альтернатива характеризуется вектором  $q_i = [q_1(a_j), q_2(a_j), \dots, q_n(a_j)]^T$

3. Необходимо принять решение о выборе одной из альтернатив. Решение называется простым, если выбор производится по одному критерию, и сложным, если выбор производится по совокупности критериев.

4. Задача принятия решения по выбору альтернативы по совокупности критериев формально сводится к отысканию отображения  $Q$ , которое векторам  $a_j$  и  $q_j$ , ставит в соответствие действительное число  $E = Q(a_j, q_j)$  (где  $i = 1, n$ ; и  $j = 1, m$ ), определяющее степень предпочтительности данного решения. Оператор  $Q$  называют обобщенным критерием. Обобщенный критерий присваивает каждому решению по выбору альтернативы соответствующее значение  $E$ , что позволяет упорядочить множество решений по степени предпочтительности.

При проектировании электромеханических систем обобщенные критерии составляются по частным критериям, включающим в себя такие оценки, как динамическая точность и связанное с ней качество изделий, быстродействие и связанная с ним производительность, энергопотребление, надежность, сложность, составляющие эксплуатационных показателей – габаритные размеры, массу, условия эксплуатации и др.

Наиболее простой метод формирования обобщенного критерия заключается в том, что один из критериев  $q_k$  принимается в качестве обобщенного, а все остальные учитываются в виде ограничений, определяющих область допустимых альтернатив

$$Q = q_k \begin{cases} q_i \geq q_i^{(0)}; & i = 1, l, \\ q_i \leq q_i^{(0)}; & i = l + 1, n; i \neq k, \end{cases}$$

где  $q_i^{(0)}$  - величины, определяющие допустимые значения по всем критериям, кроме  $q_k$ .

В этом случае задача сравнения альтернатив сводится к принятию решений со скалярным критерием, а все остальные критерии учитываются в виде заданных ограничений. Оценки альтернатив, не соответствующих заданным значениям  $q_i^{(0)}$ , показывают, что их можно дальше не рассматривать.

Задача принятия оптимального решения при выборе альтернативы формулируется как задача математического программирования.

$$\max_{a \in A} [q_k(a_j)] \text{ или } \min_{a \in A} [q_k(a_j)]$$

при  $q_i(a_j) \geq q_i^{(0)}; i = 1, l; q_i(a_j) \leq q_i^{(0)}; i = l + 1, n; i \neq k; j = 1, m$

В тех случаях, когда не возможно выделить один из критериев  $q_k$ , в качестве обобщенную применяют более сложные методы его представления, например в виде суммы

$$Q = \sum_{i=1}^n b_i q_i,$$

где  $b_1, b_2, \dots, b_n$  – положительные или отрицательные коэффициенты.

Если ставится задача найти  $Q_{max}$ , то положительные коэффициенты используют при частных критериях, которые максимизируются, а отрицательные при тех, которые минимизируются. Имеются и иные, более сложные формы записи обобщенных критериев.

При решении задач структурной оптимизации систем в соответствии с обобщенным критерием могут использоваться различные методы программирования, в частности методы, входящие в программные пакеты MATLAB и MathCad.

Для предварительного выбора варианта системы можно использовать упрощенные методики на основе шкал оценок (например, пя-



тибалльной системы), характеризующих степень выполнения заданного свойства системы в каждом из вариантов. Если все свойства системы равноправны, решение находят простым суммированием оценок. Если их значимость различна, находят взвешенную сумму оценок с учетом коэффициентов веса  $b_i$ , каждой оценки. После чего выбирается вариант, соответствующий максимальной сумме простых или взвешенных оценок.

### **Создание средств электроприводов и автоматизации. Создание распределенных систем автоматизации**

Создание средств электроприводов и автоматизации. Разработка средств электроприводов и автоматизации выполняется при создании их новых поколений, а также при необходимости реализации специальных функций (например, по показателям быстродействия, надежности, перегрузки), ограничения конструктивных размеров, учета особых условий эксплуатации и в других случаях, не обеспечиваемых типовыми унифицированными средствами.

Развитие комплектных АЭП идет по пути совершенствования силовых блоков и блоков управления с целью повышения их экономических, функциональных и эксплуатационных показателей. В преобразователях частоты находят широкое применение активные выпрямители, совершенствуются схемы с инверторами тока, применяются новые полупроводниковые приборы. Использование дополнительных компонентов силовых блоков добиваются оптимальных условий электромагнитной совместимости преобразователей частоты с сетью электропитания и электродвигателями. Направления развития электродвигателей связано с созданием асинхронных и синхронных электродвигателей, ориентированных на работу от автономных инверторов с высокочастотной широтно-импульсной модуляцией (ШИМ), и оснащением этих двигателей конструктивными элементами, ограничивающими емкостные токи.

Совершенствование блоков управления идет по пути применения новых микроконтроллеров, созданных для применения в частотно-регулируемых приводах переменного тока и серийно выпускаемых фирмами-производителями микропроцессорной техники. Такие микроконтроллеры, имея высокую производительность центрального процессора (десятки миллионов операций в секунду), широкую номенклатуру встроенных периферийных устройств (таймеров, последовательных интерфейсов, параллельных портов ввода-

вывода, аналогово-цифровых преобразователей – АЦП, модулей обработки прерываний и др.), генераторы и модули широтно-импульсной модуляции, обеспечивают реализацию новых алгоритмов векторного управления автономными инверторами с ШИМ, в частности алгоритмов, основанных на использовании нечеткой логики и нейронных сетей. Предусматривается включение в состав микроконтроллеров специализированных модулей, ориентированных на реализацию таких алгоритмов управления. Также в микроконтроллерах реализуются алгоритмы самонастройки параметров и режимов регулирования потокосцепления, момента, скорости и положения электропривода. Это выполняется для конкретных электроприводов, а также при изменении их параметров (сопротивлений статора, характеристик намагничивания, моментов инерции и др.) и режимов нагрузки (моментов сопротивления в зависимости от скорости, при разных сочетаниях режимов SI ... S8 и др.).

Развитие технологических контроллеров происходит в тех же направлениях, что и развитие контроллеров приводов. Помимо реализации общих функций, характеризующих их как изделия широкой области применения, создаются высокодинамичные технологические контроллеры, ориентированные на применение именно в приводных системах. Такие контроллеры обеспечивают управление большим числом электроприводов, входящих в состав машин, станков, автоматизированных производственных линий, технологических комплексов непрерывно-поточных производств и других объектов.

Разработку новых микропроцессорных средств и систем выполняют на основании анализа целей и задач управления объектом:

- выбирают тип микроконтроллера и разрабатывают его структуру;
- разрабатывают аппаратные средства микропроцессорной системы, ее программное и информационное обеспечение;
- выполняют совместную отладку программного обеспечения и аппаратных средств;
- дают оценку разработанной системе управления.

Анализ объекта управления и возможных вариантов построения системы включает в себя:

- описание алгоритма и схемы работы объекта управления;
- разработку технического задания;
- анализ альтернатив построения системы и выбор лучшего варианта;

- математическое описание системы управления и моделирование основных режимов ее работы;
- разработку общего алгоритма работы системы;
- разделение функций системы на программно- и аппаратно-реализуемые;
- определение требований к микроконтроллерам, промышленным компьютерам и другим устройствам системы;
- разработку структурной схемы системы.

Общий алгоритм работы системы состоит из отдельных алгоритмов работы каждого ее устройства. При разработке алгоритмов устанавливаются требования к микроконтроллерам и другим устройствам по следующим показателям:

- точность и скорость работы аналогово-цифровых и цифроаналоговых преобразователей (определение минимально допустимой разрядности);
- скорость расчета регулирующих воздействий и времени реакций на изменение входных сигналов (по частоте дискретизации);
- требуемый объем памяти;
- скорость передачи информации к другим контроллерам и персональным компьютерам.

Правильность выбора микроконтроллера по быстродействию оценивается посредством написания пробного фрагмента программы. Рекомендации по разработке микроконтроллеров, аппаратного, программного и информационного обеспечения микропроцессорных систем управления даны в специальной литературе.

Предметом разработки могут быть также разнообразные электротехнические устройства, используемые в приводной технике; бесконтактные коммутационные аппараты, источники питания, устройства пуска и торможения электродвигателей, низковольтные комплектные устройства и др.

При разработке электротехнических устройств выполняют расчет их основных параметров и выбор элементов, а также расчет тепловых характеристик и режимов, выбор охладителей, анализ и расчет способов защиты от механических воздействий, расчет электромагнитной совместимости и надежности элементов.

**Создание распределенных систем автоматизации.** Создание систем автоматизации, включающее в себя разработку, внедрение и эксплуатационное сопровождение, производится на базе типовых средств

Стадии внедрения и эксплуатационного сопровождения систем автоматизации аналогичны соответствующим стадиям создания автоматизированных электроприводов технологических комплексов. Стадии и этапы создания систем автоматизации устанавливаются ГОСТ 24.602–86 и 34.601–90.

Основные этапы разработки системы автоматизации, ее цели и результаты приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2

Основные этапы	Цели	Результаты
1. Анализ объекта управления	Определение функций СА. Выработка требований к КАПС	Детализированная схема ОУ Перечень Д и ИМ (входов-выходов). Перечень ФЗ
2. Разработка структуры СА	Формулирование характеристик КАПС. Анализ и описание функционирования СА	Требования к алгоритмам. Параметры локальной сети СА
3. Разработка схемной документации КАС	Оценка стоимости СА. Выбор наилучших решений. Обеспечение эксплуатационной надежности СА	ТЭО разработки. Схемная документация на носителе
4. Определение состава КПС СА	Оценка стоимости КПС СА. Определение взаимодействия ФЗ, средств ЧМИ	ПО на носителе. Инструкция для разработки прикладных программ. Освоение КПС разработчиками
5. Разработка и программирование алгоритмов СА	Реализация ФЗ. Обеспечение диагностики состояния КАС. Обеспечение ЧМИ	Схемы и программы алгоритмов. Инструкции для пользователей и персонала системы
6. Оценка работоспособности и эффективности разработанных алгоритмов в составе КАПС СА	Повышение эффективности СА. Обеспечение эксплуатационной надежности СА	Инструкции по эксплуатации и диагностике СА
7. Корректировка КПС	Обеспечение эксплуатационной надежности ПО	Откорректированное ПО на носителе. Откорректированная документация по КПС СА
8. Формализация функций персонала, работающего в составе СА	Обеспечение эффективности применения средств ЧМИ Разделение функций персонала и СА	Должностные и производственные инструкции персонала СА

9. Определение путей развития СА	Обеспечение возможности реализации новых и развитие действующих ФЗ	Перечень новых ФЗ ТЗ на разработку новых ФЗ СА
----------------------------------	--	--

Примечание. В таблице использованы следующие обозначения: СА – система автоматизации; ОУ – объект управления; Д – датчик; ИМ – исполнительный механизм; КАС - комплекс аппаратных средств; КПС – комплекс программных средств; КАПС – комплекс аппаратно-программных средств; ПО – программное обеспечение; ЧМИ – человекомашинный интерфейс; ФЗ – функциональная задача; ТЗ - техническое задание; ТЭО –техничко-экономическое обоснование.

Подход к разработке системы автоматизации, показанный в таблице 2.2, позволяет, с одной стороны, определить ее главные функциональные задачи, а с другой – выбрать структуру, способную постепенно (поэтапно) наращивать свою функциональную мощность по принципу «открытой» системы и. как следствие, достаточно просто реализуемую средствами промышленной автоматики с обеспечением гибкости и распределенности системы управления.

Технические и программные средства, имеющиеся на рынке, обеспечивают возможность создания единых систем автоматизации от станков и рабочих машин до участка, цеха и предприятия

### **ТЕМА 3. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ О ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ И СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ**

#### **Стадии проектирования и состав проектов.**

Принципы проектирования и состав проектной документации ЭП и СА определяются соответствующими нормами и стандартами. Общественно-политические и социальные изменения в стране влияют на технические и правовые отношения сторон, участвующих в создании нового производственного оборудования, однако состав работ и процедура проектирования остаются неизменными. Переход от полной государственной собственности к частной обуславливает возможные отклонения от требуемой процедуры проектирования (например, возможны объединение стадий и этапов проектирования, понижение требований по контролю и испытаниям и др.), однако смена собственника не должна влиять на качество ведения проектных работ и качество изделия. Поэтому рассмотрим все стадии проектирования, следуя стандартам ЕСКД и ГОСТ34.602–89. Учитывая информацию, представленную в гл. 1 и специфику периода, обусловленного изме-

нением правил стандартизации и сертификации, студенты смогут при проектировании внести необходимые изменения в стадии и состав конкретных проектов.

Разработка конструкторской документации в общем случае включает в себя несколько стадий: техническое предложение, эскизный проект, технический проект, рабочая документация.

Техническое предложение – совокупность конструкторских документов, которые должны содержать техническое и технико-экономическое обоснования целесообразности разработки документации изделия на основе анализа технического задания заказчика, различных возможных вариантов его решения и сравнительной оценки этих решений с учетом конструктивных и эксплуатационных особенностей разрабатываемого изделия, а также патентные исследования. Техническое предложение включает в себя следующие документы: в обязательном порядке пояснительную записку и ведомость технического предложения, а также чертеж общего вида, схемы, таблицы, расчеты и др.

Эскизный проект – совокупность конструкторских документов, которые должны содержать принципиальные конструктивные решения, дающие общее представление об устройстве и принципе работы разрабатываемого изделия, а также данные, определяющие его назначение, основные параметры и габаритные размеры. Обязательными документами здесь являются пояснительная записка и ведомость эскизного проекта. Сюда могут быть включены чертеж общего вида, теоретический и габаритный чертежи, схемы и другие документы.

Технический проект – совокупность конструкторских документов, которые должны содержать окончательные технические решения, дающие полное представление об устройстве разрабатываемого изделия, и исходные данные для разработки его рабочей документации. Обязательными документами здесь являются чертеж общего вида, пояснительная записка и ведомость технического проекта. Сюда могут быть также включены чертежи деталей, теоретические и габаритные чертежи, схемы и т.д.

Рабочая конструкторская документация – совокупность конструкторских документов, предназначенных для изготовления и испытания опытного образца (опытной партии) изделия, а также изготовления и испытания его установочной серии. Рабочая документация обязательно содержит чертеж детали, а также возможно теоретиче-

ский, габаритный, упаковочный чертежи, технические условия и другие документы.

Рабочая документация на сборочную единицу обязательно содержит спецификацию и сборочный чертеж, а также при необходимости другие чертежи, схемы и текстовые документы.

В комплект конструкторской документации на стадиях проектной разработки (технического предложения, эскизного и технического проектов) входит ведомость проекта, являющаяся обязательным документом. В ведомость записывают все вновь разработанные для данного комплекта конструкторские документы, а также документы из рабочей документации на используемые ранее разработанные изделия.

Ведомость проекта представляет собой таблицу, составленную в специальной форме. Запись документов в нее производят по разделам в следующем порядке: документация общая, документация по сборочным единицам. При этом каждый раздел должен состоять из подразделов: вновь разработанная документация, примененная документация.

Документы технического предложения, эскизного и технического проектов комплектуют в папки, книги или альбомы.

### **Технические задания, требования и условия.**

Научиться разрабатывать и согласовывать технические задания (ТЗ) на проектирование, технические требования (ТТ) и технические условия (ТУ) является одной из наиболее важных задач в процессе обучения и формирования специалиста. Разработка этих документов является неотъемлемой частью дипломного проекта или выпускной работы специалиста, что обязательно должно быть отражено в методических указаниях по дипломному проектированию. Процедура разработки и состав таких документов, как ТТ, ТЗ и ТУ, раскрыты в специальной литературе по проектированию электротехнических устройств и электроприводов.

Техническое задание разрабатывают на основе исходных требований заказчика, изложенных в заявке, а также на основе результатов выполненных научно-исследовательских и экспериментальных работ, научного прогнозирования, анализа передовых достижений и технического уровня отечественной и зарубежной техники, перспективных типажей систем машин, оборудования и другой техники, изучения патентной документации (на продукцию, предназначенную для экспор-

та, обязательно с учетом требований внешнего рынка). Требования, включаемые в ТЗ, должны основываться на современных достижениях науки и техники, необходимости обеспечения опережающих показателей технического уровня продукции, использовании прогрессивных изобретений и включать в себя прогнозируемые показатели технического уровня и качества продукции, в том числе уровня ее стандартизации и унификации с учетом наиболее полного удовлетворения потребностей рынка. Техническое задание должно содержать необходимые и достаточные требования для разработки продукции и не ограничивать инициативу разработчика при поиске и выборе им оптимального решения поставленной задачи. При этом ТЗ является исходным документом для разработки продукции и технической документации на нее. Техническое задание на продукцию, разрабатываемую и выпускаемую по документации, предусмотренной стандартами ЕСКД, должно состоять из следующих разделов:

1. Наименование. Область применения (использования) и основание для разработки.
2. Назначение и выполняемые функции.
3. Технические требования.
4. Экономические показатели.
5. Стадии и этапы разработки.
6. Порядок контроля и приемки.

Техническое задание оформляют в соответствии с общими требованиями к текстовым конструкторским документам на листах формата А4 без рамки, основной надписи и дополнительных граф к ней. Номера листов проставляют в верхней части листа над текстом.

В разделе ТЗ «Технические требования» указывают требования и нормы, определяющие показатели качества и эксплуатационные потребительские характеристики продукции с учетом действующих стандартов и норм, а также современного технического уровня.

Техническое задание является обязательным исходным документом для разработки новых и модернизации старых электроизделий и технической документации к ним. Требования к продукции должны задаваться в ТЗ с учетом действующих государственных стандартов, а также рекомендаций международных организаций (ИСО, МЭК и др.).

Общие правила составления ТЗ рассмотрим на примере проектирования электротехнических устройств преобразовательного типа.



В процессе проектирования ТЗ может корректироваться и уточняться. Рассмотрим содержание отдельных пунктов технического задания.

1. Наименование – электротехническое устройство (ЭТУ). После анализа и описания работы конкретизируется назначение данного преобразовательного устройства. Например: симметричный коммутатор для включения и отключения асинхронного двигателя; регулятор напряжения с токоограничением и последующим шунтированием контактором; тиристорно-контакторное пусковое устройство; регулятор напряжения (скорости) асинхронного двигателя; трехфазный регулятор напряжения постоянного тока; широтно-импульсный преобразователь; автономный инвертор напряжения (тока); преобразователь частоты с непосредственной связью и т.д.

2. Назначение и выполняемые функции: формирование пусковых режимов; ограничение пусковых токов; защита от перегрузок и аварийных токов; регулирование угловой частоты вращения; обеспечение повышенной частоты включений в час; сигнализация о включенном и отключенном состояниях; обеспечение различных режимов управления: ручного, автоматического, дистанционного и т.д.

Состав и требования к конструктивному устройству ЭТУ. Здесь описывается состав устройства с выделением функционально законченных узлов и аппаратов, не разрабатываемых в проекте. Например, автоматический выключатель, преобразователь, блок питания и пульт управления, размещенные в несущей оболочке, выполненной в виде блока (подвесного устройства, шкафа, стойки, панели, модуля и тому подобное с выносным пунктом управления).

Показатели ЭТУ: напряжение питания, частота с допустимыми отклонениями; мощность электрической машины; диапазон токоограничения в пусковых и тормозных режимах; потребляемая мощность; номинальное выходное напряжение, ток и частота; диапазон изменения выходных параметров и т. п.

3. Конструктивные параметры: степень защиты IP, т.е. обеспечение защиты от твердых тел размером .... а также от попадания воды и влаги; ограничения по габаритным размерам ( $H < \dots$ ;  $L < \dots$ ;  $B < \dots$ ) и массе ( $m < \dots$ ); обеспечение подключения к сети медным (алюминиевым) кабелем сверху, а нагрузки снизу; наличие элементов крепления кабелей; уровень помех не более 40 дБ при частотах  $< 10^4$  Гц;

Далее указывают ограничения на расположение элементов и аппаратов, а также ограничение на монтаж электрических цепей и нагрев составных частей ЭТУ устройства.

4. Надежность: коэффициент готовности (0,95...0,98); среднее время наработки на отказ 10000...30000 ч; среднее время восстановления 1 ч; гарантийный срок эксплуатации не менее двух лет.

5. Показатели стандартизации и унификации определяются объемом применения типовых элементов, профилей и модулей. Для оценки уровня стандартизации устройства используется коэффициент применяемости  $k_{пр}$  стандартизованных, нормализованных и унифицированных его составных частей. Хорошим считается значение  $k_{пр} = 0,6$ .

6. Патентно-правовые показатели.

7. Эргономические показатели, оцениваемые по балльной системе.

8. Требования или показатели безопасности определяют ГОСТ 18.142–80 и 12.1.004-84.

9. Условия эксплуатации, хранения и транспортирования (устойчивость к внешним воздействиям) приводятся согласно климатическому исполнению и категории размещения.

Экономические показатели наряду с другими показателями качества задаются в виде весовых коэффициентов, которые учитываются при выборе элементов, материалов и несущей конструкции устройства в процессе проектирования.

Для систем электропривода ТЗ должно содержать требования по системе автоматизации управления, блокировкам, диагностике, защите (с указанием уставок защиты, контроля, диагностики и сигнализации, а также рода и вида сигналов защиты, контроля, диагностики, технологических и защитных блокировок).

Так как в современных системах управления электроприводом и системах автоматизации широко применяются информационно-управляющие микропроцессорные средства, в ТЗ на их проектирование должен быть введен раздел «Требования к видам обеспечения», содержащий требования к математическому, информационному, лингвистическому, программному и другим видам обеспечения.

Технические условия, являясь неотъемлемой частью комплекта технической документации, должны содержать все требования к продукции, ее изготовлению, контролю, приемке и поставке, которые целесообразно указывать в проектно конструкторской документации.

В ТУ входит совокупность всех показателей, норм, правил и положений, установленных для данного типа продукции. Построение ТУ следующее: вводная часть, технические требования, правила приемки, методы контроля (испытаний, анализа, измерений), транспортирование и хранение, указания по эксплуатации (применению), гарантии поставщика.

В соответствии с особенностями объекта допускается дополнять ТУ какими-либо другими разделами или не включать в них отдельные указанные разделы.

### **Технико-экономическое обоснование проектных решений.**

С самого начала постановки и разработки методологии проектирования в учебном процессе раздел технико-экономического обоснования (ТЭО) являлся неременной составной частью дипломного проектирования.

В первом курсе по электрической передаче и распределению механической энергии, поставленном в Петербургском электротехническом институте в 1923 г., при обосновании эффективности перевода конки на электрическую тягу приводилось всестороннее технико-экономическое исследование целесообразности замены данного типа привода с многофакторным учетом эффекта и затрат. Курьезным является факт учета экономического эффекта от использования навоза лошадей, обеспечивающих тягу.

В дальнейшем экономическая часть проектов стала включать в себя оценку затрат на проектирование, изготовление нового оборудования и срока его окупаемости, а также расчет себестоимости продукции.

На современном этапе, учитывая переход страны к рыночным отношениям и использование инвестиционных способов финансирования, технико-экономическое обоснование должно содержать кроме приведенных ранее вопросы эффективности инвестиционной политики в соответствии с финансовой государственной и межкорпоративной обстановкой.

В полной мере вопросы технико-экономического обоснования при проектировании могут быть рассмотрены только в специальной методологической литературе, однако в данном пособии целесообразно отразить основные его содержательные и методологические аспекты.

Жизненный цикл промышленной продукции независимо от ее типа и назначения вписывается в довольно четкую последовательность стадий и этапов, приведенную в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Стадии жизненного цикла	Этапы жизненного цикла (подразделения, обеспечивающие их выполнение)
Исследование и проектирование продукции	1. Исследование и отработка замысла (научно-исследовательские подразделения и подразделения перспективного планирования)
	2. Разработка проектной и рабочей конструкторской документации опытного образца (конструкторские подразделения)
	3. Изготовление и испытание опытного образца (опытное и экспериментальное производство, испытательные подразделения, конструкторские подразделения)
	4. Разработка рабочей конструкторской документации для изготовления продукции (проектно-конструкторские подразделения)
	5. Изучение опыта потребления или эксплуатации (научно-исследовательские и конструкторские подразделения)
Изготовление продукции	1. Технологическая подготовка производства (специализированные производства, технологические и конструкторские подразделения)
	2. Изготовление установочной и головной контрольной серии (основное, обеспечивающее и обслуживающее производство)
	3. Установившееся производство (основное, обеспечивающее и обслуживающее производство)
	4. Подготовка продукции к транспортированию и хранению
Обращение продукции	1. Сбыт (сбытовые организации и подразделения)
	2. Хранение (базы и склады)
	3. Транспортирование (транспортные и сбытовые подразделения)
Потребление или эксплуатация и утилизация продукции	1. Целевое использование, потребление (центры технического обслуживания, подразделения эксплуатации)
	2. Обслуживание и профилактический ремонт (центры технического обслуживания, подразделения эксплуатации)
	3. Ремонт, восстановление (ремонтные предприятия и подразделения)

На каждом из указанных в таблице этапов на промышленную продукцию относят затраты на необходимые ресурсы.

На первой стадии исследования и проектирования продукции определяется 60...80% ее себестоимости, хотя сами затраты при этом составляют чаще всего меньше одной десятой процента общих затрат.

На стадиях изготовления и обращения продукции уровень затрат зависит от прогрессивности и сложности разрабатываемых технологических процессов, а также от масштабов, стабильности и серийности выпуска спроектированной продукции. С точки зрения влияния на затраты за весь жизненный цикл продукции этап технологического освоения ее производства занимает одно из ведущих мест. Например, в индивидуальном крупном машиностроительном производстве расходы на техническую подготовку и освоение в 2–4 раза превышают себестоимость изготовления продукции.

В структуре отчетных калькуляций себестоимости установившегося производства продукции, выпускаемой предприятиями электротехнической промышленности (например, объединением УРАЛЭЛЕКТРОТЯЖМАШ) наибольший удельный вес имеют затраты на сырье, покупные изделия и полуфабрикаты (60...80%), а затраты на топливо и энергию (в том числе и электроэнергию) составляют примерно 2 %.

Следовательно, для электротехнической промышленности освоение новой продукции всегда связано с значительными экономическими трудностями для предприятия.

Заключительная стадия потребления или эксплуатации и утилизации продукции имеет наибольшую длительность из всех стадий жизненного цикла. Именно на этой стадии изделие начинает давать экономический эффект в результате целевого его использования потребителем. Но следует помнить, что как только происходит износ изделия и появляются неисправности, оно снова становится потребителем ресурсов. Когда затраты, связанные с эксплуатацией изделия, превышают полезную отдачу, наступает момент его утилизации.

Такое представление жизненного цикла полностью соответствует стандарту ИСО 9001–96, который представляет собой аутентичный текст международного стандарта ИСО 9001–94 «Системы качества. Модель обеспечения качества при проектировании, разработке, производстве, монтаже и обслуживании».

Затраты на стадии потребления или эксплуатации и утилизации продукции зависят от расходования ресурсов, потребляемых при эксплуатации и обслуживании техники, поддержания ее в рабочем со-

стоянии и эффективности системы ремонтов, проводимых за время эксплуатации, а также от ремонтпригодности, ремонтной и эксплуатационной технологий самого изделия. По статьям расходов на заключительной стадии жизненного цикла продукции все ресурсы в процентном отношении к итогу распределяются приблизительно следующим образом: амортизация – 27,4 %; эксплуатация и ремонт – 47,2 %; внутризаводские перемещения – 7,0 %; износ малоценных и быстроизнашивающихся инструментов и приспособлений – 10,1 %; прочие расходы – 8,3 %.

Из этого распределения видно, что на самой длительной стадии жизненного цикла продукции наибольшие затраты связаны с эксплуатацией и обслуживанием оборудования. Применительно к видам наиболее массовой продукции машиностроения примерно 70 % всех затрат за ее жизненный цикл приходится на эксплуатацию.

Среди всех видов ресурсов особое место занимают энергетические. При этом потребление электроэнергии растет более быстрыми темпами, чем суммарное потребление всех других топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), что наблюдается чуть ли не с самого начала использования электроэнергии в промышленных масштабах. Причем темпы роста потребления электроэнергии должны и в дальнейшем опережать рост общего энергопотребления. Это обусловлено рядом технических причин, основные из которых заключаются в следующем: электроэнергию можно вырабатывать на базе самых различных ТЭР; широкие возможности регулирования электроэнергии обеспечивают эффективность ее использования; использование электроэнергии практически не причиняет ущерба окружающей среде.

Из результатов анализа структуры потребления электроэнергии по отраслям промышленности установлено, что основная доля приходится на электроприводы (например, в химической промышленности – 68%, черной металлургии – 64,5%, машиностроении и металлообработке – 50,4%). Среди машиностроительных предприятий наибольшее потребление электроэнергии характерно для автомобиле- и приборостроения (соответственно 54,8 % и 52,8%).

Высокое электропотребление, значительные потери электроэнергии в промышленности и неудовлетворительный характер энергоснабжения вызвали необходимость принятия закона об энергосбережении.

## ТЕМА 4. ВЫБОР ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

### **Использование параметрических рядов номинальных параметров при выборе электрооборудования.**

Рассмотрим принципы построения и параметрические ряды номинальных параметров силового электрооборудования электропривода. Это поможет проектанту ориентироваться и выбирать по каталожно-справочным материалам силовое оборудование, соответствующее требованиям ТЗ по номинальным параметрам и исполнению.

При проектировании требуется не только выполнить расчеты и выбрать виды электрических машин и оборудования, но также определить типы этих машин и аппаратуры и выбрать их из номенклатуры, выпускаемой промышленностью. Первая часть проектирования обычно сосредоточена в пояснительной записке, а вторая – заключается в составлении перечней оборудования и спецификаций, на основе которых будут производиться заказы. Наконец, главной частью проекта являются схемы, на основе которых выполняется установка электрооборудования, производятся внешние соединения, осуществляется наладка и т.п.

При работе с каталогами и справочниками проектант встречается с множеством типов машин, аппаратов и большим числом типоразмеров, т.е. с большим числом однотипных машин или аппаратов, отличающихся по мощности, скорости, напряжению. Имеются группы аппаратов, например реле, с катушкой на разные токи или напряжения, разными уставками защит и различным числом контактов. Существенным является выбор соответствующих монтажных размеров, например двигателей, агрегируемых с различными механизмами, а также выбор исполнений, отвечающих климатическим условиям и характеру помещений для установки электрооборудования.

В каталогах, издаваемых Информэлектро, приводятся примеры формулирования заказов, однако руководствоваться ими можно только на основе достаточных представлений о стандартизации и нормализации оборудования.

При обращении к каталожно-справочным материалам для выбора электрооборудования следует четко представлять, как построены ряды номинальных напряжений, токов, мощностей электрических машин и аппаратов, а также номинальных скоростей электродвигателей. Необходимо также знать, как строятся стандартные ряды мон-

тажных размеров, какие конструктивные особенности (способы монтажа, защиты от воздействия окружающей среды) предусмотрены в стандартах и как это учитывается при выборе конкретного изделия.

Знание принципов построения численных параметрических рядов необходимо для компетентного выбора типоразмеров оборудования.

### **Система предпочтительных чисел и параметрические ряды.**

В системе стандартизации существенное значение имеют нормативы, регламентирующие численные значения параметров изделий, так называемые параметрические ряды. Такие стандарты определяют номенклатуру изделий одного и того же назначения, например ряд номинальных мощностей данного типа двигателей или ряд размеров шкафов для размещения электрооборудования.

Согласно рекомендациям ИСО построение параметрических рядов выполняется на основе геометрических прогрессий. Такие ряды, получившие название рядов Ренара, строятся со знаменателями геометрической прогрессии:

$$R5 = \sqrt[5]{10} = 1,6; \quad R10 = \sqrt[10]{10} = 1,25; \quad R20 = \sqrt[20]{10} = 1,12;$$

$$R40 = \sqrt[40]{10} = 1,06; \quad R80 = \sqrt[80]{10} = 1,03$$

Первые четыре ряда являются основными, а ряд R80 – дополнительным.

Номиналы рядов следующие: R5 – 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,3; R10 – 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,15; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0. Аналогично строятся ряды R20, R40 и R80.

В ряде случаев могут применяться ряды предпочтительных чисел, построенные на базе геометрических прогрессий, но отличающиеся от рядов Ренара. Таковы ряды номинальных сопротивлений резисторов. Эти ряды обозначаются EN, где N – число номинальных величин в каждом десятичном интервале, и представляют собой геометрические прогрессии с знаменателем  $q_N = \sqrt[N]{10}$

Согласно рекомендациям МЭК и действующим отечественным стандартам значения сопротивлений резисторов с допуском 5 % и более соответствуют рядам E3, E6, E12 и E24, а с допуском менее ±5 % – рядам E48, E96 и E192. Номинальные напряжения трехфазного переменного тока в области низких значений представляют собой ряд с знаменателем  $\sqrt{3}$ , учитывающий соотношение значений линейных и



фазных напряжений при включении по схеме звездой или треугольником.

### **Ряды номинальных параметров величин, используемых в электротехнике.**

Номинальные мощности электрических машин соответствуют ряду R10. В стандарте на номинальные мощности предусматривается возможность округления, поэтому в диапазоне 1... 10 000 кВт ряд номинальных мощностей следующий: 1,1; 1,5; 2,2; 3,0; 4,0; 5,5; 7,5; 11; 15; 18,5; 22; 30; 37; (45); 55; 75; 90; 110; 132; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; S00; 1000; 1250; 1600; 2000; 2500; 3200; 4000; 5000; 6300; 8000.

Номинальные мощности трансформаторов соответствуют ряду R5.

Номинальные напряжения до 1000 В для приемников постоянного тока – 27; 110; 220; 440 В, а для приемников переменного тока – 40; 220; 380; 660; 1140 В.

Для источников энергии (генераторов, трансформаторов) номинальное напряжение выше на 5% (115; 230; 460 В постоянного тока и 230; 400; 690 В переменного тока).

Номинальные токи соответствуют ряду R10, но предпочтительным является ряд R5. Например, для реле тока РЭВ-830 номинальные токи катушки – 0,6; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,0; 10; 16; 25; 63; 100; 160; 250; 320; 400; 630 А.

Специфическому стандарту подчиняются вторичные напряжения трансформаторов, предназначенных для питания полупроводниковых преобразователей. Это значения, позволяющие получить стандартные значения выпрямленного напряжения.

Номинальные значения скоростей вращения машин трехфазного тока определяются известным соотношением, связывающим частоту питающей сети и число пар полюсов с синхронной скоростью;  $n_0 = 60f / p$ . Поэтому параметрический ряд синхронных скоростей вращения при питании от сети с частотой 50 Гц имеет следующий вид: (100); (125); (150); (166,6); (187,5); 200; 250; 300; 375; 500; 600; 750; 1000; 1500; 3000 об/мин. При этом значения, заключенные в скобки, не рекомендуются к применению.

При частоте питания 400 Гц параметрический ряд содержит следующие значения: (1500); (3000); 4000; 6000; 12000; 24000 об/мин.

Для электрических машин постоянного тока параметрический ряд номинальных скоростей близок к ряду синхронных скоростей. Это объясняется широкой практикой создания преобразовательных агрегатов, в состав которых входят машины постоянного и переменного тока, а также необходимостью унификации механического оборудования (редукторов) по скорости вращения первичного двигателя. Для машин постоянного тока параметрический ряд значительно расширяется в сторону малых скоростей. Для двигателей постоянного тока мощностью более 630 кВт, предназначенных для приводов механизмов металлургического производства и шахтных подъемных машин, параметрический ряд номинальных скоростей вращения лежит в пределах от 20 до 1000 об/мин и соответствует ряду R10.

### **Стандартизация основных размеров и способов монтажа электрических машин.**

Основным размером, характеризующим электрическую машину, является высота  $h$  оси вращения относительно основания. Номинальные значения высот оси вращения должны соответствовать следующему ряду: 25; 28; 32; 36; 40; 50; 56; 63; 71; 80; 90; 112; (125); 132; (140); 160; 180; 200; 225; (236); 250; 280; 315; 355; 400; 450; 500; 560; (600); 630; 710; 800 мм. Нетрудно убедиться, что, за исключением подчеркнутых, приведенные значения соответствуют ряду R10. Значения, заключенные в скобки, применяются только в технически обоснованных случаях.

Регламентирующий высоту оси вращения ГОСТ 13267–67 распространяется и на неэлектрические вращающиеся машины, предназначенные для непосредственного соединения с электрическими машинами и установками на общем основании.

Длина машины может варьироваться в зависимости от высоты вращения.

Различные длины имеют стандартные условные обозначения:  $S$  (короткие),  $M$  (средние) и  $L$  (длинные). В соответствии с основным размером машины по рекомендации МЭК стандартизованы установочные и присоединительные размеры.

Кроме нормализации размеров унифицированы исполнения двигателей по способу их монтажа. Формы исполнения принимаются на основе рекомендаций МЭК и имеют стандартные условные обозначения следующего вида (ГОСТ 747979):

Согласно стандарту МЭК 34-7от 1972 г. для обозначения ряда исполнений могут применяться коды с буквой В – для машин с горизонтальным расположением вала и с буквой V – для исполнений с вертикальным расположением вала относительно плоскости крепления. Приведем некоторые примеры обозначения исполнений:

– 1М 1001 (код IM В3) – двигатель с подшипниковыми щитами на лапах, горизонтальным расположением вала и цилиндрическим концом вала;

– IM 1031 (код IM В6) –тоже, с концом вала, направленным вверх;

– IM 107 1 (код IM В8) – то же, для крепления к потолку (см. рис. 2.4, в);

– [М 2011 (код IM VI5) – двигатель с подшипниковыми щитами, большим фланцем на подшипниковом щите и цилиндрическим концом вала, направленным вниз

– IM 2111 – то же, с малым фланцем;

– IM 3031 (код IM V3) – двигатель без лап, с большим фланцем и цилиндрическим концом вала, направленным вверх;

– 1М 3631 - то же, с малым фланцем;

– IM 6000 - машина с подшипниковым щитом, стояковым подшипником и горизонтальным расположением вала без конца.

Приведенные примеры показывают многообразие исполнений, но не исчерпывают их. Возможные конструктивные исполнения для различных типов машин приводятся в каталогах и справочниках.

### **Выбор электрооборудования в соответствии с требованиями по исполнению и условиям эксплуатации.**

Широкое применение электрического оборудования вызвало потребность обеспечения его климатостойкости, т.е. способности выдерживать без заметных нарушений нормальных эксплуатационных характеристик климата той местности, для которой оно предназначено. Сюда относится защита от коррозии и прочие меры, обеспечивающие установленный срок службы и надежную работу оборудования в том или ином климатическом районе.

В соответствии с особенностями климата (пределным уровнем температуры, влажностью и др.) вводится понятие климатических зон и выполняется климатическое районирование, т.е. определение принадлежности района к той или иной климатической зоне. При этом имеются в виду макроклиматические зоны, т.е. большие территории с

определенными особенностями климата, в отличие от микроклимата отдельных районов.

Для электрооборудования, эксплуатируемого в условиях суши, рек и озер (в отличие от морских условий), определены климатические исполнения, приведенные в табл. 4.1.

В типовом обозначении электротехнического оборудования климатическое исполнение указывает категорию помещения, в котором допускается его эксплуатация:

1 – эксплуатация на открытом воздухе; 2 – закрытое помещение, температура и влажность в которых несущественно отличаются от состояния окружающего воздуха; 3 – помещение с естественной вентиляцией без искусственного климата; 4 – помещения отапливаемые или охлаждаемые и вентилируемые; 5 – помещения с повышенной влажностью, где возможно длительное наличие воды или частая конденсация влаги на стенах и потолке.

Климатические исполнения и категории помещений имеют подробные количественные характеристики. Так, оборудование с обозначениями УХЛ1, УХЛ2 допускается к работе при температуре окружающего воздуха от +40 до -60<sup>0</sup>С, а с обозначением УХЛ4 – от +35 до +1<sup>0</sup>С и т.п.

Таблица 4.1

Обозначение исполнителя		Основные характеристики макроклиматических районов			
Рус.	Лат.	Макроклимат	Средняя из абсолютных температура воздуха, □		Сочетание температур более 20□ и влажности более 80% 12 ч или более в сутки непрерывно, мес
			максимальная	минимальная	
У	N	Умеренный	40 или ниже	-45 или выше	Нет
ХЛ	F	Холодный	–	Ниже -45	–
УХЛ	NF	Умеренный и холодный	40 или ниже	То же	–
ТВ	ТН	Влажный тропический	Выше 40	–	От 2 до 12

		пический			
ТС	ТА	Сухой тропический	То же	–	Нет
Т	Т	Сухой и влажный тропический	–	–	От 2 до 12
О	–	Все, кроме очень холодного	–	- 45 или ниже	То же

Приведем примеры типовых обозначений по условиям применения: АВП4001000У5 – асинхронный двигатель мощностью 400 кВт с синхронной скоростью 1000 об/мин, исполнение для умеренной климатической зоны, категория помещения 5; 4А225М4У3 – асинхронный двигатель серии 4А с высотой оси вращения 225 мм, средней габаритной длины, имеет 4 полюса, исполнение для умеренной климатической зоны, категория помещения 3; ТМ-4000/10-У1– трансформатор с естественным масляным охлаждением мощностью 4000 кВА, исполнение для умеренной климатической зоны, предназначен для установки на открытом воздухе.

#### **Классификация оболочек по степени защиты электрооборудования от попадания посторонних предметов и воды.**

Исполнение оболочек электрооборудования по степени защиты персонала от соприкосновения с токоведущими или движущимися частями, находящимися внутри них, регламентируется рекомендациями МЭК, государственным стандартом и ПУЭ

Для оболочек определены семь степеней защиты персонала от соприкосновения с токоведущими или движущимися частями электрооборудования и попадания в него посторонних тел: 0 – защита отсутствует; 1 – защита от случайного соприкосновения человеческого тела с токоведущими или движущимися частями, находящимися внутри оболочки, и попадания твердых предметов диаметром не менее 52,5 мм (защита от преднамеренного доступа к этим частям отсутствует); 2 – защита от возможности соприкосновения пальцев человека с токоведущими частями, находящимися внутри оболочки, и попадания внутрь посторонних предметов диаметром не менее 12,5 мм; 3 – защита от соприкосновения с токоведущими частями инструмента, проволоки или других предметов, толщина которых превышает 2,5 мм; 4 – то же, но с ограничением размеров до 1 мм; 5 – полная защита персонала от соприкосновения с токоведущими и движущи-

мися частями и защита оборудования от вредных отложений пыли; 6 – полная защита персонала от соприкосновения с токоведущими и движущимися частями и полная защита оборудования от попадания пыли.

Защита электрооборудования оболочками от попадания влаги характеризуется следующими степенями: 0 – защита отсутствует; 1 – защита от капель конденсата воды, вертикально падающих на оболочку; 2 – защита от капель воды, падающих на оболочку, наклоненную под углом не более  $15^\circ$  к вертикали; 3 – защита от дождя, падающего на оболочку, наклоненную под углом не более  $60^\circ$  к вертикали; 4 – защита от брызг любого направления, попадающих на оболочку; 5 – защита от водяных струй, т.е. воды, поступающей через наконечник на оболочку в любом направлении, при условиях, указанных в ТУ; 6 – защита от воздействий, возможных на палубе корабля, т.е. от периодического захлестывания оборудования морской волной; 7 – защита от воздействий, возникающих при погружении в воду, при давлении и в течение времени, указанных в ТУ; 8 – защита от воздействий при неограниченно длительном погружении в воду и давлении, указанном в ТУ.

Примеры условных обозначений степеней защиты: IP00, 1P23, IP43. Здесь IP – от *англ.* International Protection, первая цифра указывает степень защиты оборудования от случайного прикосновения и попадания посторонних твердых тел, а вторая – степень защиты от попадания воды.

Классификация степеней защиты не распространяется на электрическое оборудование напряжением свыше 1000 В, а также взрывонепроницаемое оборудование, провода и кабели.

### **Прочность и стойкость изделий при механических воздействиях.**

В процессе эксплуатации и транспортирования аппаратура может подвергаться механическим воздействиям при ударах, падениях, тряске и вибрации. В результате возможны разрушение отдельных элементов устройств и некачественных паяк, нарушение контактов реле и переключателей, замыкание проводов с поврежденной изоляцией, самоотвинчивание винтов и гаек, появление сколов и трещин в хрупких материалах и т.д. Аппаратура, эксплуатируемая в нормальных условиях, подвергается механическим перегрузкам главным образом при транспортировании. Аппаратура, установленная на под-

вижных объектах, испытывает воздействие вибраций, ударов и линейных ускорений, которые возникают из-за наличия неуравновешенных масс. При этом на каждый элемент конструкции действует сила, которая вызывает деформации отдельных ее элементов, в результате чего возможно изменение параметров устройства и даже его разрушение. Наиболее опасным является механический резонанс, который, как правило, ведет к разрушению конструкции.

Таблица 4.2

Воздействующий фактор		Диапазон частот, Гц	Максимальное ускорение, м/с <sup>2</sup>	Длительность удара, мс
Вибрационные нагрузки		1...5000	4,91...392,4 или (0,5...40)g	—
		100...5000	392,4, или (40g)	—
Ударные нагрузки	Множественные	—	147...1471, или (15...150)g	2...15
	Одиночные	—	39,2...29400, или (4...3000)g	0,2...60
Линейные (центробежные) нагрузки		—	98,1...4905, или (10...500)g	—

Отношение силы механического воздействия  $F$  к силе тяжести устройства  $P$  называют перегрузкой и обозначают  $G$ . Если на устройство действует вибрация, изменяющаяся по синусоидальному закону, то перегрузка определяется по формуле  $G = Af^2/200$ , где  $A$  — амплитуда вибрации, мм;  $f$  — частота вибрации, Гц.

ГОСТ 16962—84 устанавливает виды механических факторов и их значения в обобщенной форме, отражающие условия эксплуатации изделия (табл. 4.2). Ускорение свободного падения  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ .

Изделия без амортизаторов не должны иметь резонансных частот в диапазонах от 5 до 100 Гц. Изделия, предназначенные для работы в условиях воздействия акустического шума, должны быть работоспособными в диапазоне частот от 50 до 10000 Гц с максимальным уровнем звукового давления от 130 до 170 дБ.

Выводы, включая места их присоединения к изделию, должны выдерживать без механических повреждений определенные воздействия растягивающей силы, направленной вдоль оси.

<i>Сечение вывода, мм<sup>2</sup></i>	<i>Растягивающая сила, Н</i>
От 0,1 до 0,2.....	4,9
Свыше 0,2 до 0,5.....	9,806

Свыше 0,5 до 2,0.....19,61

Резьбовые выводы должны выдерживать без механических повреждений определенные воздействия крутящего момента.

<i>Диаметр резьбы, мм</i>	<i>Крутящий момент, Н·м</i>
До М2.....	0,14
М2,5.....	0,44
М3.....	0,49
М4.....	1,17
М5.....	1,76
М6.....	2,45
Свыше М6.....	Требования не предъявляются

Аппаратура, которая нормально работает при воздействии вибраций, называется *виброустойчивой*. Аппаратура, выдерживающая длительные вибрации и ускорения, а также воздействия ударов без изменения параметров, называется *вибропрочной* и *ударопрочной*. Чтобы предохранить аппаратуру от разрушающего действия механических перегрузок, применяют амортизаторы.

**Характеристики помещений.** Особый подход необходим при выполнении проектных работ по созданию специального электрооборудования электропривода и систем автоматизации для объектов, работающих в пожаро- и взрывоопасных условиях.

Перед проектированием электропривода выясняют характер окружающей среды, степень пожаро- и взрывоопасности помещения, опасность поражения людей электрическим током. Классификация помещений в зависимости от характера окружающей среды дана в ПУЭ.

## **ТЕМА 5. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ**

**Высшие гармоники в кривых токов и напряжений.**



Проблема электромагнитной совместимости электрооборудования особенно актуальна вследствие резкого увеличения суммарной мощности электроприводов с регулированием частоты вращения посредством силовых полупроводниковых преобразователей (СПП). В системах электропривода рассматривается аспект совместимости СПП с двигателем исполнительного механизма, обусловленный наличием пульсаций электромагнитного момента двигателя, который в данном учебном пособии определяется как электромеханическая совместимость.

Проблемы и особенности работы электроприводов с СПП при питании от сетей соизмеримой мощности достаточно полно освещены в специальной литературе.

Нормы и условия в области электромагнитной совместимости определяют международные стандарты (МЭК (IEC) 60034-1, 60034-17, 60050-161, 61000, 61800) и российские (ГОСТ Р 13109-97, ГОСТ Р 50034-92, ГОСТ Р 51.317).

Работы по стандартизации и этой области выполняет технический комитет 77 «Электромагнитная совместимость» в структуре МЭК и ТК110 в структуре СЕНЭЛЕК, обеспечивающий гармонизацию стандартов стран, входящих в ЕС. Стандарты МЭК имеют общий номер публикации IEC 61000. Наряду с основополагающими стандартами IEC 61000 существуют разделы по электромагнитной совместимости в международных стандартах по электрическим машинам (МЭК (IEC) 60034-1, 60034-17) и системам силовых электроприводов с регулируемой скоростью (МЭК (IEC) 61800).

Системы электропривода и автоматизации с СПП и микропроцессорными средствами управления являются объектами, в которых в наибольшей степени проявляется проблема помехозащищенности в условиях мощных импульсных электромагнитных воздействий. Для изучения вопросов электромагнитной совместимости, электромагнитно-помеховой совместимости, стойкости к внешним электромагнитным воздействиям следует использовать специальную литературу. Электромагнитная совместимость (ЭМС) полупроводниковых преобразователей и других видов электрооборудования промышленной системы электроснабжения или электроэнергетической системы автономного объекта – это способность их одновременного функционирования без нарушения заданных режимов работы с сохранением технических и эксплуатационных режимов электрооборудования. Такое функционирование должно обеспечиваться в любом эксплуатационном режиме в течение всего срока службы.

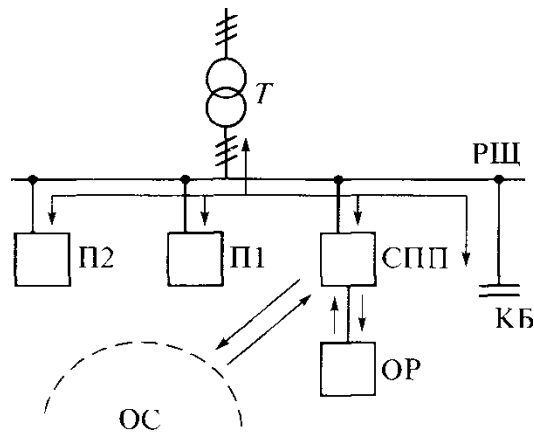


Рис. 5.1. Схема электрической сети

Схема электрической сети (рис. 7.1) состоит из СПП, получающих питание от распределительного щита (РЩ), объекта регулирования (ОР) и конденсаторных батарей (КБ). Питание на распределительный щит поступает от силового трансформатора  $T$  или синхронного генератора либо от нескольких трансформаторов или генераторов, соединенных параллельно. Потребители электроэнергии в представленной схеме условно разделены на две группы: группа П1 – потребители, нечувствительные к искажениям по напряжению, группа П2 – чувствительные. Здесь же условно показана окружающая среда (ОС). Кроме того, на схеме стрелками показано воздействие СПП на электрооборудование и потребители сети, объект регулирования или питания, окружающую среду. Также показаны воздействия, которым подвернется СПП со стороны электрооборудования и потребителей сети, объекта регулирования или питания, окружающей среды.

Воздействие СПП на сеть проявляется в виде генерирования в нее гармоник напряжения и токов различной физической природы и потребления из нее реактивной мощности. Воздействие СПП на объект регулирования проявляется в искажении формы напряжения на входных зажимах объекта, т.е. в появлении в спектре напряжения высших гармонических составляющих.

Воздействие СПП на окружающую среду заключается в следующем. Амплитудно-частотные спектры напряжений и токов на входе и выходе СПП отличаются достаточно широким диапазоном частот – от нескольких герц до нескольких десятков и даже сотен мегагерц. При некоторых определенных частотах токопроводящие части СПП начинают излучать электромагнитную энергию в окружающую среду. Иными словами, статический преобразователь является генера-

тором излучения помех. В свою очередь, окружающая среда также создает наводки и помехи в системах управления преобразователем.

Исходя из многообразия перечисленных воздействий для обеспечения электромагнитной совместимости СПП с потребителями промышленных сетей целесообразно использовать следующие технические меры: экранирование статического преобразователя как источника электромагнитных помех; защиту статического преобразователя от воздействия внешних помех; индивидуальную защиту ответственных потребителей; минимизацию гармонических составляющих напряжения и тока, генерируемых в сеть.

Важнейшим фактором в проблеме ЭМС является генерирование преобразователями высших гармоник тока и напряжения и влияние их на качество электроэнергии. Стандарт устанавливает ряд следующих показателей, влияющих на качество электроэнергии в установленных режимах:

– установившееся отклонение напряжения  $\Delta U_{уст}$  – разность между действительным  $U$  и заданным (номинальным) значениями напряжений, выраженная в процентах от номинального значения

$$\Delta U_{уст} = [(U - U_{ном}) / U_{ном}] \cdot 100;$$

– установившееся отклонение частоты  $\Delta f_{уст}$  – разность между действительным  $f$  и заданным (номинальным)  $f_{ном}$  значениями частоты, выраженная в процентах от номинального значения

$$\Delta f_{уст} = [(f - f_{ном}) / f_{ном}] \cdot 100;$$

– коэффициент небаланса напряжений трехфазной системы  $K_{неб}$  – величина, равная разности наибольшего  $U_{max}$  и наименьшего  $U_{min}$  значений линейных напряжений в трехфазных системах, выраженная в процентах от номинального значения

$$K_{неб} = [(U_{max} - U_{min}) / U_n] \cdot 100;$$

– коэффициент амплитудной модуляции напряжения  $K_{modU}$  – величина, равная отношению полуразности наибольшей  $U_{mmax}$  и наименьшей  $U_{mmin}$  амплитуд линейного напряжения (при наличии его модуляции) к амплитудному номинальному значению напряжения, выраженная в процентах

$$K_{\text{mod}U} = [(U_{m \max} - U_{m \min}) / 2U_{m \text{ном}}] \cdot 100;$$

– коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения, или коэффициент несинусоидальности, или коэффициент нелинейных искажений  $K_U$  – величина, равная отношению корня квадратного из суммы квадратов амплитудных значений высших гармонических составляющих данной периодической кривой напряжения к амплитудному значению основной (первой) гармоники, выраженная в процентах

$$K_u = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{n=\infty} U_{m \text{ном}}^2}}{U_{m1}} \cdot 100.$$

(Допустимый коэффициент искажения синусоидальности напряжения определяет ГОСТ 13109-97);

– коэффициент пульсации, характеризующий качество напряжения в сетях постоянного тока  $K_{\text{пуль}U}$  – отношение максимального мгновенного значения переменной составляющей  $U_{\max}$  к номинальному значению постоянной составляющей  $U_{\text{ном}}$  выраженное в процентах

$$K_{\text{пуль}U} = (U_{\max} / U_{\text{ном}}) \cdot 100.$$

### **Гармонический состав тока, потребляемого преобразователями из сети.**

Основу СПП составляют полупроводниковые приборы, по своей сущности являющиеся нелинейными элементами. Работа преобразователей основана на переключении (коммутации) групп тиристорov, транзисторов или диодов, и во всех схемах этот процесс вызывает потребление из сети несинусоидального тока, вследствие чего происходит искажение синусоидальности формы кривой напряжения сети.

Ток, потребляемый выпрямителем из сети, можно представить в виде гармонического ряда, содержащего основную гармонику  $n=1$ , частота которой равна частоте напряжения сети, и некий спектр высших гармоник. Гармонический состав потребляемого из сети тока зависит от схемы выпрямления, а точнее от числа тактов  $m = f_{\text{п}}/f_{\text{с}}$ , где  $f_{\text{п}}$  – частота пульсаций выпрямленного напряжения;  $f_{\text{с}}$  – частота напряжения сети переменного тока. При этом кривая первичного тока вы-

прямителя кроме основной гармоники содержит высшие гармонические составляющие, порядок которых определяется выражением  $n = km \pm 1$ , где  $k = 1, 2, 3 \dots$

Относительные значения амплитуд высших гармоник при идеально сглаженном выпрямленном токе  $I_{n \max}^* = I_{n \max} / I_{1 \max}$ , где  $I_{1 \max}$  – амплитуда первой гармоники потребляемого тока.

Искажения напряжения сети, вносимые СПП, для разных их схем характеризуются различным составом высших гармоник. Поскольку искажения кривой напряжения возникают из-за падения напряжения от токов высших гармонических составляющих на импедансах элементов электросети (источника, кабельной линии, трансформаторов, реакторов и т.д.), то спектр частот гармоник напряжения сети совпадает со спектром частот гармоник тока, потребляемого преобразователем из сети. Так, порядок высших гармоник напряжения, вносимых трехфазными двухполупериодными схемами выпрямления в сеть, определяется выражением  $n = 6k \pm 1$ , где  $k = 1, 2, 3, \dots$  Такие гармоники называются каноническими. Для трехфазного двухполупериодного выпрямителя канонические гармоники сетевого напряжения имеют порядок 5, 7, 11, 13, 17, 19 и т.д. Для двенадцатифазных схем выпрямления канонические гармоники имеют порядок 11, 13, 23, 25 и т.д. Падение напряжения на индуктивностях сети от протекания  $n$ -й гармоники тока  $U_n = I_n X_n$ , где  $I_n$  – ток  $n$ -й гармоники;  $X_n$  – эквивалентное сопротивление элементов сети для  $n$ -й гармоники. Соответственно определяющими для искажений напряжения будут факторы, влияющие на каждый из сомножителей этой формулы. При прочих одинаковых условиях (схема преобразователя, режим работы и др.) амплитуды гармоники тока увеличиваются с ростом мощности преобразователя. На гармоники тока преобразователя влияют также глубина регулирования выходного напряжения и индуктивное сопротивление входного трансформатора (или реактора) преобразователя. При постоянстве тока нагрузки преобразователя с ростом глубины регулирования выходного напряжения амплитуды гармоник его первичного тока увеличиваются, а следовательно, увеличиваются и вносимые искажения. С увеличением индуктивного сопротивления входного трансформатора (реактора) амплитуды гармоник тока уменьшаются.

В настоящее время в связи с широким использованием полностью управляемых коммутирующих полупроводниковых элементов получают распространение преобразователи частоты с активными

выпрямителями (АВ). При использовании специальных систем управления АВ могут служить статическим компенсирующими устройствами и обеспечивать повышение коэффициента мощности и снижение коэффициента нелинейных искажений.

### **Высшие гармоники в выпрямленном напряжении и напряжении автономного инвертора.**

Кривые выпрямленного напряжения на выходе полупроводниковых выпрямителей представляют собой периодические функции и могут быть разложены в ряд Фурье

$$U_d(\omega t) = U_{dep} + \sum_{n=1}^{n=\infty} U_{n \max} \sin(nm\omega t + \varphi_n),$$

где  $U_{dep} = f(U_{d0}, \cos \delta)$  – среднее значение выпрямленного напряжения;  $U_{d0}$  – среднее значение выпрямленного напряжения при угле регулирования  $\alpha=0$ ;  $U_{n \max}$  – амплитудное значение  $n$ -й гармоники напряжения;  $\varphi_n$  – угол сдвига.

Относительная амплитуда  $n$ -й гармоники

$$U_{n \max}^* = \frac{U_{n \max}}{U_{d0}} = \frac{2 \cos \alpha \sqrt{1 + (m \operatorname{tg} \alpha)^2}}{(mn)^2 - 1}.$$

откуда следует, что амплитуды высших гармоник (при прочих равных условиях) увеличиваются с увеличением угла  $\alpha$ .

### **Напряжение на выходе преобразователей частоты с автономными инверторами.**

Напряжения и синусоидальной широтно-импульсной модуляцией также представляют собой совокупность основной и набора высших гармоник напряжения. Порядок высших гармонических составляющих для трехфазного мостового автономного инвертора также определяется выражением  $n = 6k \pm 1$ . Амплитудные значения гармоник напряжения определяются не только напряжением на входе инвертора и номером гармоники, но и числом импульсов модуляции в периоде основной гармоники. Аналитический вывод этих зависимостей достаточно сложен и приводится в специальной литературе.

Наличие высших гармоник в кривой сетевого напряжения снижает надежность и качество работы электрооборудования технологических установок. В общем случае технико-экономический ущерб, наносимый высшими гармониками напряжения, можно представить в виде нескольких составляющих;  $Y = Y_3 + Y_{и} + Y_{к} + Y_{с}$ , где  $Y_3$  – ущерб, обусловленный дополнительными потерями электроэнергии в сети;  $Y_{и}$  – ущерб, обусловленный ускоренным старением изоляции электрических машин и кабельных линий;  $Y_{к}$  – ущерб, обусловленный воздействием высших гармоник на конденсаторные установки;  $Y_{с}$  – ущерб, обусловленный ложным срабатыванием устройств защит и средств автоматики. Дадим количественные оценки перечисленных составляющих технико-экономического ущерба.

Дополнительные потери энергии в электрооборудовании при коэффициенте несинусоидальности  $K_{и} = 5\%$  составляют 1,5...3,0 %. При увеличении  $K_{и}$  эти потери возрастают. Таким образом, зная мощность электрооборудования, входящего в состав электросети предприятия, и тарифы на электроэнергию, действующие в энергосистеме, к которой относится предприятие, можно довольно точно количественно оценить  $Y_3$ .

Составляющую технико-экономического ущерба  $Y_{и}$  можно оценить лишь приблизительно. Увеличение отчислений на капитальный ремонт электродвигателей, трансформаторов и кабельных линий, эксплуатируемых при коэффициентах несинусоидальности напряжения  $K_{и} > 5\%$ , должно составлять ориентировочно 5...10 %. Практика показывает, что при несинусоидальном напряжении сети возрастает также стоимость текущих ремонтов электрических машин и силовых кабелей. Так, при  $K_{и} = 5...10\%$  суммарные амортизационные отчисления по кабельному хозяйству возрастают на 5...10%, если же  $K_{и} = 10...15\%$ , то суммарные амортизационные отчисления возрастают до 15%.

В электрических сетях современных промышленных предприятий широко используются конденсаторные установки различного назначения, например, компенсаторы реактивной мощности, электрические фильтры и др. При наличии высших гармоник в кривой напряжения на обкладках конденсатора процесс старения диэлектрика протекает также значительно интенсивней. Это явление объясняется тем, что физико-химические процессы в диэлектриках, обуславливающие их старение, значительно ускоряются при высоких частотах электрического поля.

При несинусоидальном напряжении сети питания возрастают погрешности систем защиты, индукционных счетчиков, систем импульсно-фазового управления, ухудшается работа телемеханических устройств и т.д. Применение дополнительных технических средств для защиты этих систем, таких как фильтры и автономные источники питания, увеличивает их стоимость. Высшие гармоники затрудняют также использование силовых кабелей в качестве каналов связи для телемеханических систем. Это приводит к дополнительным затратам на организацию специальных каналов связи, а в отдельных случаях вынуждает использовать более дорогие устройства телемеханики.

**Способы и устройства обеспечения электромагнитной совместимости.** Обеспечение электромагнитной совместимости возможно посредством минимизации высших гармоник напряжения и тока, генерируемых СПП в электрическую сеть, подавления высокочастотных колебаний напряжения в сети, компенсации реактивной мощности, подавления помех в каналах управления преобразователями и т.д. Методы и средства обеспечения электромагнитной совместимости подразделяются на два основных вида: структурные и системные.

*Структурные* методы, предусматривающие воздействие непосредственно на СПП, заключаются в выборе, построении и оптимизации схемы преобразования и системы управления для снижения влияния преобразователя на сеть и подразделяются на три группы: схемные решения по силовой части, обеспечивающие минимизацию гармонических составляющих напряжения и тока; выбор рационального способа регулирования; воздействие на систему управления путем введения дополнительного сигнала. К методам первой группы можно отнести повышение фазности схемы выпрямления и создание условного режима повышения фазности на стороне переменного тока. Методы второй группы заключаются в выборе способа преобразования переменного напряжения в постоянное и введении специальных законов управления. Воздействие на систему управления в целях минимизации генерируемых неканонических гармоник (при несимметрии каналов управления), реализованное с помощью введения обратных связей, относится к методам третьей группы.

К *системным* решениям обеспечения электромагнитной совместимости относятся коррекция структуры электросети и включение фильтрокомпенсирующих устройств, а в автономных системах элек-



тропитания – применение в системах возбуждения синхронных генераторов корректоров напряжении, позволяющих стабилизировать основную гармонику напряжения.

На практике в системах электроснабжения объектов с мощными СПП наиболее широкое применение нашли способы обеспечения электромагнитной совместимости, основанные на увеличении фазности преобразователей и применении сетевых фильтров.

Использование сетевых фильтров представляется в настоящее время весьма перспективным способом минимизации высших гармонических составляющих напряжения в электрических сетях. Для того чтобы какая-либо гармоническая составляющая не поступила от преобразователя в сеть, необходимо на сетевых зажимах установить фильтр, который для этой составляющей имел бы сопротивление, близкое к нулю. Электрическая схема, поясняющая такой способ минимизации высших гармоник в сети, представлена на рис.5 2.

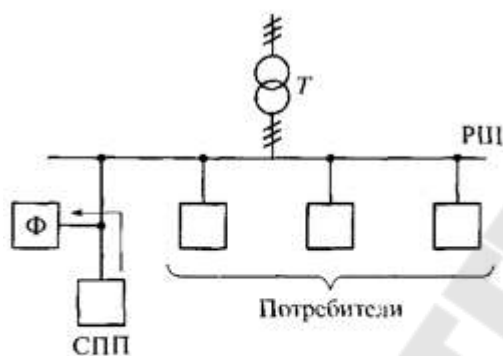


Рис. 5.2 Схема электроснабжения объектов, поясняющая способ минимизации высших гармоник в сети

В системах электроснабжения объектов в настоящее время применяются исключительно простые режекторные фильтры, состоящие из последовательно соединенных конденсаторов и индуктивностей. Регулирование параметров индуктивностей и конденсаторов используется крайне редко. Более сложные фильтры, а также комбинированные фильтры,

предназначенные для устранения большого числа гармоник, – полосовые – используются редко. Сетевые фильтры, рассчитанные, как правило, на гармоники 5, 7, 11, 13, серийно выпускаются рядом зарубежных фирм, такими как Siemens, WESTINGHOUSE и др. В отечественной промышленности сложилась практика, в соответствии с которой сетевые фильтры проектирует и изготавливает предприятие – поставщик электропривода, в состав которого они и входят. Для комплектования фильтров применяются конденсаторы с большой единичной мощностью 75... 100 кВА и напряжением, соответствующим номинальному напряжению сети. Реакторы, применяемые при комплектовании сетевых фильтров, – это обычно нерегулируемая индуктивность, представляющая собой ферромагнитный сердечник с рабочей обмоткой. Известны единичные случаи изготовления реакторов,

имеющих отпайки на рабочей обмотке, однако они используются крайне редко по причине сложности и дороговизны устройства переключения числа витков. Современным эффективным способом повышения коэффициента мощности и уменьшения коэффициента нелинейных искажений является использование активных выпрямителей.

Способы минимизации вредного влияния высоких гармонических составляющих напряжения на характеристики электродвигателей можно условно разделить на следующие группы: применение фильтрующих устройств; использование схемотехнических решений при разработке преобразователей, включая специальные законы их управления; принятие специальных конструкторских решений при проектировании электрических машин.

В зависимости от типа электропривода, т.е. от рода тока, перечисленные способы обеспечения электромеханической совместимости реализуются по-разному. Поэтому эти способы следует рассмотреть отдельно для электроприводов постоянного и переменного токов.

В современных автоматизированных электроприводах постоянного тока в качестве устройств управления широко применяют управляемые выпрямители и широтно-импульсные преобразователи. Для этих типов преобразователей характерна периодическая пульсирующая кривая напряжения на выходе. Основные требования к фильтрам для уменьшения пульсаций можно сформулировать следующим образом: фильтр не должен существенно изменять режим работы преобразователя; фильтр должен обеспечивать заданную по условиям электромеханической совместимости степень сглаживания напряжения на нагрузке во всех оговоренных режимах работы электропривода.

Выполнение первого требования достигается в основном соответствующим выбором схемы фильтра. Так, например, емкостный фильтр или фильтры с емкостным входным звеном в мощных электроприводах использовать не рекомендуется, так как они ухудшают форму токов, протекающих через вентили и трансформатор в управляемых выпрямителях, в результате чего возрастают потери мощности. Установка таких фильтров на выходе широтно-импульсных преобразователей изменяет расчетные условия коммутации, что может привести к аварийным ситуациям.

Второе требование, предъявляемое к фильтрующим устройствам, является определяющим при расчете параметров элементов схе-

мы фильтра. Обычно это требование задается в виде коэффициента пульсаций напряжения на нагрузке. Отношение пульсаций напряжения на выходе преобразователя к коэффициенту пульсаций напряжения на нагрузке определяет снижение пульсаций напряжения, достигаемое в результате применения фильтра. Это отношение называется коэффициентом сглаживания. Для увеличения эффективности фильтрующих устройств и увеличения коэффициента сглаживания  $S$  на практике используют многосвязные фильтры. Коэффициент сглаживания таких фильтров равен произведению коэффициентов отдельных звеньев.

Для обеспечения электромеханической совместимости преобразователя и двигателя без применения фильтрующих устройств или с применением фильтров, обладающих незначительными массогабаритными показателями, следует использовать преобразователи с повышенными значениями частот первой гармоники выходного напряжения. Так, при использовании в электроприводе в качестве преобразователя управляемого выпрямителя и необходимости обеспечения электромеханической совместимости целесообразно применять многотактные схемы выпрямления. Если в качестве преобразователя используется широтно-импульсный модулятор, то в целях увеличения частоты пульсаций выходного напряжения, необходимо повышать частоту коммутации его силового ключа. Важнейшим преимуществом широтно-импульсных преобразователей является возможность плавного регулирования частоты коммутации, что позволяет устранять явления резонанса.

Для обеспечения электромеханической совместности электрооборудования, входящего в состав электропривода переменного тока на основе автономного инвертора с широтно-импульсной модуляцией, следует устанавливать как можно более высокую частоту модуляции. В этом случае частоты всех высших гармоник будут достаточно высокими и не будут оказывать существенного влияния на появление пульсирующих электромагнитных моментов. Дополнительные потери мощности от высших гармоник в двигателе с увеличением их частоты уменьшаются. В преобразователях же при увеличении частоты модуляции увеличиваются потери на коммутацию в ключах, а также потери в звеньях коммутации. Следовательно, при проектировании регулируемых электроприводов с преобразователями на основе инверторов с широтно-импульсной модуляцией большое значение имеет вы-

бор оптимального значения частоты модуляции, для которого суммарные потери в электроприводе будут минимальными.

Задачу обеспечения электромеханической совместимости двигателей с преобразователями нельзя решать в отрыве от решения задачи обеспечения высокого коэффициента полезного действия привода. Для современных преобразователей частоту модуляции выбирают в диапазоне 4...20 кГц.

### **Электромеханическая совместимость электродвигателей с силовыми полупроводниковыми преобразователями.**

Пульсация электромагнитного момента, вызванные воздействием высших гармоник напряжения на электродвигатели, приводят к ухудшению виброакустических характеристик двигателей, т.е. увеличению акустического шума и появлению вибрации, а также сопровождаются резонансными явлениями и ухудшением прочностных характеристик. Иными словами, высшие гармонические составляющие напряжения являются причиной появления еще одной проблемы – необходимости электромеханической совместимости преобразователей и электрических машин, входящих в состав регулируемых электроприводов. Под воздействием несинусоидального напряжения в статорной обмотке двигателя будет протекать ток, который кроме основной гармоники будет содержать и высшие гармонические составляющие. Следовательно, в воздушном зазоре электродвигателя будут присутствовать движущиеся магнитные поля, скорость и направление вращения которых определяются номером гармоники. В результате этого в роторе возникают магнитные поля, также вращающиеся с соответствующими угловыми скоростями, а в асинхронном двигателе – электромагнитные моменты двух видов – постоянные и колебательные. Постоянные электромагнитные моменты возникают при взаимодействии магнитных полей статора и ротора одного порядка, например, 1-й гармоники статора с 1-й гармоникой ротора или 5-й гармоники статора с 5-й гармоникой ротора.

*Колебательные* электромагнитные моменты возникают в результате взаимодействия магнитных полей статора и ротора, имеющих разный порядковый номер. Кроме того, колебательные электромагнитные моменты возникают при взаимодействии магнитного поля основной гармоники с магнитными полями высших гармоник. Вращающийся электромагнитный момент возникает при наличии разности фаз между вращающимися магнитными полями статора и ротора. В

общем виде электромагнитный момент асинхронного двигателя можно выразить следующим образом

$$M = I_s \psi_r \sin \varphi_{sr},$$

где  $I_s$  — составляющая магнитодвижущей силы, обусловленная током статорной обмотки;  $\psi_r$  — магнитный поток, создаваемый током ротора;  $\varphi_{sr}$  — угол сдвига между двумя этими векторами.

При взаимодействии магнитодвижущей силы и магнитного потока с одним порядковым номером угол сдвига между ними остается постоянным, поскольку эти векторы вращаются с одинаковой угловой скоростью. Следовательно, и электромагнитные моменты, создаваемые гармониками одного порядка, будут постоянными.

Совершенно другая картина наблюдается в случае взаимодействия гармонических составляющих с разными порядковыми номерами. Если вектор магнитодвижущей силы основной гармоники  $I_s$ , вращается с угловой частотой  $\omega_1$ , а вектор, например, 5-й гармоники магнитного потока ротора вращается с угловой частотой  $5\omega_1$ , но в другую сторону, то, естественно, угол  $\varphi_{s1r5}$  между этими векторами будет изменяться по синусоидальному закону. Причем за один оборот (период) вектора  $I_{s1}$  угол сдвига изменится шесть раз. Следовательно, электромагнитный момент, создаваемый основной гармоникой статора  $I_s$  и 5-й гармоникой ротора будет изменяться по синусоидальному закону, т.е. колебаться, причем частота этих колебаний будет равна  $6\omega_1$ .

Можно показать, что электромагнитные моменты, создаваемые при взаимодействии 1 и 11-й, 1 и 13-й гармоник, тоже носят синусоидальный характер, причем частота пульсаций этих электромагнитных моментов равна  $2 \cdot 6\omega_1$ .

В регулируемых электроприводах постоянного тока, в которых двигатели получают питание от преобразователей, напряжение, подводимое к якорным зажимам, представляет собой сумму некоторой постоянной и гармонических составляющих. Если в регулируемом электроприводе в качестве статического преобразователя используется широтно-импульсный преобразователь, то  $f = f_{\text{шип}}$ , а если двигатель получает питание от выпрямителя, то  $f = mf_c$ . В электродвигателе

лях постоянного тока также будут возникать колебания электромагнитного момента.

Механические колебания вращающихся частей двигателя, возникающие из-за наличия колебательных электромагнитных моментов, в силу их малости в обычных условиях не существенны. Исключение составляют случаи, когда двигатель используется при частотах вращения, составляющих несколько оборотов в минуту и ниже, а также случаи, когда необходимо очень точное регулирование.

Однако если частота колебательного вращающего момента становится равной собственной частоте крутильных колебаний системы двигатель–механизм, наступает явление резонанса, сопровождающееся сильным шумом и вибрациями, а в ряде случаев и механическими повреждениями. В этом случае говорят уже об электромеханической совместимости преобразователя и электродвигателя, учет и обеспечение которой необходимо осуществлять на всех стадиях проектирования и разработки регулируемых электроприводов.

## **ТЕМА 6. РАЗРАБОТКА КОНСТРУКТОРСКОЙ И ПРОГРАММНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ**

### **Общие правила выполнения электрических чертежей и схем.**

Всю техническую документацию, которую используют и составляют при разработке, изготовлении и эксплуатации изделий, можно разделить на три основные группы: нормативно-техническую, конструкторскую и технологическую. Нормативно-техническая и технологическая документация была рассмотрена ранее. Остановимся на конструкторской документации.

К конструкторским относятся графические (чертежи и схемы) и текстовые (пояснительные записки, спецификации, расчеты и т.п.) документы, которые в отдельности или в совокупности определяют состав и устройство изделия и содержат необходимые данные для его разработки или изготовления, контроля, приемки, эксплуатации и ремонта. При этом вся документация должна соответствовать стандартам ЕСКД.

При разработке электроизделий конструкторская документация выполняется, как правило, в две стадии: эскизный или технический проект и рабочая конструкторская документация и ремонте изделий.

Для быстрого нахождения на чертеже составной части изделия рекомендуется разбивать поле чертежа на зоны с помощью отметок, наносимых по горизонтали арабскими цифрами слева направо и по вертикали – прописными буквами латинского алфавита сверху вниз. Зоны обозначаются сочетанием букв и цифр, например: А2, В1, В2, Д1 и т.д. Рабочие чертежи должны разрабатываться и выполняться с соблюдением ряда общих требований; оптимального применения стандартных и покупных изделий и изделий, освоенных производством и соответствующих современному уровню техники: рационального ограничения номенклатуры конструктивных элементов, их размеров, условий монтажа и т.д.; рационального ограничения номенклатуры марок и сортов материалов, применения наиболее дешевых и наименее дефицитных материалов; взаимозаменяемости, наиболее выгодных способов изготовления, ремонта изделий и максимального удобства их обслуживания при эксплуатации.

Количество чертежей на изделие должно быть минимальным, но достаточным для рациональной организации его изготовления. Чертежи необходимо выполнять с соблюдением всех условных изображений и упрощений, предусмотренные стандартами ЕСКД.

Наименование изделия, указываемое в основной надписи чертежа, должно быть кратким и соответствовать принятой терминологии. Наименование записывается в именительном падеже и единственном числе, причем на первое место в многословном наименовании помещают имя существительное.

Виды схем обозначают прописными буквами русского алфавита: электрическая – Э; гидравлическая – Г; пневматическая – П; кинематическая – К.; оптическая – О; комбинированная – С. При разработке ЭП и СА выпускают электрические схемы.

Тип схем обозначается арабскими цифрами: 1 – структурная; 2 – функциональная; 3 – принципиальная; 4 – соединений; 5 – подключения; 6 – общая; 7 – расположения; 0 – объединенная. В зависимости от вида и типа схемы ей присваивают буквенно-цифровое обозначение. Например, ЭЗ – схема электрическая принципиальная.

Текстовые конструкторские документы подразделяются на документы, состоящие из сплошного текста (технические условия, пояснительная записка и т.д.), и документы, содержащие текст, разбитый на графы (спецификации, ведомости покупных изделий и т.д.).

В начале документов большого объема рекомендуется помещать содержание, а в конце – список используемых документов или лите-

ратуры. Иллюстрации, таблицы или вспомогательный материал можно давать либо в тексте, либо в виде приложений, которые при большом объеме могут быть оформлены в виде самостоятельного документа.

Ряд стандартов ЕСКД устанавливает требования к содержанию различных текстовых документов. В этих стандартах приводятся рекомендуемые перечни разделов: в зависимости от особенностей изделия текстовые документы допускается, дополнять другими разделами или не включать в них отдельные разделы из числа рекомендованных.

Изложение документа должно быть кратким, четким, исключая возможность субъективного толкования. Терминология, определения, сокращения и условные обозначения должны быть едиными и соответствовать стандартам или общепринятым в научно-технической литературе. Специфические термины должны иметь соответствующие разъяснения.

Документы, содержащие графы, обычно имеют разделение на строки. Наименования разделов и подразделов в таких документах подчеркивают; ниже заголовка оставляют одну свободную строку, выше – не менее одной свободной строки. Все записи производят в один ряд в нижней части строки, не допуская сливания текста с линиями, разграничивающими строки и графы.

Цифровой материал обычно оформляют в виде таблиц. Над правым верхним углом таблицы помещают надпись «Таблица...» с указанием ее порядкового номера. Если таблица имеет самостоятельное значение, ниже дают ее тематический заголовок. При ссылках слово «таблица» пишут сокращенно (например, табл. 1).

Сокращенно пишут слово «рисунок» при нумерации иллюстративного материала, например рис. 5 или рис. 1.20. Иллюстрации должны иметь тематические наименования и при необходимости - подрисуночный текст.

Номер однострочной формулы в круглых скобках помещают в конце строки, а многострочной – в конце последней ее строки. После формул ставят знак препинания, необходимый при построении фразы.

В состав эксплуатационной документации входят следующие документы: техническое описание (ТО), содержащее описание устройства и принципа действия изделия; инструкция по эксплуатации (ИЭ), в которой излагается минимум сведений по правилам эксплуатации, транспортированию, хранению и обслуживанию изделия; инструкция по техническому обслуживанию (ИО), содержащая порядок



проведения обслуживания (регламентных работ) изделия; инструкция по монтажу, пуску, регулировке и обкатке (ИМ), включающая в себя сведения о проводимых операциях на объекте эксплуатации; формуляр (ФО), паспорт (ПС), этикетка ОТ), определяющие основные параметры изделия и гарантии на него; ведомость запасных частей, инструмента и принадлежностей (ЗИ). устанавливающая номенклатуру, назначение и количество запасных частей, инструментов и материалов (ЗИП).

### **Правила выполнения чертежей и схем.**

Чертежи выполняются при проектировании шкафов электрооборудования, пультов операторов, мотор-редукторов, кинематических частей электроприводов, жгутов, кабелей, проводов и других изделий.

Наиболее употребительными являются чертеж общего вида, сборочный чертеж и чертеж детали.

Чертеж общего вида (ВО) содержит изображения сборочной единицы и другие данные, необходимые для понимания принципа работы и взаимодействия ее составных частей. Чертеж общего вида является основанием для разработки чертежей деталей и спецификации.

Чертеж общего вида относится к проектным документам и разрабатывается на стадиях технического предложения, эскизного и технического проектов. Требования к выполнению чертежа общего вида регламентируют ГОСТ 2.118–73, 2.119-73, 2.120-73.

Изделие, изображаемое на чертеже общего вида, чаще всего представляет собой сборочную единицу, составные части которой соединяются различными способами. Изображение и обозначение соединений в сборочной единице являются важной информацией и осуществляются по правилам, устанавливаемым соответствующими стандартами ЕСКД.

Сборочный чертеж (СБ) содержит упрощенное изображение сборочной единицы и другие данные, необходимые для ее изготовления (сборки). На сборочном чертеже составные части сборочной единицы снабжаются полками-выносками, на которых проставляются номера позиций этих составных частей в соответствии с их порядковыми номерами в спецификации.

Чертеж детали – это конструкторский документ, содержащий изображение детали и другие данные, необходимые для ее изготовления и контроля.

Чертежи деталей относятся к рабочей конструкторской документации. Разработка чертежей деталей изделия осуществляется после разработки чертежа общего вида. Кроме графического изображения детали на чертеже приводят все размеры, определяющие ее геометрическую форму, предельные отклонения размеров, допуски формы и расположения поверхностей, шероховатости поверхностей, сведения о материале, технические требования и др.

Чертежи жгутов, кабелей и проводов. Жгутом называется изделие, состоящее из двух и более изолированных проводников (проводов, кабелей), скрепляемых в пучок плетением, связыванием или каким-либо другим способом, и других составных частей (соединительных устройств, наконечников и т.п.).

Кабель (провод) также включает в себя другие составные части (например, соединительные устройства). Таким образом, чертежи жгута и кабеля следует рассматривать как сборочные и выполнять их по соответствующим правилам, учитывая требования ГОСТ 2.414–75. Чертеж жгута (кабеля) должен содержать: изображение изделия, дающее представление о расположении и связи его составных частей (проводов, разъемов, наконечников, бирок и т.п.); таблицы или схемы, поясняющие соединения составных частей (при необходимости); размеры и предельные отклонения длин всех участков жгута; номера позиций составных частей, входящих в жгут (кабель); технические требования к изготовлению и контролю жгута (кабеля). Основным конструкторским документом чертежа жгута является спецификация, выполняемая на отдельных листах формата А4 по правилам, установленным ГОСТ 2.108–68.

Стандарты ЕСКД устанавливают комплектность, требования и правила разработки и оформления схемной документации на изделия всех отраслей промышленности.

Схема – конструкторский документ, на котором показаны в виде условных изображений или обозначений составные части изделия и связи между ними. Элемент схемы – составная часть схемы, которая выполняет определенную функцию в изделии и не может быть разделена на части, имеющие самостоятельное назначение.

Устройство – совокупность элементов, представляющих собой единую конструкцию (блок, плату, шкаф, панель и т.п.).

Функциональная группа – совокупность элементов, выполняющих в изделии определенную функцию и не объединенных в единую

конструкцию. Функциональная часть – элемент, функциональная группа, а также устройство, выполняющее определенную функцию.

Схемная документация входит неотъемлемой частью в комплект конструкторских документов и предназначена для производства, эксплуатации и ремонта изделий. Комплект (номенклатура) схем на изделие устанавливается в зависимости от состава, сложности и особенностей изделия. Между схемами в одном комплекте должна быть установлена однозначная связь, позволяющая определить одни и те же элементы, связи или соединения на всех схемах этого комплекта.

Виды и типы схем и их коды устанавливает ГОСТ 2.701–84 (ЕСКД. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению).

Схемы структурные и функциональные предназначены для общего ознакомления с изделием и изучения общих принципов его работы. Эти схемы, разрабатываемые на этапах эскизного и технического проектирования, определяются сложностью изделия и необходимостью обеспечения исходными данными последующего этапа проектирования.

Схема принципиальная предназначена для определения полного состава изделия, изучения принципов его работы и расчета. Эта схема, служащая основанием для разработки конструкции и последующих схем, используется при наладке, регулировке, контроле, эксплуатации и ремонте изделия.

Схемы соединений, подключения и общая предназначены для представления сведений о соединениях составных частей изделий и изделия в целом. Эти схемы служат для разработки других конструкторских документов и в первую очередь чертежей, определяющих прокладку и способы крепления проводов, жгутов и кабелей в изделии, а также для осуществления присоединений при наладке, контроле, эксплуатации и ремонте изделия.

Схема расположения определяет относительное расположение составных частей изделия и при необходимости их соединений. Эта схема используется при разработке других документов, а также при изготовлении и эксплуатации изделий.

Перечисленные схемы разрабатывают на этапе рабочего проектирования, и их номенклатура определяется необходимостью обеспечения изготовления, контроля и эксплуатации изделия. Схемы выполняются на одном и более листах бумаги основного формата. При выполнении на нескольких листах каждый лист оформляется как продолжение предыдущего или как самостоятельный документ в целях

получения совокупности схем одного и того же вида и типа. В последнем случае допускается указывать в наименовании схемы название функциональной цепи или группы. Каждой такой схеме присваивают обозначения в соответствии с ГОСТ 2.201–80 как самостоятельному конструкторскому документу (КД), а начиная со второй схемы к коду добавляют через точку порядковые номера (например, АБВГ.Х...ХЭЗ; АБВГ.Х...ХЭЗ.1; АБВГ.Х...ХЭЗ.2).

К схемной документации относят также таблицы и перечни элементов, если они выпускаются самостоятельными конструкторскими документами. Эти документы имеют наименование и обозначение той схемы, к которой они относятся, с отличительными буквенными кодами Т, если это таблица, и П, если это перечень элементов. Например, Таблица соединений к электрической схеме соединений – АБВГ.ХХХХХХ.ХХХТЭ4 и Перечень элементов к электрической принципиальной схеме – АБВГ.ХХХХХХ.ХХХПЭЗ.

### **Текстовая информация на чертежах и схемах.**

Текстовая информация на чертежах включает в себя технические требования и технические характеристики. Располагается текстовая часть над основной надписью. Между текстовой частью и основной надписью не должно быть изображений, таблиц и т.д. При изложении технических требований на чертеже группируют однородные и близкие по характеру сведения по возможности в следующем порядке:

- требования к материалу, заготовке, технической обработке и свойствам материала готовой детали (электрические, магнитные, диэлектрические, твердость и т.д.);

- размеры, предельные отклонения размеров, формы и взаимного расположения поверхностей, массы и т.п., не указанные на графическом изображении: требования к качеству поверхностей, указания об их отделке, покрытии, зазоры, расположение отдельных элементов конструкции;

- требования к настройке и регулированию изделия;

- требования к качеству изделий: бесшумность, виброустойчивость и т.д.: условия и методы испытаний; правила транспортирования и хранения; особые условия эксплуатации; ссылки на другие документы.

Пункты технических требований должны иметь сквозную нумерацию. Каждый пункт записывают с новой строки.

Заголовок «Технические требования» пишут только в том случае, если на чертеже также приведены технические характеристики изделия. Заголовок не подчеркивают.

Технические характеристики размещают отдельно от технических требований на свободном поле чертежа под заголовком «Технические характеристики». Заголовок не подчеркивается.

При выполнении чертежа на двух и более листах текстовую часть помещают только на первом листе независимо от того, на каких листах находятся изображения, к которым относятся технические требования или технические характеристики.

Надписи, относящиеся непосредственно к изображению (наименования составных частей изделия), могут содержать в себе не более двух строк, располагаемых на полке линии-выноски или под ней.

Текстовая информация на схемах может быть представлена в виде сплошного текста (технические требования, пояснения) или таблиц (перечень элементов, обозначения входных и выходных цепей, таблицы соединений и др.).

На схеме могут быть указаны различные данные в виде текста и символов. Эти данные в зависимости от содержания и назначения располагают:

- рядом с графическим изображением (буквенно-цифровые обозначения, обозначения сигналов, формы импульсов, технические параметры и др.);
- внутри графических изображений (наименования устройств, функциональных групп, обозначения мощности резисторов и др.);
- рядом с линиями (обозначения линий связи, адреса, квалифицирующие символы); на свободном поле схемы.

Текстовые данные, относящиеся к линиям, располагают параллельно горизонтальным участкам этих линий. При большой плотности схемы допускается вертикальное расположение данных.

Буквенно-цифровые обозначения элементов и функциональных групп должны обеспечивать взаимосвязь документов в комплекте документации на объект и быть одинаковыми на всех документах комплекта.

Позиционные обозначения образуются с применением прописных букв латинского алфавита, арабских цифр и знаков (квалифицирующих символов) в соответствии с ГОСТ 2.710–81. Буквенно-цифровое обозначение состоит из обязательной и дополнительных частей. Обязательная часть включает в себя буквенный код и номер

элемента. Буквенный код устанавливает ГОСТ 2.710– 81, а номер элемента определяется местонахождением этого элемента на схеме и присваивается по порядку в направлении сверху вниз и слева направо. Условное буквенно-цифровое обозначение записывается в виде последовательности букв, цифр и знаков в одну строку без пробелов, и их число в обозначении не устанавливается.

Порядок записи составного обозначения определяется порядком вхождения частей в изделие, например запись  $\neq T1 = A2 - R5$  означает, что резистор R5 входит в состав устройства A2, которое в свою очередь входит в функциональную группу T1. Перед обозначением основной части допускается не указывать квалифицирующий символ, если это не приведет к неправильному пониманию этого обозначения (например, K1:2 – второй контакт реле K1). Обозначение на схеме наносят над графическим изображением устройства или элемента либо справа от него.

Данные об элементах должны быть записаны в перечень элементов, который оформляют в виде таблицы и помещают на первом листе схемы или выполняют в виде самостоятельного документа. Если перечень элементов помещают на первом листе схемы, то его располагают над основной надписью на расстоянии не менее 12 мм. Продолжение перечня помещают слева от основной надписи, повторяя головку таблицы.

**Выполнение программных документов.** ГОСТ 19.106–78 устанавливает правила выполнения программных документов для промышленных компьютеров, комплексов и систем независимо от их назначения и области применения.

Программные документы оформляют на листах формата A4. Кроме того, допустимо оформление документов на листах формата A3, а при изготовлении документа типографским способом возможно использование листов типографических форматов.

При необходимости допускается делить программный документ на части. Деление на части осуществляется на уровне не ниже раздела. Каждую часть начертания этих схем используется набор символов, определяемых ГОСТ 19.701– 90. Наиболее часто употребляемые символы приведены в табл. 6.1.

Код страны-разработчика и код организации (предприятия)-разработчика присваивают в установленном порядке, номер издания программы или номер редакции документа – в порядке возрастания

от 01 до 99, код вида документа – в соответствии с требованиями ГОСТ19.101–87.

Для облегчения вычерчивания и нахождения на схеме символов рекомендуется поле листа разбивать на зоны. Размеры зон устанавливаются с учетом минимальных размеров символов, изображенных на данном листе. Допускается один символ размещать в двух и более зонах, если его размер превышает размер зоны.

Координаты зоны по горизонтали проставляют арабскими цифрами слева направо в верхней части листа, а по вертикали – прописными буквами латинского алфавита сверху вниз в левой части листа.

Таблица 6.1

Название символа	Обозначение	Пояснение
Процесс		Вычислительное действие или последовательность вычислительных действий
Решение		Проверка условий
Модификация		Начало цикла
Предопределенный процесс		Вычисления стандартной подпрограммы
Документ		Вывод, печать результатов на бумаге
Ввод-вывод		Ввод-вывод данных в общем виде
Соединитель		Разрыв линий потока
Пуск, останов		Начало, конец, останов, вход и выход в подпрограммах
Комментарий		Пояснения, содержание подпрограмм, формулы

Координаты зон в виде сочетаний букв и цифр присваивают символам, вписанным в поля этих зон (например, А1, А2, А3, В1, В2, В3 и т.д.). Расположение символов на схеме должно соответствовать требованиям ГОСТ 19.701–90. Исключения составляют обязательные символы Линия потока, Канал связи, Комментарий и рекомендуемые символы Межстраничный соединитель, Транспортирование носителей, Материальный поток.

Линии потока должны быть параллельны линиям внешней рамки схемы. Направления линий потока сверху вниз и слева направо принимают за основные и, если линии потока не имеют изломов, стрелками их можно не обозначать. В остальных случаях направления линий потока обозначаются стрелками обязательно. Расстояния между параллельными линиями потоков должно быть не менее 3 мм, между остальными символами схемы – не менее 5 мм.

Записи внутри символа должны быть представлены таким образом, чтобы их можно было читать слева направо и сверху вниз, независимо от направления потока. В схеме символу может быть присвоен идентификатор, который должен помещаться слева над символом (например, для ссылки в другие части документации). В схемах допускается краткая информация о символе (описание, уточнение или другие перекрестные ссылки для более полного понимания функции данной части системы). Описание символа помещается справа над ним.

## **ТЕМА 7. СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ**

### **Схемы электрические структурные и функциональные.**

На структурной схеме все основные функциональные части изделия изображаются в виде прямоугольников. Допускается изображать элементы, устройства и функциональные части изделия в виде УГО, установленных для функциональных и принципиальных схем. Основные составные части изделия изображаются, как правило, без учета их действительного расположения, однако графическое построение схемы должно наглядно показывать взаимодействие его функциональных частей.

На схеме должны быть показаны электрические и при необходимости механические взаимосвязи, существующие между функциональными частями. На линиях взаимосвязи можно стрелками показывать направления хода процессов, происходящих в изделии.



Для каждой функциональной части изделия должно быть указано наименование, но можно также указать тип части или обозначение документа, на основании которого этот элемент применен. Все эти сведения, как правило, вписывают внутрь прямоугольников. При большом числе функциональных частей указанные сведения допускается помещать в таблицах, при этом функциональные части следует нумеровать.

На схемах допускается помещать информацию о конструктивном расположении функциональных частей, устройств, элементов изделия, а также указывать, например, значения мощностей, токов, математические зависимости и др. Эти пояснения не должны перегружать схему.

Под структурой управления понимается совокупность частей автоматической системы, на которые она может быть разделена по определенному признаку, и пути передачи воздействий между ними. Хотя исходные данные, структура управления и ее иерархии с той или иной степенью детализации оговариваются заказчиком при выдаче задания на проектирование. Полная структура управления должна разрабатываться инжиниринговой фирмой. Выбор структуры управления объектом автоматизации определяет эффективность работы этого объекта, относительную стоимость системы управления, ее надежность и ремонтпригодность.

В структурную схему входят объект, электроприводы, система автоматизации, информационные и управляющие средства.

Стрелками показывают основные потоки передачи информации от объекта и управляющие воздействия от системы управления.

На структурных схемах также показывают: технологические подразделения (отделения, участки цеха); машинные залы, в которых размещается электрооборудование; пункты контроля и управления (щиты, операторские пункты и т.д.); технические средства, обеспечивающие связь всех устройств контроля и управления.

Функциональные схемы предназначены для разъяснения процессов, происходящих в изделии в целом, а также в отдельных его функциональных частях. Следовательно, для одного изделия может быть выпущено несколько функциональных схем.

На функциональных схемах должны быть изображены все функциональные части, функциональные группы, устройства, элементы, необходимые для разъяснения происходящих в изделии процессов, и показаны связи между ними. Функциональные части, уст-

ройства, элементы изображают в виде УГО. установленных стандартами ЕСКД, или прямоугольников.

Функциональные части и связи изображают независимо от их действительного расположения в изделии. Функциональный процесс, как правило, представляют слева направо и (или) сверху вниз. Допускается на этих схемах изображать пункты измерения и (или) контроля, приводить необходимые пояснения, диаграммы, таблицы и параметры физических величин в характерных точках. В стандарте установлены правила присвоения обозначений функциональным группам, устройствам, элементам.

Функциональные схемы электроприводов и систем автоматизации определяют функционально-блочную структуру отдельных узлов исполнительных механизмов, силовой части приводов, управления и регулирования, автоматического контроля, сигнализации, а также оснащение объекта управления приборами и средствами автоматизации.

При разработке схем решают следующие задачи: получение информации о работе электроприводов и технологического оборудования, непосредственное воздействие на технологический процесс в целях управления им, регулирование и стабилизация технологических переменных, контроль и регистрация технологических переменных процесса и состояния оборудования.

Результатом разработки функциональных схем систем автоматизации является: выбор приводов исполнительных механизмов рабочих машин, управляемых непосредственно или дистанционно; выбор основных технических средств автоматизации (ТСА); выбор методов измерения технологических переменных: размещение ТСА на щитах, пультах, технологическом оборудовании.

Функциональные схемы электропривода разъясняют процессы, протекающие в отдельных функциональных частях или электроприводе в целом. Они используются для изучения принципов работы элементов и систем, а также при их наладке, регулировке, контроле и ремонте. На функциональной схеме изображаются функциональные части (элементы) электропривода (или отдельные устройства и функциональные группы), участвующие в процессе, иллюстрируемом схемой, связи между этими частями или конкретные электрические, магнитные и механические соединения (провода, обмотки, валы).

**Схемы электрические принципиальные. Особенности выполнения принципиальных схем.**

Принципиальная схема определяет полный состав элементов и устройств в изделии, а также все связи, необходимые для осуществления электрических процессов и их контроля, и дает детальное представление о принципах работы изделия. На принципиальной схеме изображают разъемы, клеммники и другие элементы, которыми заканчиваются входные и выходные цепи, а так же показывают соединительные и монтажные элементы, устанавливаемые по конструктивным соображениям. Элементы, устройства, цепи размещают, как правило, на параллельных горизонтальных и вертикальных прямых линиях без учета их действительного расположения, обычно сверху вниз и слева направо.

На принципиальной схеме могут быть изображены в виде УГО или упрощенных очертаний отдельные элементы кинематики, гидравлики и другие, функционально связанные в изделии с электрическими элементами. Разрешается также изображать отдельные элементы, не входящие в изделие, на которое составляется схема, но необходимые для разъяснения принципов его работы. Размещение УГО элементов и устройств должно определяться удобством чтения схемы, а также необходимостью изображения электрических связей линиями минимальной длины с минимальным числом пересечений.

На принципиальных схемах допускается выделять штрихпунктирной линией группы элементов, совместно выполняющих в изделии определенную функцию, группы элементов, конструктивно объединенные и устройства, устанавливаемые на объекте. При повторении одинаковых элементов и устройств разрешается один раз изобразить их полностью, а остальные – упрощенно в виде прямоугольников. Элементы, устройства можно изображать совмещенным и разнесенным способами. Например, разнесенными (в разных местах схемы) могут быть изображены модули программируемых контроллеров.

Если в схеме несколько элементов подключены к цепям одинаковой полярности с равным потенциалом, допускается линии электрической связи не проводить, а подключение элементов показывать простановкой полярности.

Все изображенные на схеме элементы должны иметь буквенно-цифровое позиционное обозначение, буквы и цифры которого должны выполняться шрифтом одного размера. Позиционное обозначение элемента наносят над УГО или справа от него. Рядом с УГО элемента допускается указывать номинальные значения его основных параметров или сокращенное наименование. Допускается помещать пояс-

няющие надписи и указывать в характерных точках значения токов, напряжений, уровни сигналов, а также характеристики входных и выходных цепей изделия (частоту, напряжение, ток и др.) и параметры, подлежащие измерению в контрольных точках схемы. При невозможности указания характеристик или параметров следует давать наименования цепей или контролируемых величин.

Характеристики входных и выходных цепей, а также адреса их внешних подключений рекомендуется давать в виде таблиц, помещая вместо УГО входных и выходных элементов.

При проектировании сложных устройств, состоящих из нескольких конструктивно обособленных функциональных частей, рекомендуется для каждой из этих частей выполнять отдельную принципиальную электрическую схему.

При выполнении схемы на изделие, в состав которого входят устройства, имеющие собственные принципиальные схемы, эти устройства рассматривают как элементы схемы изделия.

Устройства на принципиальной схеме изображают следующим образом:

- в виде прямоугольника, внутри которого помещают таблицы с характеристиками или наименованиями входных и выходных цепей, соединителей, клеммных плат, или с приведенными около них характеристиками цепей. При изображении в виде прямоугольников типовых унифицированных устройств допускается указывать в них только обозначения контактов;

- в виде УГО, внутри которых полностью, частично или упрощенно изображены их принципиальные или функциональные электрические схемы. Элементы этих устройств в перечень элементов не записывают. Внутри или над УГО в этом случае рекомендуется представлять полное или сокращенное наименование устройства.

Принципиальные электрические схемы сложных ЭП и СА допускается выполнять в виде несколько схем, выделяя в отдельные схемы силовые блоки, блоки управления, контроля и сигнализации. При этом необходимо учитывать следующее:

- отдельные элементы могут повторяться на нескольких схемах;
- присвоение позиционных обозначений должно быть сквозным по всему изделию;
- каждая схема должна содержать перечень элементов, в который вписывают элементы, имеющие позиционные обозначения, при-

своенные на данной схеме и сохраняемые при повторе этих элементов на других схемах;

– около повторяемых УГО элементов в дополнение к позиционным обозначениям или вместо них допускается указывать сокращенное наименование элемента или значения его параметров.

В стандарте подробно рассмотрены присвоение и построение позиционных обозначений элементов, устройств, функциональных групп, а также способы указания характеристик входных и выходных цепей изделия.

На схемах источники питания могут быть представлены линиями, квалифицирующими символами (+ –) либо комбинацией обоих способов. Изображения проводников линий электропитания трехфазной системы предпочтительно показывать в условной последовательности фаз (А, В, С или L1, L2, L3) начиная с верхней или левой части схемы. Нейтральные проводники (N) и проводники заземления (PE) следует показывать ниже или справа от фазовых проводников.

Одинаковые элементы в цепях, изображенные вертикально или горизонтально, следует выравнивать соответственно в горизонтальном или вертикальном направлениях. Соединения между функционально связанными элементами должны быть короткими, т.е. эта связь должна быть очевидной. Параллельные участки одинаковой важности рекомендуется располагать симметрично по отношению к главному участку цепи.

Принципиальные электрические схемы определяют полный состав технических средств ЭП и СА, действие которых обеспечивает решение задач управления, регулирования, защиты, измерения, сигнализации и визуализации, и служат основанием для разработки других документов проекта: схем соединений и подключения, монтажных таблиц щитов, пультов и др. Эти схемы служат для изучения принципа действия системы. Они необходимы при производстве наладочных работ и в процессе эксплуатации оборудования. Принципиальная схема представляет собой сочетание элементарных электрических цепей, выполняющих в заданной последовательности ряд стандартных операций.

Приведем последовательность действий при разработке принципиальных схем.

1. На основании функциональной схемы составляются технические требования, предъявляемые к принципиальной схеме.

2. В соответствии с техническими требованиями устанавливаются условия и последовательность действий принципиальной схемы.

3. Каждое из заданных условий действия принципиальной схемы изображается в виде элементарной схемы.

4. Элементарные схемы объединяются в общую схему.

5. Производятся расчет параметров и выбор технических средств ЭП и СА.

6. Принципиальная схема корректируется в соответствии с возможностями выбранных средств.

7. Принципиальная схема проверяется на возможность выполнения всех требований ТЗ.

На принципиальной схеме электропривода изображают все элементы его устройств и их функциональных частей, необходимые для осуществления и контроля заданных динамических и статических процессов, и все электрические, электромагнитные и некоторые механические связи между ними, а также элементы, которыми заканчиваются входные и выходные цепи (выводы, зажимы, соединители).

Как правило, линии связи показывают полностью. Однако в отдельных случаях линии, пересекающие значительную часть изображений, допускается прерывать и заканчивать стрелками. При этом их обозначают соответствующими метками и при необходимости в скобках указывают место нахождения продолжения (наименование элемента или устройства).

На принципиальных схемах допускается прямоугольником или фигурой неправильной формы, выполняемыми контурной (штрихпунктирной) линией, выделять устройства, функциональные группы и другие части схемы.

Для удобства чтения принципиальных схем и создания по ним схем соединений и подключений участки цепей принципиальной схемы нумеруются (маркируются) согласно ГОСТ 2.709–89.

Участки цепи, разделенные контактами аппаратов, контакторов, машин, управляемых преобразователей и другими элементами должны иметь разную маркировку. Участки цепи, проходящие через разборные и неразборные контактные соединения, как правило, имеют одинаковую маркировку, хотя в этом случае разрешается ее делать разной. Цепи в схемах маркируют независимо от нумерации входных и выходных элементов (зажимов) машин, аппаратов, приборов. Маркировку выполняют арабскими цифрами и буквами одного размера.

Силовые цепи переменного тока маркируют соответственно буквами фазы и нуля и последовательными цифрами после них. Участки силовых цепей постоянного тока положительной полярности маркируют нечетными цифрами, а отрицательной – четными.

Цепи управления, защиты и сигнализации маркируют последовательными цифрами. Допускается цепи управления постоянного тока и однофазного переменного тока маркировать либо четными, либо нечетными цифрами.

Рекомендуется все цепи маркировать четными и нечетными числами, начиная с 1, 100, 200, 300 и т.д., в целях выделения их функционального назначения, например силовые, управления, защиты, сигнализации.

Последовательность маркировки принимают от ввода источника питания к потребителю, а разветвляющиеся участки цепи нумеруют сверху вниз и слева направо. На схеме маркировку проставляют около концов или в середине участка цепи: при горизонтальном расположении цепей – над изображением цепи, при вертикальном – слева от изображения цепи. В технически обоснованных случаях допускается проставлять маркировку под изображением цепи. (Обычно справа от цепи и под ней проставляется заводская маркировка выводов устройств или изделий).

### **Схемы электрические соединения и подключения.**

Схема соединений показывает соединения составных частей изделия между собой и определяет провода, жгуты, кабели, которыми они осуществляются, а также места их присоединения и ввода (зажимы, соединители). На схеме соединений должны быть изображены все устройства и элементы, входящие в состав изделия, их входные и выходные элементы (разъемы, платы, зажимы и т.п.), а также соединения между устройствами и элементами.

Элементы и устройства на схеме соединений изображают в виде их внешних очертаний, прямоугольников или условных графических обозначений, а входные и выходные элементы – в виде условных графических обозначений или таблиц. Вводные элементы, через которые проходят провода, жгуты и кабели, изображают в виде условных графических обозначений, установленных стандартами ЕСКД.

Расположение графических обозначений устройств и элементов на схеме соединений должно примерно соответствовать их действительному размещению в изделии, а расположение входных и выход-

ных элементов внутри устройства – действительному размещению их в устройстве. При этом около графических обозначений устройств указывают позиционные обозначения, присвоенные им на принципиальной схеме. Допускается также указывать наименование, тип, основные параметры элементов и устройств.

На схеме соединений следует указывать обозначения выводов (контактов) элементов и устройств, нанесенные на изделие или установленные в документации на них. При изображении разъемов допускается применять условные графические обозначения, не показывающие отдельные контакты, при этом сведения о подключении контактов приводят в таблице, размещаемой около разъема или на свободном поле схемы.

При использовании многоконтактных элементов допускается указывать сведения о присоединении проводов и жил кабеля к контактам одним из следующих способов:

многоконтактное изделие изображают в виде прямоугольника, внутри которого условно показывают контакты и провода или жилы кабеля, при этом концы линий направляют в сторону соответствующего жгута или кабеля и обозначают; около изображения многоконтактного устройства помещают таблицу с указанием подключения контактов.

Провода, группы проводов, жгуты и кабели показывают на схеме соединений отдельными линиями. Для упрощения допускается сливать отдельные провода, идущие на схеме в одном направлении, в общую линию, однако при подходе к контактам каждый провод должен быть выделен отдельной линией. Провода, жгуты и кабели обозначают порядковыми номерами в пределах изделия отдельно для каждого вида проводников.

Если на принципиальной схеме электрическим цепям были присвоены обозначения, то на схеме соединений всем проводам и жилам кабелей должны быть присвоены те же обозначения, при этом для удобства чтения схемы рекомендуется нумеровать по порядку отдельные участки в пределах цепи, отделяя их от номера самой цепи дефисом.

Допускается линии, изображающие провода, группы проводов, жгуты и кабели, не проводить или обрывать около мест присоединения, при этом около обрыва линии связи и места присоединения следует указывать адреса присоединений.



На схеме соединений должны быть указаны: для проводов – марка, площадь сечения, при необходимости расцветка; для кабелей – марка, число и площадь сечения жил, а также число занятых жил, которое размещают в прямоугольнике справа от данных кабеля. Если данные о проводах и кабелях указывают около изображающих их линий, допускается обозначения этим проводам и кабелям не присваивать. Одинаковые данные (марки, сечения) для всех или большинства проводов рекомендуется указывать на поле схемы.

Сведения о проводах и присоединениях указывают в таблице, размещаемой на поле первого листа схемы, как правило, над основной надписью на расстоянии не менее 12 мм от нее. Продолжение этой таблицы при необходимости помещают слева от основной надписи, повторяя головку таблицы. Такая таблица может выполняться в виде самостоятельного документа на формате А4 с основной надписью по ГОСТ 2.104–68 (формы 2 и 2а). При этом ей присваивают наименование «Таблица соединений». В таблице соединений указывают:

- в графе Обозначение провода – обозначение провода, жилы кабеля;
- в графах Откуда идет, Куда поступает – условные буквенно-цифровые обозначения соединяемых элементов или устройств;
- в графе Соединения – условные буквенно-цифровые обозначения соединяемых элементов или устройств, разделяя их запятой;
- в графе Данные провода для провода – марку, сечение и при необходимости расцветку, а для кабеля – марку, сечение и число жил;
- в графе Примечание – дополнительные данные.

При выполнении соединений жгутами проводов или жилами кабелей перед записью проводов и жил в таблицу соединений дают заголовок, например, Жгут 1 или Жгут АВГД.ХХХХХХ.085 и размещают их в порядке возрастания присвоенных номеров.

При выполнении соединений отдельными проводами, жгутами проводов и кабелями в таблицу соединений записывают сначала отдельные провода (без заголовка), а затем с соответствующими заголовками жгуты проводов и кабели. При разработке схем соединений на отдельных листах выполняют таблицы клеммников.

На поле схемы соединений над основной надписью допускается помещать необходимые технические требования, например о недопустимости совместной прокладки некоторых проводов, жгутов, ка-

белей и значения минимально допустимых расстояний между ними, сведения о специфике прокладки и др.

### **Схемы электрические подключения.**

Схема подключения показывает внешние подключения изделия. На этой схеме должны быть изображены изделие, его входные и выходные элементы (разъемы, зажимы и т.п.) и подводимые к ним концы проводов и кабелей внешнего монтажа, а также указаны данные о подключении изделия (характеристики внешних цепей, адреса).

Изделие изображают в виде прямоугольника или его внешних очертаний, а входные и выходные элементы – в виде условных графических обозначений или внешних очертаний. Размещение изображений входных и выходных элементов относительно изделия на схеме должно примерно соответствовать их действительному размещению в изделии. Всем этим элементам присваивают буквенно-цифровые позиционные обозначения согласно принципиальной схеме или схеме соединений. Допускается также указывать наименование и тип разъемов, к которым присоединяется внешний монтаж.

На всех элементах, изображенных на схеме подключения, должна быть дана маркировка, предусмотренная в конструкции этих элементов.

Сведения о внешнем подключении могут быть указаны в таблице подключения, расположенной на поле схемы над основной надписью. Форма таблицы произвольная, однако в ней должны быть указаны характеристики внешних цепей и адреса.

## **ТЕМА 8. ТЕКСТОВЫЕ ДОКУМЕНТЫ В СОСТАВЕ КОНСТРУКТОРСКИХ ДОКУМЕНТОВ**

### **Виды текстовых документов.**

Текстовые документы содержат информацию в основном в виде текста, но в них также могут входить иллюстрации, т.е. чертежи, схемы, графики и т.д. Часть информации может быть представлена в виде формул, уравнений, алгоритмов, программ и др. Цифровой материал, как правило, оформляют в виде таблиц.

Информация в текстовом конструкторском документе может быть представлена в виде сплошного текста – это технические условия (ТУ), пояснительные записки (ПЗ), рабочие расчеты (РР), программы и методики проведения испытаний (ПМ), инструкции (И) и

т.д.. а также в виде текста, разбитого на графы, – спецификации, перечни, ведомости, таблицы и т.д.

Построение, выполнение и оформление пояснительной записки, расчетов, программы и методики испытаний устанавливает ГОСТ 2.106–68.

Схемы, таблицы и чертежи допускается выполнять на листах любого формата по ГОСТ 2.301–68 с применением основной надписи и дополнительных граф к ней по ГОСТ 2.104–68. Общие требования к текстовым документам определяет ГОСТ 2.105–95.

### **Пояснительная записка и отчет о научно-исследовательской работе.**

Пояснительная записка должна включать в себя следующие разделы: введение; назначение и область применения проектируемого изделия; технические характеристики; описание и обоснование выбранной конструкции; расчеты, подтверждающие работоспособность и надежность конструкции; описание организации работ с применением разрабатываемого изделия; ожидаемые технико-экономические показатели. Допускается объединять, исключать, а также вводить в ПЗ новые разделы.

Порядок изложения расчетов определяется характером рассчитываемых величин. В общем случае расчеты должны содержать эскиз или схему рассчитываемого изделия, задачу расчета, исходные данные для расчета, условия расчета, сам расчет и заключение.

Программа и методика испытаний должны предусматривать следующие проверки: соответствия изделия чертежам, техническим требованиям, паспортным данным и нормам точности; показателей качества и надежности изделия; обеспечения стабильности работы изделия; удобства обслуживания и проведения ремонта изделия; комплектности изделия; соответствия изделия требованиям техники безопасности.

Описание методов испытаний изделий по отдельным показателям рекомендуется располагать в той же последовательности, в которой эти показатели расположены в технических требованиях. В методике испытаний необходимо также предусмотреть продолжительность и режим испытаний, а также необходимые замеры величин, схемы и средства контроля, значения предельных отклонений.

К текстовым документам относится также отчет о научно-исследовательской работе, являющийся научно-техническим доку-

ментом. Общие требования, структуру и правила оформления такого отчета устанавливает ГОСТ 7.32–81.

К отчету предъявляются следующие требования: четкость и логическая последовательность изложения материала, убедительность аргументации, краткость и точность формулировок, исключая возможность неоднозначного толкования, конкретность изложения результатов работы, обоснованность рекомендаций и предложений.

Отчет должен включать в себя титульный лист, список исполнителей, реферат, содержание, перечень условных обозначений, символов, единиц и терминов, введение, основную часть, заключение, список использованных источников, приложения.

Требования, установленные ГОСТ 7.32–81, распространяются на отчеты о фундаментальных, поисковых и прикладных научно-исследовательских работах. Первым листом текстового документа является титульный лист, который используется для размещения утверждающих и согласующих подписей. На титульном листе приводятся наименование организации, разработавшей документ, гриф согласования и утверждения, наименования изделия и документа, обозначение документа, подписи разработчиков, год издания документа.

Текст документа при необходимости может быть разделен на разделы и подразделы. При большом объеме допускается разбивать документ на части (книги), каждую из которых комплектуют отдельно. Разделы должны иметь порядковые номера в пределах всего документа или его части.

Подразделы должны быть пронумерованы в пределах каждого раздела. Номер подраздела включает в себя номер раздела, отделяемый точкой. В конце номера подраздела также ставят точку.

Разделы и подразделы могут состоять из одного или нескольких пунктов, которые при необходимости разбивают на подпункты с порядковой нумерацией в пределах каждого пункта. Наименования разделов записывают в виде заголовков (по центру текста) прописными буквами, наименования подразделов – в виде заголовков с прописной буквы.

### **Спецификация.**

Спецификация является основным конструкторским документом для сборочной единицы, комплекса и комплекта (ГОСТ 2.102–68). Она представляет собой перечень составных частей и конструкторских элементов.

торских документов для конкретного изделия. Необходимость спецификации как самостоятельного конструкторского документа обусловлена потребностями изготовления, комплектования конструкторских документов, планирования запуска изделий в производство.

Спецификацию выполняют на листах формата А4. Форму и порядок заполнения спецификации устанавливает ГОСТ 2.108–68.

В спецификацию вносят составные части, входящие в изделие, а также конструкторские документы, относящиеся к изделию в целом и его составным частям.

В общем случае спецификация состоит из разделов, располагаемых в следующем порядке: документация, комплексы, сборочные единицы, детали, стандартные изделия, прочие изделия, материалы, комплекты. В зависимости от состава изделия некоторые разделы в спецификации могут отсутствовать.

В рабочей документации систем автоматизации и АСУ ТП выполняют спецификацию оборудования (СО1) и спецификацию щитов и пультов (СО2). Форма, разделы и основная надпись спецификации установлены ГОСТ 21.110-82.

### **Перечни и ведомости.**

Перечень элементов в виде самостоятельного документа выполняют на листах формата А4. Основную надпись и дополнительные графы к перечню устанавливает ГОСТ 2.104–68. Если перечень элементов выполняется в виде самостоятельного документа, ему присваивают код. Под основной надписью указывают наименования изделия и конструкторского документа.

Перечень элементов может быть выполнен также на электрической принципиальной схеме.

В графах перечня элементов помещают следующие данные:

- в графе Поз. обозначение – позиционное буквенно-цифровое обозначение элемента, устройства или функциональной группы;
- в графе Наименование – наименование элемента или устройства, их тип и обозначение, сведения о документе, на основании которого этот элемент или устройство применяются;
- в графе Примечание – технические данные, не содержащиеся в обозначении элемента, производитель.

Связь перечня элементов с графическими обозначениями на схеме осуществляется через позиционные обозначения. Элементы в перечень записывают по буквенным позиционным обозначениям

группами. В пределах каждой группы с одинаковыми буквенными позиционными обозначениями элементы располагают по возрастанию порядковых номеров. Допускается оставлять несколько незаполненных строк между группами элементов. Элементы одного типа с одинаковыми электрическими параметрами записывают в перечень в одну строку, при этом в графе «Кол.» указывают общее количество одинаковых элементов.

Ведомости подразделяются на два вида: ведомости проектов и ведомости потребности в материалах. Форму таблицы ведомостей проекта устанавливает ГОСТ 2.106–68.

Ведомость потребности в материалах (ВМ) предназначена для определения номенклатуры и количества материалов, необходимых для производства работ по монтажу технических средств автоматизации, предусмотренных в рабочей документации систем автоматизации и АСУ ТП.

Форма ВМ установлена ГОСТ 21.109–80. В нее включают все материалы, необходимые для монтажа электрических и трубных проводов, щитов и пультов, приборов и средств автоматизации, а также материалы, необходимые для изготовления изделий.

## **ТЕМА 9. КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ МАШИН**

### **Компьютерные средства для решения задач исследования и оптимизации.**

В инженерной практике при проектировании электромеханических комплексов (ЭК), а также при автоматизированном выборе наилучших проектных решений, широко применяются компьютерные методы исследования и синтеза. Эти методы позволяют повысить эффективность решений и сократить сроки и затраты на ввод ЭК в промышленную эксплуатацию.

Компьютерные исследования электромеханического комплекса выполняются по его модели, под которой понимается формализованное описание объекта, системы объектов, процесса или явления, выполненное посредством математических соотношений, набора чисел и (или) текстов, графиков, таблиц, словесных формул и т. п. В зависимости от поставленной задачи, способа создания и предметной области различают модели математические, физические и информаци-

онные. Однако часто встречаются и специальные типы моделей: эвристическая, логическая, концептуальная и т.д.

Сложность математического описания любого ЭК зависит: от необходимости одновременного рассмотрения всей совокупности факторов, отражающих свойства объекта управления, описания информационных систем и возмущений, точности движения электроприводов сепаратных систем, количества взаимосвязей.

В процессе математического моделирования модель может уточняться, усложняться или упрощаться.

Программа математического моделирования строится по модульно-структурному принципу с четкой унификацией правил оформления подпрограмм и их взаимного сопряжения (интерфейса) по управлению и информации.

Структурный подход к программированию позволяет произвести декомпозицию разрабатываемой программы на ряд более простых составных частей (модулей), которые могут проектироваться автономно.

При разработке программных модулей следует стремиться к тому, чтобы наличие предварительных знаний об их внутренней структуре не являлось обязательным для сборки больших программ.

Желательно обеспечить максимальную независимость программных модулей, что достигается отказом от использования общих переменных, а также правильным расположением операций ввода-вывода.

Современные электромеханические системы характеризуются большим числом взаимосвязанных входных и выходных параметров. В математическом описании динамика электромеханических систем представляется системой дифференциальных и алгебраических уравнений.

С появлением вычислительной техники новых поколений и совершенствованием методов ее использования наметился новый системный подход к организации процесса проектирования на ПК, заключающийся в создании крупных программных комплексов, построенных по модульному принципу, с универсальными информационными и управляющими связями между модулями. При решении задач данного класса используются единые информационные массивы, организованные в банки данных.

Для решения задач исследования и оптимизации используются различные программные продукты: специализированные пакеты,

библиотеки программ, математические системы программирования. Хорошо разработаны методики и алгоритмы, позволяющие исследовать режимы работы сложных электромеханических комплексов, анализировать их качество, рассчитывать частотные характеристики и импульсные переходные функции, исследовать динамику сложных систем, содержащих элементы с нелинейными характеристиками, рассчитывать оптимальные процессы при наличии ограничений, исследовать динамику стохастических систем и т.д.

При выборе того или иного программного продукта необходимо учитывать:

- вид математического описания исследуемой электромеханической системы;
- особенности представления данных модели;
- порядок дифференциальных уравнений, порядок и вид матрицы (симметричная, избыточная, вырожденная и т.д.) и количество структурных элементов графа, используемых для математического описания электромеханической системы;
- вид представления результатов расчета;
- число и вид нелинейных характеристик, описывающих управляющие и возмущающие воздействия;
- возможность гибкого изменения математической модели.

На этапе проектирования электромеханической системы возможные решения обычно оцениваются на основании интуиции и предыдущего опыта.

Однако в настоящее время, как правило, требуется инструментарий, позволяющий стандартизировать процесс принятия решений.

Таким образом, последовательное применение известных пакетов программ, решающих отдельные задачи, позволяет получить требуемый результат. Однако такой подход не всегда удобен, так как увеличивается время исследования и требуется согласование формата и вида представления данных.

Для решения задач исследования и синтеза систем автоматизированных электроприводов применяют следующие программные средства: MATLAB (MathWorks, Inc); GPSS (компания Minuteman Software - США); SCILAB, MATHCAD (Mathsoft, Inc); DERIVE (Soft Warehouse); SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition - диспетчерское управление и сбор данных) или DCS (Distributed Control Systems - распределенная система управления) - системы, реализующие в том числе и функции схематического отображения технологиче-



ских процессов; Case-средства (Computer-Aided Software/System Engineering) и др. Указанные средства отличаются друг от друга формой представления данных, характером решаемых задач, графическими возможностями, способностью взаимодействия.

В настоящее время для задач исследования и синтеза ЭП и СА чаще всего применяют MATLAB и GPSS.

MATLAB предназначается для проектирования систем управления, анализа данных, обработки изображений, цифровой обработки сигналов, визуализации полученных результатов и разработки собственных приложений.

В MATLAB помимо обычных языковых конструкций, позволяющих выполнять процедурное, объектно-ориентированное и визуальное программирование, содержится большое количество встроенных алгоритмов для математических расчетов и для анализа и графической визуализации данных, численных и символьных вычислений, создания инженерной и научной графики, имитационного моделирования, программирования, разработки приложений и графического интерфейса пользователя (GUI).

MATLAB содержит специализированные графики, помогающие понять работу сложных систем, а также представить результаты их исследования. С помощью MATLAB можно создавать высококачественную графику для визуализации динамических процессов в исследуемых ЭК и презентации.

Набор специализированных приложений (Toolbox) (табл. 9.1) позволяет обрабатывать сигналы и изображения, разрабатывать системы управления, проводить исследования с использованием нейронных сетей и др. Имеющие Toolbox, расширяют функциональные возможности программы в сборе данных, создании отчетов и написании программ, включающих в себя процедуры на языках C/C++ или Fortran, функционирующих в среде MATLAB или в виде независимых приложений.

Таблица 9.1

Наименование Toolbox	Назначение
-------------------------	------------

NAG Foundation	Библиотека математических функций The Numerical Algorithms Group Ltd
Spline	Сплайн-аппроксимация
Statistics	Статистический анализ данных и моделирование методом Монте-Карло
Optimization	Нахождение экстремумов линейных и нелинейных функционалов при наличии связей и ограничений
Partial Differential Equations	Решение уравнений в частных производных
Symbolic Math	Символьная математика
Extended Symbolic Math	Расширенная символьная математика (включает в себя систему Maple)

MATLAB также содержит интерфейс для вызова Java-процедур, коммуникационный интерфейс (последовательный порт) для связи с внешним оборудованием и современные инструменты проектирования графического пользовательского интерфейса, а также поддерживает популярные форматы файлов - CDF (Common Data Format), FITS (Flexible Image Transport System), HDF и HDF-EOS.

### **MATLAB Simulink и его приложения**

Для моделирования, имитации и анализа динамических систем применяется интерактивный инструмент MATLAB Simulink, который позволяет при помощи графических блок-диаграмм моделировать динамические системы и исследовать их работоспособность. Simulink, полностью интегрированный с MATLAB, обеспечивает немедленный доступ к широкому спектру инструментов анализа и проектирования. Simulink также интегрируется с приложением MATLAB Stateflow для моделирования поведения, управляемого событиями. Эти преимущества делают Simulink наиболее популярным инструментом для проектирования систем управления и коммуникации, цифровой обработки и других приложений.

Simulink Performance Tools содержит четыре инструмента для пользователей Simulink, проектирующих крупномасштабные, сложные модели: Simulink Accelerator, ускоряющий выполнение кода при имитации моделей от двух до десяти раз; Model Differencing, графически подчеркивающий отличия между двумя моделями; Model Profiler, собирающий данные функционирования и генерирующий HTML-отчет; Model Coverage, выдающий отчет о возможных путях имитации модели.

Для мониторинга сигналов и параметров в Simulink-моделях применяется приложение Dials & Gauges Blockset.

При создании и настраивании отчетов из MATLAB Simulink и Stateflow моделей и данных в различных выходных форматах, включая HTML, RTF, XML и SGML, применяются приложения MATLAB Report Generator и Simulink Report Generator, что обеспечивает возможность автоматического документирования создаваемых систем и включения в них любых данных из рабочей среды MATLAB.

MATLAB Compiler включает в себя MATLAB C/C++ Math and Graphics Libraries и позволяет компилировать m-файлы в коды на C и C++, обеспечивая возможность создания независимых программных продуктов. Компилятор содержит алгоритмы оптимизации, существенно увеличивающие скорость выполнения программы. Модуль для Visual Studio позволяет использовать MATLAB-компилятор из Microsoft Visual Studio.

В MATLAB включены специализированные Toolbox, предназначенные для автоматизации проектирования систем управления (табл. 9.2).

Таблица 9.2.

Наименование пакета прикладных программ	Назначение
Control System	Моделирование, анализ и проектирование как непрерывных, так и дискретных во времени линейных автоматических систем управления
Nonlinear Control Design (NCD) Blockset	Проектирование нелинейных систем
Fuzzy Logic	Проектирование, моделирование и анализ систем с нечеткой логикой. Имеет средства для преобразования входных данных в выходные данные системы правил и связей произвольной сложности, выраженные обычным языком. Системы могут быть имитированы в MATLAB или включены в блочные диаграммы Simulink с возможностью генерации кода для независимого выполнения
LMI Control	Синтез систем управления на основе линейных матричных неравенств. Содержит функции для проектирования и анализа таких характеристик систем управления, как помехоустойчивость, производительность и др.
Model Predictive Control	Управление с эталонной моделью. Полезен для управления системами с большим числом входных и выходных переменных, имеющих много связей

$\mu$ -Analysis and Synthesis	$\mu$ -анализ и синтез. Содержит набор функций для использования в анализе и проектировании устойчивых линейных систем с многими переменными
Robust Control	Робастное управление. Содержит специализированный набор инструментов для анализа и синтеза систем управления, устойчивых по отношению к случайным возмущениям
Quantitative Feedback Theory (QFT) Control Design	Проектирование робастных систем с обратной связью
Neural Network	Нейронные сети. Применяется в областях, где формальный анализ чрезвычайно труден или невозможен, например при распознавании образов, идентификации и управлении нелинейными системами
System Identification	Идентификация параметров в системах управления
Frequency Domain System Identification	Идентификация в частотной области
xPC Target	Моделирование и тестирование взаимосвязанного оборудования, управляющих систем и систем цифровой обработки сигналов
Communications	Разработка современных коммуникационных систем, включая моделирование в реальном масштабе времени

В MATLAB также включены специализированные приложения, предназначенные для автоматизации проектирования в реальном времени (табл. 9.3).

Таблица 9.3

Наименование приложения	Назначение
Real-Time Workshop	Дополняет Simulink, позволяя автоматически генерировать С-код прямо из блочных диаграмм пакета Simulink
Real-Time Workshop Embedded Coder	Расширяет возможности приложения Real-Time Workshop, позволяя осуществлять генерацию высококачественного встраиваемого кода для Simulink-моделей, и осуществляет генерацию кода из Stateflow
Real-Time Windows Target	Обеспечивает простую в использовании среду макетирования в реальном времени, полностью контролируемую через пользовательский интерфейс Simulink

Продолжение таблицы 9.3

DSP Blockset	Обеспечивает моделирование и симуляцию, позволяющие проектировать системы обработки сигналов в режиме реального времени и осуществлять проверку этих систем. DSP Blockset позволяет использовать инструменты Simulink для обработки потоковых данных и выполнения многоступенчатых операций
--------------	---

Для моделирования и исследования электромеханических систем будут полезны библиотеки MATLAB, приведенные в табл. 9.4.

Таблица 9.4

Наименование библиотеки	Назначение
Power Systems	Моделирование энергетических систем, включая устройства электротехники и промышленной электроники
SimMechanics	Моделирование механических систем, составленных из отдельных элементов, таких как механические блоки, соединения, узлы крепления, исполнительные элементы и датчики. С помощью этих элементов формируется описание сложной механической системы с присоединенными к ней другими динамическими моделями и контроллером
Aerospace	Моделирование, интегрирование и имитация авиационных, космических, реактивных и турбореактивных систем и подсистем в приложении Simulink
Filter Design	Проектирование, моделирование и анализ цифровых фильтров
Image Processing	Набор средств для анализа и обработки цифровых изображений

Применяют библиотеки Power Systems для расчета и исследования электрических цепей и электрических машин постоянного и переменного тока.

Рассмотрим системы управления (СУ), построенные по принципу подчиненного регулирования. В этом случае синтез систем сводится к расчету регуляторов различных видов (П-, ПИ-, ПИД-, И-регуляторов и др.), контуров тока, скорости, положения и др. Для синтеза регуляторов в зависимости от требуемых динамических характеристик применяются стандартные настройки: оптимум по модулю (ОМ) и симметричный оптимум (СО), а в методах модального управления – стандартные распределения корней характеристических полиномов. Такие настройки соответствуют стабилизирующим и сле-

дящим (контурным) режимам работы систем, а также режимам параболических, треугольных и трапецеидальных движений, характерных для больших изменений переменных и соответствующих пусковым, тормозным, циклическим, программно-логическим режимам работы систем электроприводов.

Последнее реализуется формированием соответствующих программных заданий на входы систем управления с использованием или без использования ограничений переменных регуляторов. Подробная методика стандартных настроек и их применения изложена в специальной литературе.

После проведения синтеза регуляторов переходят к исследованию различных режимов работы автономных систем, формируя различные управляющие и возмущающие воздействия. Для этого используют матричное описание СУ или ее описание в виде передаточных функций и соответственно Control System Toolbox либо систему визуального моделирования Simulink с описанием СУ в виде соответствующих S-моделей.

## ЛИТЕРАТУРА

1 Инжиниринг электроприводов и систем автоматизации: учеб. пособие для вузов / под ред. В. А. Новикова, Л. М. Чернигова. - Москва: Академия, 2006. - 367 с.

2. Аверченков, В. И. Автоматизация проектирования технологических процессов : учебное пособие / В. И. Аверченков, Ю. М. Казаков. - Брянск: БГТУ, 2004. - 228 с.

3. Аверьянов, О. И. Основы инжиниринга в машиностроении: учебное пособие / О. И. Аверьянов, И. О. Аверьянова. - Москва: МГИУ, 2006. - 63 с.

4. Комплектные тиристорные электроприводы: справочник / Под ред. В.М. Перельмутера - Москва: Энергоатомиздат, 1988.

5. Бородин, И. Ф. Автоматизация технологических процессов: учебник / И. Ф. Бородин. - Москва: Колос, 2007. - 344 с. - (Учебники и учеб. пособия для студ. вузов).

6. Цветков, В. Д. Система автоматизации проектирования технологических процессов / В. Д. Цветков. - Москва: Машиностроение, 1972. - 240 с.

7. Фираго, Б. И. Расчеты по электроприводу производственных машин и механизмов: учеб. пособие / Б. И. Фираго. – Минск: Техноперспектива, 2012. – 639 с.

89. Соснин, О. М. Основы автоматизации технологических процессов и производств: учеб. пособие для вузов / О. М. Соснин. - Москва: Академия, 2007. – 240 с. - (Высшее профессиональное образование).

9. Фурсеко, С. Н. Автоматизация технологических процессов : учеб. пособие для вузов / С. Н. Фурсеко. - Минск: БГАТУ, 2007. - 591с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	3
Тема 1. Понятие и содержание инжиниринга .....	5
Тема 2. Инжиниринг электроприводов и систем автоматизации .....	16
Тема 3. Общие положения о проектировании электроприводов и систем автоматизации .....	29
Тема 4. Выбор электрооборудования .....	39
Тема 5. Обеспечение электромагнитной совместимости электрооборудования .....	48
Тема 6. Разработка конструкторской и программной документации .....	62
Тема 7. Схемы электрические .....	72
Тема 8. Текстовые документы в составе конструкторских документов .....	82
Тема 9. Компьютерные технологии исследования и оптимизации систем автоматизированных электроприводов производственных машин .....	86
Литература .....	95



**Погуляев Михаил Никифорович  
Савельев Вадим Алексеевич**

# **ИНЖИНИРИНГ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

**Пособие  
по одноименной дисциплине для студентов  
учреждений высшего образования II ступени обучения  
специальности 1-53 81 03 «Автоматизация  
и управление в технических системах»  
дневной и заочной форм обучения**

Подписано к размещению в электронную библиотеку  
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного  
учебно-методического документа 18.03.19.

Рег. № 49Е.  
<http://www.gstu.by>