

**В. Е. Быстрицкий, А. В. Коробко,
А. М. Крицштейн, С. И. Фалова**

**ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ
ПРОИЗВОДСТВА
ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ**

Ульяновск 2006

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального
образования
Ульяновский государственный технический университет

В. Е. Быстрицкий, А. В. Коробко, А. М. Криштейн, С. И. Фалова

Экономика и организация производства электроприводов

Учебное пособие
для студентов специальности 14060465
всех форм обучения

Ульяновск 2006

УДК 338.45:621(075)

ББК 65.304.15я7

Б 95

Рецензенты: кафедра аэронавигации А и РЭО Ульяновского высшего авиационного училища; профессор Ульяновского государственного университета, доктор технических наук И. В. Семушин.

Утверждено редакционно-издательским советом университета в качестве учебного пособия.

Быстрицкий В. Е.

Б 95 Экономика и организация производства электроприводов : учебное пособие / В. Е. Быстрицкий, А. В. Коробко, А. М. Крицштейн, С. И. Фалова. – Ульяновск : УлГТУ, 2006. – 104 с.
ISBN 5-89146-908-1

Пособие написано в соответствии с учебной программой курса «Экономика и организация производства электроприводов».

Изложены вопросы конструирования электроприводов и их элементов, приведена классификация изделий и конструкторской документации, рассмотрены теоретические, методологические и организационные основы функционально-стоимостного анализа, эргономики, а также методы принятия инженерно-экономических решений в электротехнической промышленности.

Предназначено для студентов энергетического факультета специальности 14060465 всех форм обучения.

**УДК 338.45:621(075)
ББК 65.304.15я7**

Учебное издание

**Быстрицкий Владимир Евгеньевич, Коробко Александр Васильевич,
Крицштейн Александр Михайлович, Фалова Светлана Игоревна**

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

Учебное пособие

Редактор Н. А. Евдокимова

Подписано в печать 30.10.2006. Формат 60×84/16.

Бумага офсетная. Усл. печ. л. 6,05.

Тираж 100 экз. Заказ 1362

Ульяновский государственный технический университет

432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, д. 32.

Типография УлГТУ, 432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, д. 32.

© В. Е. Быстрицкий, А. В. Коробко,
А. М. Крицштейн, С. И. Фалова, 2006
© Оформление. УлГТУ, 2006

ISBN 5-89146-908-1

ОГЛАВЛЕНИЕ

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ РЫНКА ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ, СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ УСТАНОВОК И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ.....	4
1. ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ	21
1.1. Общие понятия.....	21
1.2. Стадии разработки конструкторской документации.....	22
1.3. Стадии технологической подготовки производства.....	24
1.4. Задачи основных служб производства.....	25
1.5. Состав документации технической подготовки производства	26
2. ОБЩИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К КАЧЕСТВУ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ И ИХ ЭЛЕМЕНТОВ	28
2.1. Условия эксплуатации и основные сведения о качестве изделий	28
2.2. Конструктивно – технические требования.....	29
2.3. Пример общих технических требований заказчика на электро- оборудование гибкого производственного модуля модели 65Б90ПМФ4	30
3. ПРЕДПРОЕКТНЫЕ РАСЧЕТЫ НА СТАДИИ РАЗРАБОТКИ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ.....	37
3.1. Общие положения	37
4. ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ПРОЕКТИРУЕМОГО УСТРОЙСТВА	40
5. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТА	45
6. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ НОВОЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ.....	52
6.1. Задачи и содержание технико-экономического анализа при разработке новой электротехники.....	52
6.2. Задачи функционально-стоимостного анализа	57
6.3. Области применения функционально-стоимостного анализа.....	59
6.4. Теоретические основы функционально-стоимостного анализа.....	62
6.5. Методические и организационные основы функционально-стоимост- ного анализа.....	69
6.6. Технико-экономический анализ при совершенствовании технологи- ческих процессов.....	71
7. ЭРГОНОМИКА. ПРЕДМЕТ, ЗАДАЧИ И ЦЕЛИ ЭРГОНОМИКИ	75
7.1. Состав и структура эргономики.....	77
7.2. Инженерно-психологические подходы к автоматизации	82
7.3. Факторы сложности техники и равнозначный подход к автоматизации ..	83
8. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ЭКСПЕРТИРОВАНИЕ	85
9. МЕТОДЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ	90
9.1. Расчет себестоимости (текущих затрат) и эксплуатационных издержек..	90
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	103
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	104

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ РЫНКА ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ, СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ УСТАНОВОК И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Из анализа мирового опыта создания нового и модернизации действующего технологического оборудования видна высокая динамика развития регулируемых электроприводов, компьютерных средств автоматизации, использования информационных средств. Это определяется стремлением к максимальному повышению производительности технологического оборудования и качества производимой продукции. Всё ведущие электротехнические корпорации выпускают регулируемые электроприводы комплектно с компьютерными средствами автоматизации в виде гибкопрограммируемых систем, адаптированных к широкой области их использования. Окупаемость вложения средств в такие системы является наиболее быстрой. Помимо традиционных применений регулируемые электроприводы совместно с технологическими устройствами выступают в виде средств регулирования технологических переменных: уровня, давления, влажности, температуры, дозирования, производительности и др.

Можно выделить следующие общие тенденции, имеющие устойчивый характер:

1. Постоянно расширяющееся применение регулируемых электроприводов в промышленном оборудовании, транспорте, авиакосмической технике, медицине, бытовой технике с целью достижения новых качественных результатов в технологии.
2. Замена перегулируемых электроприводов регулируемыми в энергоемком оборудовании, таком как насосы, компрессоры, вентиляторы и другие, с целью энергосбережения.
3. Распространение блочно-модульных принципов построения электроприводов, информационных средств, средств управления и систем управления в целом.
4. Динамичная компьютеризация электроприводов, механизмов, агрегатов и комплексов и новая идеология проектирования систем.
5. Дальнейшее развитие методов каскадного (подчиненного) управления, получившего широкое распространение в электроприводах и органично переносимого на управление технологическими переменными и интегральными показателями качества обработки, переработки и производства вещества.
6. Активное развитие и внедрение систем диагностики, обслуживания, визуализации технологических процессов и процессов управления.

На конференциях и в публикациях постоянно отмечается необходимость комплексного, системного подхода к проектированию и созданию новой техники. Исходя именно из этой цели, авторы поставили перед собой задачу отразить основные моменты развития автоматизированных электроприводов и систем автоматизации промышленных установок (технологических агрегатов) и технологических комплексов во всей совокупности их взаимосвязей. В соответствии с идеологией компьютерного интегрированного производства

остановимся только на компьютерных системах управления, рассмотрев их на уровне управления механизмами, агрегатами и комплексами.

Любой современный технологический комплекс следует рассматривать как автоматизированный технологический комплекс (АТК). В соответствии с технологическим процессом работы АТК определяется задающей программой. Осуществляются контроль и регулирование электромагнитных, механических, технологических переменных, показателей качества готовой продукции (переработанного вещества); автоматическая оптимизация обобщенных показателей качества работы АТК; контроль состояния электротехнического, механического и технологического оборудования.

В наиболее общем виде задача АТК заключается в преобразовании исходного вещества S_1 в готовую продукцию (переработанное вещество) S_2 (рис.1), получая от технологической среды информацию в виде задающей программы и энергию P . Издержки функционирования АТК в виде таких вредных влияний на среду, как искажения параметров сети энергоснабжения v , искажения информации ρ , электромагнитные поля γ должны быть сведены к допустимому по стандартам минимуму, а отходы технологии θ должны быть переработаны в полезную продукцию. Готовая продукция должна соответствовать требованиям стандарта по качеству, производиться за минимально короткое время, при минимальном потреблении энергии. Высвобождаемая энергия машин должна возвращаться в среду, туда же должны поступать информация о работе АТК и данные о качестве готовой продукции.



Рис.1. Схема взаимодействия автоматизированного технологического комплекса с технологической средой

Функциональная схема современного АТК показана на рис. 2. Механизмы (исполнительные органы рабочей машины) оснащаются индивидуальными электроприводами с электродвигателями M , управляемыми преобразователями УП, программируемыми микроконтроллерами приводов КИ. Координацию совместной работы приводов и механизмов, входящих в состав

технологического агрегата, выполняет технологический программируемый микроконтроллер *КТ*.

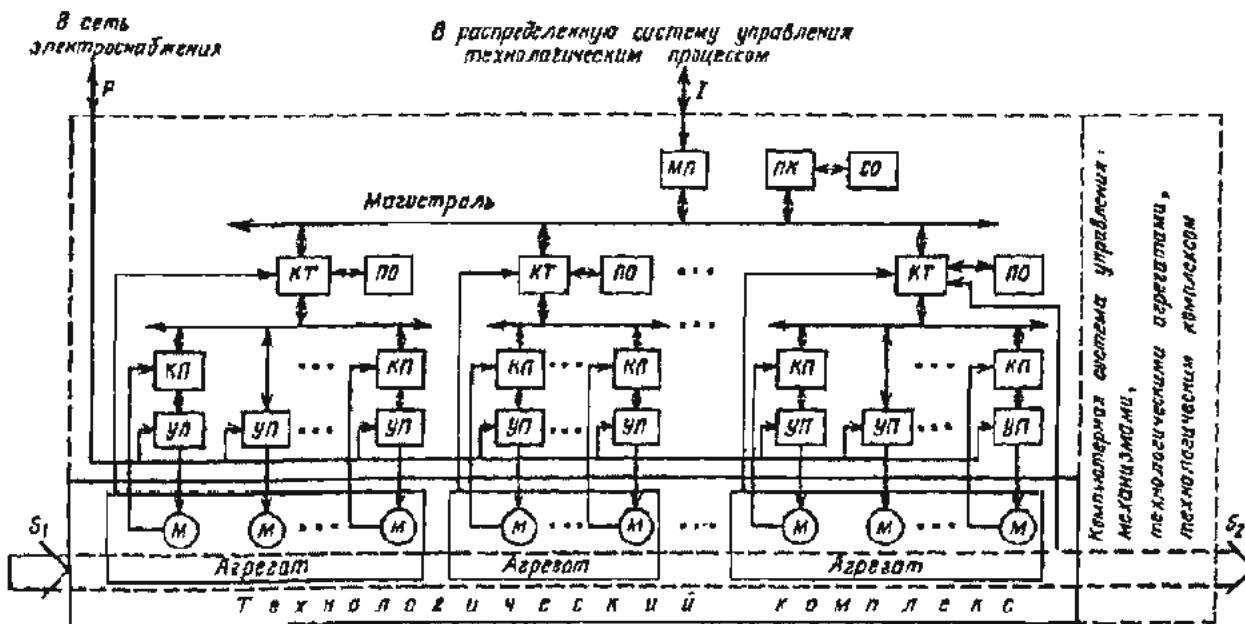


Рис. 2. Функциональная схема автоматизированного технологического комплекса

Координацию совместной работы агрегатов технологического комплекса выполняет один из микроконтроллеров *КТ* или специализированный персональный компьютер *ПК*, входящий в состав станции оператора *СО*. Через магистральный преобразователь *МП* осуществляется связь АТК с распределенной системой управления технологическим процессом. Микроконтроллеры взаимодействуют через коммуникационную связь, структура которой может быть различной в соответствии с существующими стандартами по индустриальным сетям средств вычислительной техники. Контроль и управление агрегатами могут осуществляться с периферийных постов операторов *ПО*. Контроллером привода решаются следующие задачи:

- управление силовой частью УП;
- регулирование момента электродвигателя, скорости и положения механизма;
- программно-логическое управление пуском, остановкой и режимом рабочего функционирования привода;
- автоматическая настройка регуляторов в режиме наладки;
- контроль состояния и диагностики неисправностей в компонентах электропривода;
- защита и сигнализация электропривода.

Соответственно технологическим контроллером решаются задачи:

- выработка заданий на КП в соответствии с координированной работой приводов агрегата;
- программно-логическое управление пуском, остановкой и режимом рабочего функционирования агрегата;

- регулирование технологических переменных;
- контроль состояния и диагностика неисправностей в компонентах агрегата.

Система может быть выполнена таким образом, что каждый контроллер в магистрали может в случае необходимости взять на себя функции других контроллеров.

Рассмотрим тенденции развития отдельных компонентов АТК. Начнем с электропривода. В соответствии со стандартом [1] под электроприводом понимается «электромеханическая система, состоящая в общем случае из взаимодействующих преобразователей электроэнергии, электромеханических и механических преобразователей, управляющих и информационных устройств и устройств сопряжения с внешними электрическими, механическими, управляющими и информационными системами, предназначенная для приведения в движение исполнительных органов рабочей машины и управлении этим движением в целях осуществления технологического процесса». Остановимся на компонентах электропривода, определенных стандартом.

Преобразователи электроэнергии выполняются главным образом как полупроводниковые преобразователи в виде неуправляемых и управляемых выпрямителей, автономных инверторов напряжения и тока, инверторов, ведомых сетью, преобразователей частоты с непосредственной связью, фильтрокомпенсирующих устройств. Виды преобразователей и их комбинации определяются типом электродвигателя и задачами управления, мощностью, диапазоном регулирования, необходимостью рекуперации энергии в сеть, влиянием преобразователей на питающую сеть (рис. 3). Схемотехнические решения преобразователей остаются традиционными в электроприводах постоянного и переменного тока [2 – 5]. Учитывая возрастание требований к энергетическим характеристикам электроприводов и их влиянию на сеть, развитие получают преобразователи, обеспечивающие экономичные способы управления электроприводами. Изменения схем преобразователей главным образом связаны с появлением новых приборов — мощных полевых транзисторов (MOSFET), биполярных транзисторов с изолированным затвором (IGBT), запираемых тиристоров (GTO). Можно выделить следующие тенденции развития преобразователей:

1. Расширение границ применения полностью управляемых приборов: транзисторов – до 2 МВт, тиристоров – до 10 МВт.

2. Распространение методов ШИМ.

3. Блочные принципы построения преобразователей на основе унифицированных силовых гибридных модулей, выполняемых на базе транзисторов и тиристоров. Возможность выполнения преобразователей постоянного и переменного тока и их комбинаций на единой конструктивной основе.

В электроприводах постоянного тока кроме управляемых выпрямителей (рис. 3, а), для получения высокого быстродействия находят применение системы с неуправляемыми выпрямителями и широтно-импульсными

преобразователями (рис. 3, б). В этом случае можно обходиться без фильтро-компенсирующего устройства.

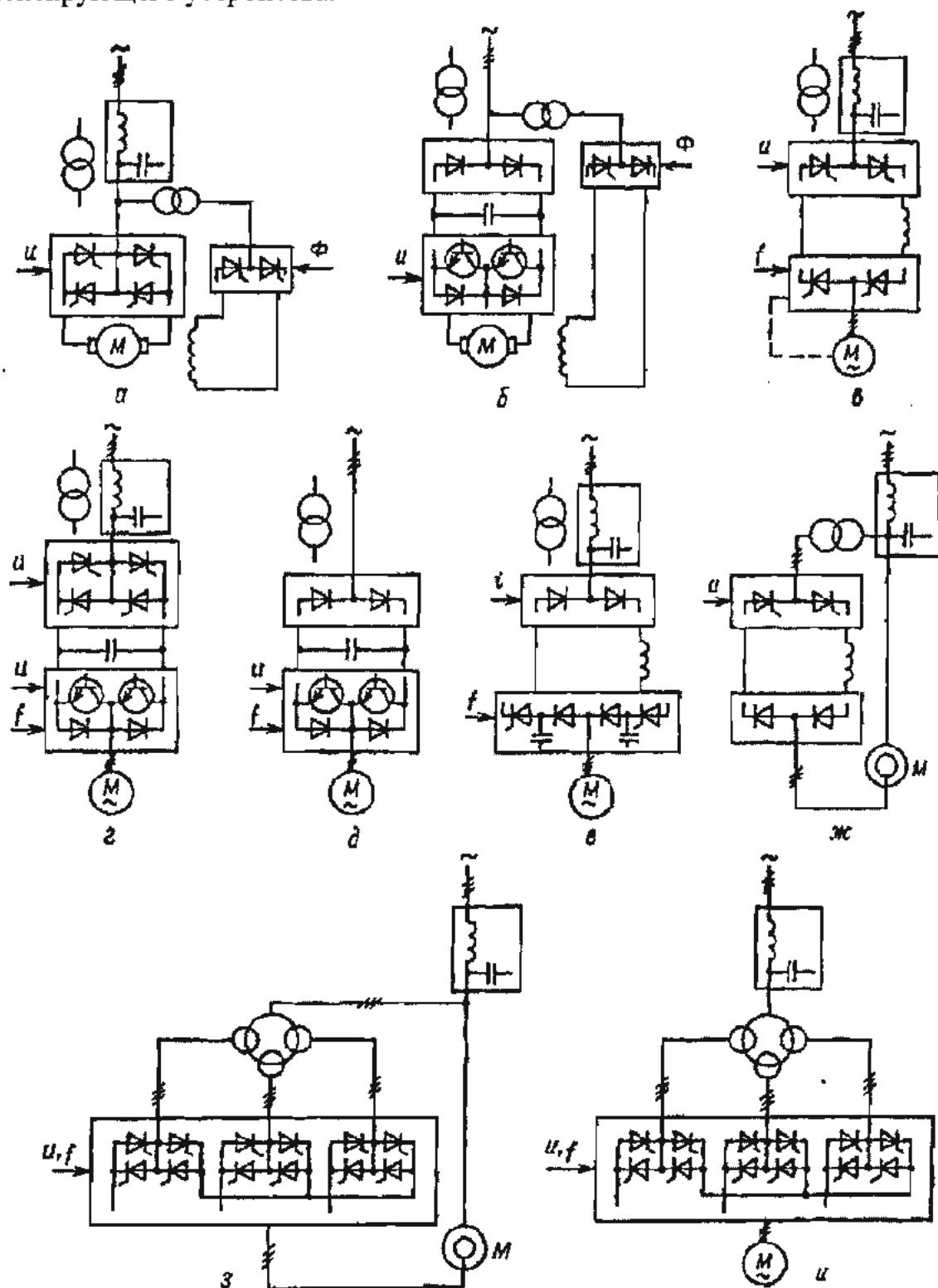


Рис. 3. Управляемые полупроводниковые преобразователи для электроприводов постоянного и переменного тока

Преобразователи, используемые для управления вентильными двигателями (рис. 3, в), содержат управляемый выпрямитель, аналогичный выпрямителю привода постоянного тока, и автономный инвертор, управляемый по сигналам, поступающим от датчика положения ротора.

В системах частотного управления асинхронными двигателями преимущественно используются инверторы напряжения (рис. 3, г, д). Если отсутствует необходимость рекуперации энергии в сеть, возможно применение неуправляемого выпрямителя, что приводит к наиболее простой и экономичной схеме преобразователя (рис. 3, д). Возможность применения полностью управляемых приборов и ШИМ делает эту схему одной из широко используемых в большом диапазоне мощностей.

Преобразователи с инверторами тока (рис. 3, е), считавшиеся до недавнего времени наиболее простыми и удобными для управления двигателями, имеют в настоящее время ограниченное применение по сравнению с другими преобразователями в силу известных недостатков системы «инвертор тока – асинхронный двигатель».

Преобразователи, содержащие неуправляемый выпрямитель и ведомый сетью инвертор и составляющие основу асинхронно-вентильного каскада (рис. 3, ж), находят применение в приводах большой мощности при ограниченном диапазоне регулирования скорости.

Определенную перспективу имеют мощные преобразователи частоты с непосредственной связью в машинах двойного питания (рис. 3, з) и при управлении низкоскоростными асинхронными или синхронными двигателями (рис. 3, и). Для управления синхронными двигателями и машинами двойного питания могут также использоваться схемы преобразователей, показанные на рис. 3, г, д.

Рассмотренные схемы преобразователей охватывают диапазон мощностей от сотен ватт до десятков мегаватт. Наиболее интенсивное развитие в исследовании и применении имеют системы, показанные на рис. 3, в, д.

В системах многодвигательных электроприводов возможно использование общих выпрямителей для группы широтно-импульсных преобразователей (рис. 4, а) или автономных инверторов (рис. 4, б). Достоинство таких схем в возможности энергосбережения путем передачи энергии торможения с двигателя на двигатель.

Электромеханические преобразователи (ЭМП). Рассмотрим ЭМП в том же диапазоне мощностей, что и преобразователи электроэнергии, в аспекте использования в регулируемых электроприводах.

Развитие ЭМП происходит в направлениях: конструирование машин с учетом их совместной работы с управляемыми полупроводниковыми преобразователями, применение новых магнитных материалов; совершенствование или исключение контактных узлов; использование интенсивных методов охлаждения машин; развитие работ по высокотемпературной сверхпроводимости.

Электродвигатели постоянного тока совершенствуются за счет применения в щеточно-коллекторном узле металловолокнистых и металлокера-

мических материалов. Это дает возможность существенно повысить окружную скорость двигателей. Но неизбежность применений щеточно-коллекторного узла в традиционных двигателях постоянного тока приводит к сокращению доли их выпуска по сравнению с двигателями переменного тока.

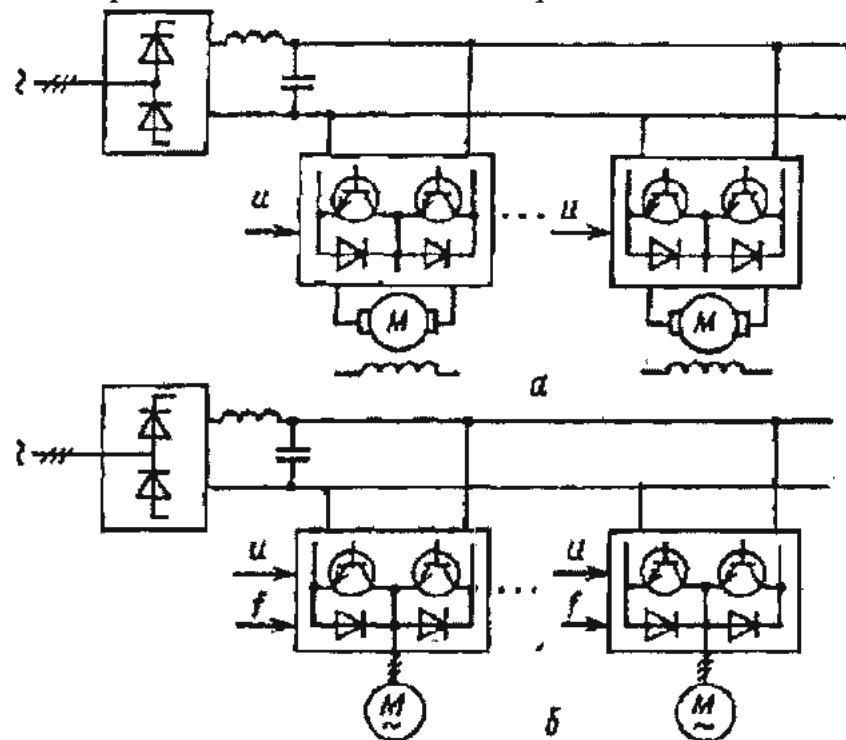


Рис. 4. Управляемые полупроводниковые преобразователи для многодвигательных электроприводов постоянного (а) и переменного (б) тока

Безусловную перспективу имеют вентильные двигатели, которые, являясь по существу синхронными двигателями, рассматриваются специалистами по ЭМП как двигатели постоянного тока в связи с тем, что питание их производится от сети постоянного тока через автономный инвертор, управляемый сигналами с датчиков положения ротора. Вентильные двигатели с высококоэрцитивными магнитами на роторе имеют минимальную удельную массу по сравнению с любыми другими машинами. При их использовании удачно решаются вопросы конструирования мехатронных модулей.

Асинхронные короткозамкнутые электродвигатели являются конструктивно наиболее простыми и надежными и получают широкое распространение в регулируемых электроприводах с автономными инверторами с ШИМ. Совершенствование двигателей происходит за счет использования новых материалов и новых способов интенсивного охлаждения. Перспективы применения асинхронных электродвигателей с фазным ротором прежде всего связаны с их использованием в машинах двойного питания.

Синхронные электродвигатели традиционно применяются в диапазонах мощностей от сотен киловатт и выше. Их совершенствование происходит за счет исключения контактов путем перехода на врачающиеся

выпрямители и применения постоянных магнитов.

Определеннос развитие получают индукторные электродвигатели и электродвигатели с когтеобразными полюсами. Такие электродвигатели имеют наиболее простой ротор, состоящий из магнитомягкого сердечника, допускают высокие частоты вращения ротора, обладают высокой надежностью.

В диапазоне малых мощностей традиционно развиваются шаговые электродвигатели, которые в силу своих конструктивных особенностей обеспечивают создание компактных многокоординатных мехатронных модулей с дискретными перемещениями.

Состояние электродвигателей, как и иных технических средств АТК, постоянно подвергается контролю. В связи с этим кроме датчиков скорости, положения ротора, датчиков Холла в двигатели встраиваются датчики температуры и вибраций. Это дает возможность повысить эксплуатационную надежность электродвигателей. Другим путем повышения надежности электродвигателей в производственных условиях является переход на конструктивно закрытые варианты их исполнения с использованием методов интенсивного поверхностного охлаждения. Это позволяет исключить дисбаланс вращающихся частей двигателей за счет электростатического оседания на них производственной пыли при самовентиляции и устраниить преждевременное разрушение опор за счет вибраций.

Механические преобразователи. Продолжается тенденция к упрощению механических компонентов технологического оборудования и усложнению электротехнических компонентов. При проектировании нового технологического оборудования стремятся к использованию «коротких» механических передач и безредукторных электроприводов. В работе [7] показано, что по массогабаритным показателям и КПД безредукторные электроприводы вполне сравнимы с массогабаритными показателями и КПД редукторных электроприводов, если учитывается не только двигатель, но и редуктор. Существенным выигрышем в применении «коротких» передач и безредукторных электроприводов является достижение более высоких качественных показателей систем управления движением исполнительных органов машин и технологическими переменными и более высокой надежности механизмов. Это объясняется тем, что механическая передача, будучи охваченной обратными связями, существенно ограничивает полосу пропускания частот системы управления из-за наличия упругих механических колебаний. Простейшие механические передачи промышленного применения имеют несколько частот упругих колебаний из-за податливости зубьев, валов и опор. Если к этому добавить усложнение передач из-за необходимости применения устройств выборки люфтов, то можно полагать, что тенденция движения к безредукторным приводам будет сохраняться, особенно для технологического оборудования высокой производительности и качества. Этим же обусловлено развитие работ по созданию типовых приводных модулей технологического оборудования и мехатронных систем.

Применение пневмоприводов ограничено той областью, где по условиям технологической среды неприменимы электроприводы. Что же касается гидроприводов, то с учетом явной тенденции перехода в них на насосы переменной производительности, в которых регулируются скорость и давление, гидроприводы следует рассматривать как электроприводы с гидромеханической передачей усилия или момента. Традиционная область применения гидроприводов – объекты с малыми перемещениями и большими усилиями.

Информационные устройства. Устройства преобразования, хранения, распределения и выдачи информации входят в состав модулей программируемых контроллеров. Здесь остановимся на тенденциях развития устройств, предназначенных для получения информации. Выделим следующие тенденции:

1. Расширяющееся применение разнообразных датчиков для контроля электромагнитных, механических и технологических переменных, качества изделий.

2. Стремление к использованию методов прямого измерения контролируемых переменных и к установке датчиков в непосредственной близости от исполнительных органов рабочей машины.

3. Применение датчиков для контроля состояния электротехнического, механического и технологического оборудования. Использование информации для диагностики и оповещения операторов через компьютерные системы управления о состоянии оборудования.

В современном оборудовании контролю подвергаются: температура в коммутационных аппаратах, узлах электродвигателей, управляемых преобразователей, опорах механизмов; уровни вибраций во всех функционально значимых механических узлах системы; зазоры в механических передачах; усилия и упругие моменты в механизмах; износ технологического оборудования.

Компьютерные системы управления электроприводами, механизмами, технологическими агрегатами и комплексами выполняются по идеологии с гибким варьированием аппаратных и программных средств. В общем случае в состав систем входят: программируемые контроллеры, модули интеллектуальной периферии, системы визуализации и обслуживания, средства коммутаций, программаторы, персональные компьютеры.

Контроллеры могут иметь разные конструкции, но всегда предусматривается возможность варьирования их конфигураций за счет устройств расширения и периферийных модулей. Основой контроллера является центральный блок, содержащий центральный процессор и блок питания. В зависимости от задач автоматизации на системную шину контроллера могут монтироваться различные периферийные модули: цифровых и аналогичных вводов/выводов, предварительной обработки сигналов, коммуникационных процессоров. Предусматривается возможность варьирования разными типами центральных процессоров, блоков питания, периферий-

ных модулей. Для объектов, требующих повышенной надежности работы, используются контроллеры, состоящие из двух-трех центральных блоков с процессорами резервного действия. Программа пользователя составляется для таких контроллеров в обычном варианте.

Модули интеллектуальной периферии обеспечивают решение специальных задач пользователя по измерению, оценке, регулированию, стабилизации, позиционированию и др. Они интеллектуальны, так как обладают собственными процессорами и решают самостоятельно в реальном времени специализированные задачи управления. Их периферийность определяется тем, что с управляемым процессом они непосредственно связаны через собственные вводы/выводы. За счет этого центральный процессор не перегружается и за необходимое время выполняет собственные задачи.

Системы визуализации и обслуживания включают в себя средства от простых дисплеев до информационных систем. Получают распространение следующие системы:

1. Панели оператора, предназначенные для отображения управляемого процесса, ввода и вывода данных и для наладки. Содержат дисплеи и клавиатуры, конструктивно размещенные в одном корпусе.

2. Программируемые терминалы, представляющие собой электролюминесцентные графические терминалы с активным экраном, на котором можно гибко менять клавиатуру.

3. Локальные системы визуализации и обслуживания с различного рода функциональными возможностями от кратковременного или долговременного архивирования измеряемых величин до полнографических систем с объектоориентированными оболочками проектирования и обслуживания и интегрированные в другие системы. Они представляют собой автоматизированное рабочее место (АРМ) на базе ПК.

4. Центральные системы визуализации и обслуживания с высокими функциональными возможностями, расширяемыми от АРМ до скординированных многопользовательских и многотерминальных систем.

Средства коммуникаций обеспечивают создание сетей для обмена данными между различными компьютерными средствами автоматизации. К ним относятся модули коммуникационных процессоров для соединения контроллеров «от точки к точке» и для адаптеров магистральных интерфейсов связи, коаксиальные и оптоволоконные кабели, повторители, интерфейсные мультиплексоры и др. При создании систем отдают предпочтение магистральным структурам, которые по сравнению с другими структурами имеют меньшие затраты при прокладке кабелей, легко расширяются и позволяют осуществлять непосредственную коммуникационную связь от абонента к абоненту через единственную линию передачи данных. Как правило, сети делаются открытыми для интегрирования компьютерных средств автоматизации различных производителей. С этой целью выпускаются мосты и межсетевые преобразователи для связи различных локальных сетей и интерфейсов.

Из разнообразных типов средств коммуникации можно создавать сети, оптимально приспособленные к топологии технологического комплекса и обеспечивающие требуемые объемы и скорости передачи информации.

Программаторы и ПК используются в системах визуализации и обслуживания, а также для подготовки, отладки и записи программ в контроллеры. В соответствии с задачами программно-логического и непрерывного управления, диагностики, контроля состояния функциональных узлов оборудования, отображения информации об управляемом процессе имеется стандартное программное обеспечение в виде функциональных блоков, обеспечивающих решение частных задач и органично встраиваемых в программы пользователя.

Кроме этого имеются программы-драйверы, решающие задачу сопряжения контроллеров со стандартной периферией, с другими контроллерами и компьютерными средствами автоматизации в коммуникационной сети.

В функциональные блоки входят программные пакеты, реализующие типовые функции, например:

- 1) Арифметические, тригонометрические, логарифмические, показательные, обработки логических цепей, преобразования массивов данных и др.;
- 2) Регулирования электромагнитных, механических и технологических переменных; реализации стабилизирующего, следящего, каскадного, модульного и адаптивного управления; коррекции и компенсации нелинейностей, сглаживание; реализации непрерывных, шаговых и импульсных регуляторов;
- 3) Наблюдения, отображения и обслуживания для локальных и центральных систем, выдачи важных соотношений и сообщений об ошибках, группирование сообщений и отображение обобщенных сообщений, включение прерывистой и непрерывной световой и звуковой сигнализации;
- 4) Предварительной обработки сигналов в виде подготовки данных, обработки сообщений и прерываний, счета, дозирования, измерения скорости, пути, температуры и др.;
- 5) Служебные – для обмена данными между центральным процессором контроллера и модулями коммутационного процессора, предварительной обработки сигналов и памяти;
- 6) Имитации объекта управления и обработки алгоритмов управления.

Для написания программного обеспечения контроллеров имеются экономичные технологии с использованием ПК (стандартных, совместных с РС/АТ) или программаторов.

В качестве примера системы, выполненной в соответствии с изложенной идеологией, приведем гибко-программируемую систему управления корпорации «Siemens» (рис. 5) [8]. Комплектные микропроцессорные электроприводы постоянного 1 и переменного 2 тока управляются через коммуникационную систему 9 от программируемого контроллера 5. Группы электроприводов 3 и 4 управляются от комплекса, содержащего программируемые контроллеры 5 и мультипроцессорные системы управления 6. Программирование микропроцессорных электроприводов и систем управления

осуществляется с помощью программаторов 7. Панели оператора 8 обеспечивают наблюдение и корректировку процесса управления. Стандартная быстрая последовательная магистраль 10 осуществляет связь систем управления агрегатами с дисплейной системой станции оператора 11, ПК 12, телесистемой 13 и межсетевым преобразователем 14.

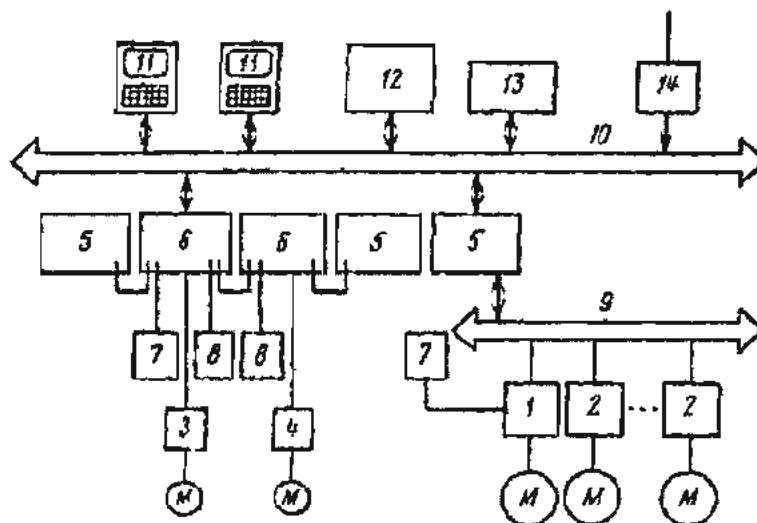


Рис.5. Гибко программируемая система управления «Siemens»

Коммуникационная система SINEC L1 работает в режиме «ведущий-ведомый». Доступом к сопряженным устройствам управляет ведущее устройство, выполняющее функции координатора. В систему включается до 31 контроллера. Скорость передачи сообщений 9,6 кбод.

Быстрая последовательная магистраль (SINEC L2 и SINEC H1) выполняется с оптоволоконным или коаксиальным кабелем. К коммуникационной системе SINEC L2 может быть подключено до 127 абонентов, из них 32 активных (контроллеры, программаторы, ПК). Скорость передачи информации устанавливается ступенчато от 9,6 до 500 кбод и 1,5 Мбод. Система SINEC H1 является открытой многоячеичной сетью, построенной по стандарту IEEE 802.3. К сети подключаются 1024 абонента, предусмотрено распознавание конфликтов в сети. Скорость передачи – 10 мбод.

Рассмотренная система является универсальной. Аналогичные системы выпускают многие электротехнические корпорации. Вместе с этим выпускаются и специализированные компьютерные системы, ориентированные на применение в больших группах типовых технологических комплексов. Примером такой системы является система PPS 200 корпорации ABB (рис. 6) [9], которая разработана для комплексов целлюлозно-бумажной промышленности, но легко адаптируется к другим комплексам непрерывно-поточных производств.

Система PPS 200 содержит электродвигатели, управляемые преобразователи, контроллеры приводов 1, технологические контроллеры 2, панели оператора 3, магистрали панелей, платы местного и дистанционного ввода/вывода 4, быстродействующую последовательную магистраль 5, кон-

троллер магистрали 6, ПК 7. Для подключения к распределенной системе управления технологическим процессом 9 используется межсетевой преобразователь 8. Система поставляется комплектно с программным обеспечением, адаптированным к конкретному АТК.

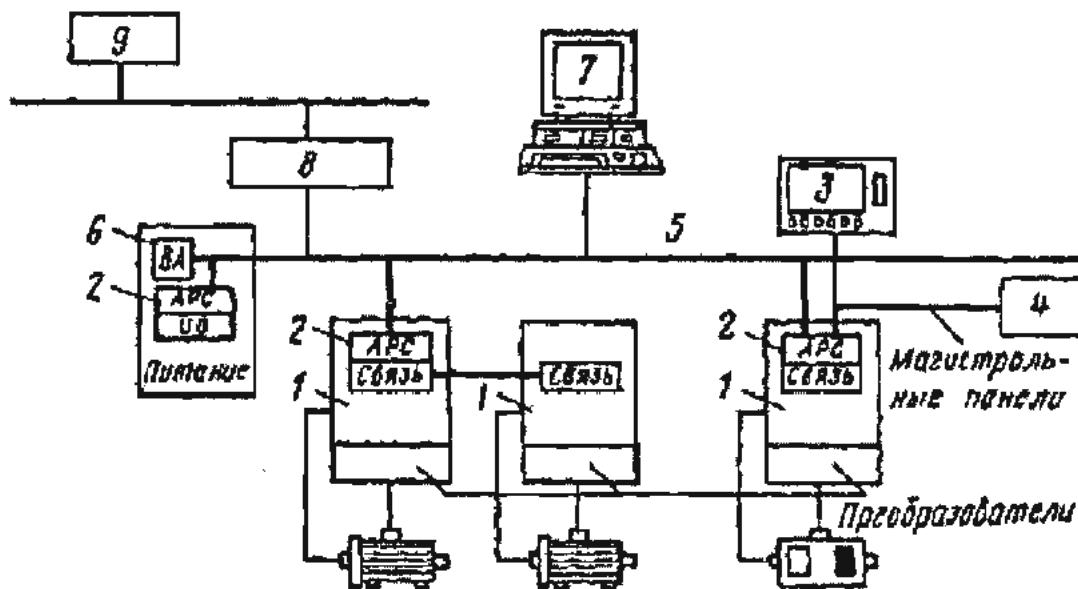


Рис. 6. Гибко программируемая система управления корпорации ABB

Один технологический контроллер может управлять максимально четырьмя приводными секциями по оптоволоконной связи с быстродействием 1,5 Мбод. Между собой технологические контроллеры связаны через магистраль (коаксиальный кабель) с быстродействием 1,5 Мбод.

Предусматривается подключение в магистраль до 80 активных абонентов (контроллеров, станций оператора, ПК). Связь между контроллерами в магистрали управляется контроллером 6. Производительность вычислений увеличивается путем дополнения системы необходимым количеством контроллеров. Система гибко приспосабливается к количеству приводных секций агрегатов и к структуре электропривода.

Можно выделить следующие общие тенденции развития микропроцессорных средств управления в реальном времени:

1. Из большого многообразия микропроцессорных средств управления микроконтроллеры имеют наибольший индекс развития. Выпускаются и разрабатываются 8-, 16- и 32-разрядные микроконтроллеры с тактовой частотой от единиц до десятков мегагерц. Прослеживается тенденция использования в микроконтроллерах микропроцессоров, ранее применявшихся в ПК. В связи с этим ожидается использование процессоров Pentium и Power PC.

2. Из принципов построения программируемых контроллеров следует, что совместно с развитой интеллектуальной периферией они являются мультипроцессорными средствами управления и обеспечивают возможность

одновременного решения частных задач управления с высоким быстродействием. Вместе с этим для повышения производительности управления в реальном времени получают развитие нейротехнологии и параллельные компьютерные технологии. Нейроконтроллеры эффективно используются в качестве обучаемых контроллеров в условиях изменения технологической среды. Алгоритм управления устанавливается путем адаптивного выбора из набора базовых алгоритмов, соответствующих разным ситуациям изменения среды и реализованных в виде отдельных модулей контроллера и программных блоков. Параллельные компьютерные (транспьютерные) средства обеспечивают повышение производительности управления в десятки и сотни раз за счет сконфигурированного распараллеливания вычислительного процесса. С учетом изложенного можно считать, что производительность микропроцессорных средств управления уже в ближайшее время удовлетворит любые задачи управления электромеханическими системами и комплексами.

3. Выпускаются и совершенствуются микроконтроллеры, имеющие встроенные периферийные устройства, многофункциональные таймеры, счетчики, многоканальные формирователи ШИМ сигналов и другие, ориентированные на управление электродвигателями. В частности, применяются 16-разрядные микроконтроллеры, предназначенные для управления асинхронным двигателем от автономного инвертора с ШИМ.

Наличие в программируемых контроллерах модулей интеллектуальной периферии создает предпосылки к разработке типовых программных блоков, реализующих алгоритмы управления типовым технологическим оборудованием. Развивая блочно-модульную идеологию построения средств и систем управления на уровне механизмов, агрегатов и комплексов, можно выделить группы оборудования, для которых характерны общие функциональные задачи управления в технологическом процессе (функциональные модули), и на основе этого подготовить программные модели модулей и программные блоки, решающие задачи управления модулями. Из таких модулей можно формировать блоки-комплексы, обеспечивая тем самым экономичную технологию проектирования компьютерных систем управления любыми АТК. Анализируя функциональные особенности технологического оборудования, можно все его разнообразие свести к следующим типовым группам оборудования:

1. Предназначено для физической, химической и термической переработки вещества и содержит энергоемкие однодвигательные электроприводы с продолжительным режимом работы (насосы, компрессоры, вентиляторы, мельницы, дефибреры, смесители, центрифуги и др.).
2. Металло-, дерево- и камнеобрабатывающие станки.
3. Обжимное, прессовое, штамповочное и кузнечное.
4. Резательное (гильотинные, барабанные ножницы, дисковые и ленточные пилы, продольно- и поперечно-резательные станки и др.).
5. Горнодобывающее (роторные и ковшовые экскаваторы, угледобывающие машины и др.).

6. Предназначенное для транспортирования, обработки гибких материалов.
7. Промышленные манипуляторы и роботы.
8. Транспортное (краны, транспортеры, конвейеры, рольганги, монорельсы, напольный электротранспорт и др.).
9. Контрольно-испытательное оборудование (измерительные машины, испытательные стенды-имитаторы и др.).
10. Мониторинг (телевизионные системы наблюдения за технологическим процессом, телескопы, радиотелескопы и др.).

В каждой группе выделяются типовые функциональные модули, для которых имеется библиотека программных моделей и программных блоков, реализующих алгоритмы управления.

В качестве примера раскроем типовые функциональные модули шестой группы. Упрощенные функциональные схемы систем управления агрегатами показаны на рис. 7, а-з. Системы могут в общем случае иметь и приводов, но для простоты все показано для двух приводов. Имеются следующие типовые функции управления:

1. Управление соотношением моментов нагрузки электроприводов, имеющих механическую связь (рис. 7, а). Выполняется относительно ведущего электропривода, замкнутого по скорости или положению. Возможно каскадное, независимое и комбинированное управление.
2. Управление скоростью и соотношением скоростей (рис. 7, б выполняет аналогично функции 1).
3. Управление положением и соотношением положений электроприводов, имеющих механические взаимосвязи (рис. 7, в). Выполняется по разности скоростей и положений.
4. Одновременное управление соотношением скоростей и положений (рис. 7, г), применяемое в агрегатах прокатного производства. Объединяет функции 2 и 3.
5. Управление соотношением скоростей и натяжений (усилий) (рис. 7, д). Выполняется путем дополнения функции 2 задачами управления натяжениями.
6. Управление скоростями и натяжениями с реализацией тормозных режимов электроприводов на сматывающих устройствах, управление натяжением в зоне обработки полотна и линейной скоростью в наматывающем устройстве.
7. Управление технологическими переменными через положение исполнительных механизмов (рис. 7, ж). Содержит функции 4 с дополнением транспортного запаздывания.
8. Управление технологическими переменными через скорости исполнительных механизмов (рис. 7, з). Имеет те же особенности, что и функция 7.
9. Управление технологическими переменными через переменные электроприводов (скорости, положения и др.) и переменные исполнительных устройств иного вида (давление, температура, подача эмульсий и др.) (рис. 7, ж, з).

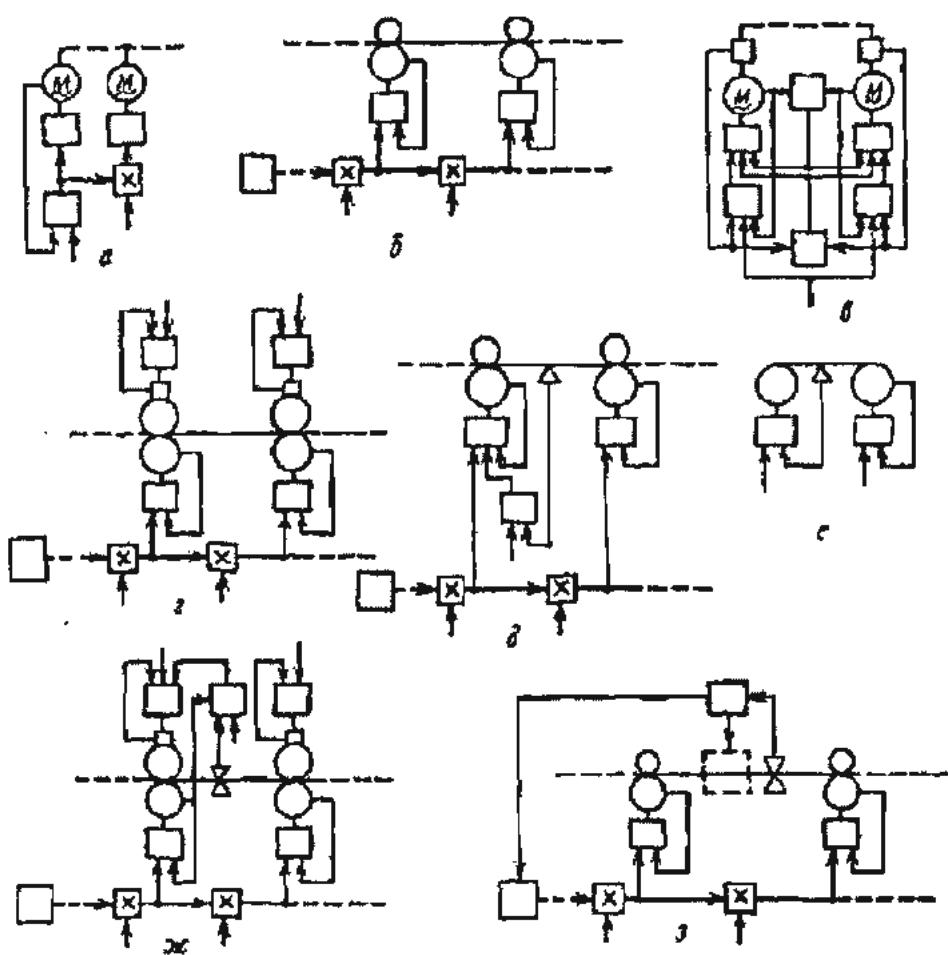


Рис. 7. Функциональные схемы систем управления типовыми технологическими агрегатами

В АТК разного производственного назначения могут использоваться любые сочетания типовых функциональных модулей. В соответствии с изложенным имеется возможность создания базы программных моделей типовых механизмов и технологических агрегатов, а также программных блоков, реализующих алгоритмы управления механизмами и агрегатами, которые обеспечат решения следующих задач:

1. Отработку алгоритмов управления механизмами, агрегатами и комплексами с имитацией основных технологических режимов.
2. Подготовку программного обеспечения компьютерных систем управления конкретными объектами на основе базы программных блоков.
3. Исследование возможностей использования типовых компьютерных средств автоматизации для реализации гибко программируемых систем управления механизмами, агрегатами и комплексами.

Типовые модули процессов в сочетании с типовыми приводными модулями позволяют уже сейчас иметь готовые модели ряда технологических процессов и мехатронных систем и проектировать полный комплект средств автоматизации для каждого из них. При этом резко сокращаются затраты на проектирование и время, отводимое для проектных изысканий.

Как видно из изложенного, в современном электроприводе можно выделить четыре основные части: электрическую машину, преобразователь электроэнергии, мехатронную систему и компьютерную систему управления. При создании эффективных и конкурентоспособных приводов необходимы специалисты как минимум пяти направлений: механики, электромеханики, электротехники, специалисты в области систем управления и, наконец, специалисты в области компьютерных средств автоматизации. Разрозненность усилий отдельных организаций и предприятий на территории бывшего СССР неизбежно приведет и приводит к вытеснению отечественных приводов с активного внутреннего рынка и замене их зарубежными. И это понятно, ибо после акционирования и раз渲ла электротехнической промышленности, которая являлась основой для создания и разработки отечественных приводов, достойных конкурентов иностранным корпорациям у нас нет.

Отдельные попытки использовать металлоемкие производства на территории России для выполнения силовой части привода и заимствования интеллектуальной части приводов у иностранных фирм неизбежно приведут к полной иностранной зависимости наших основных энергопотребляющих производств.

Подобную ситуацию можно сравнить с неким живым организмом, где скелет, желудочно-кишечный тракт и легкие принадлежат ему от рождения, а мышцы, мозг, сердце и нервная система пересажены от иностранного организма. Каждому рационально мыслящему человеку понятно, что подобные химеры нежизнеспособны и что необходимо предпринять энергичные консолидирующие усилия по созданию в России интеллектуального центра, который должен направлять развитие электропривода, как одного из важнейших компонентов промышленного потенциала страны. Таким центром, на наш взгляд, мог бы быть АО «Электропривод», но для этого необходимо срочно начать целенаправленную организационную работу со всеми еще «живыми» электротехническими фирмами с целью сохранения унификации, которая была в СССР, и развития производства новой элементной базы по согласованным техническим условиям. Назрела необходимость разработки национальной программы развития электротехнической промышленности.

Такая работа может вестись по многим наблюдениям. Но толчком для нее должно послужить включение электроприводов в перечень оборудования, подлежащего обязательной сертификации. Именно сертификация может явиться точкой для энергичного воздействия на ответственного производителя с целью координации усилий по активному обслуживанию внутреннего рынка высокотехнологичными современными системами автоматизированного электропривода.

1. ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ

1.1. Общие понятия

Изделием называется любой предмет или набор предметов производства данного предприятия. Различают изделия основного производства для поставки и последующей реализации и изделия вспомогательного производства для собственных нужд предприятия (например, инструмент, оснастка, штампы и др.). ГОСТ 2.101-68 устанавливает следующие виды изделий: детали, сборочные единицы, комплексы, комплекты.

Деталь – это единое изделие из однородного материала без применения сборочных операций.

Сборочная единица – это изделие из составных частей, соединенных между собой на предприятии сборочными операциями (свинчиванием, сваркой, пайкой и пр.), например, трансформатор, электронная плата с навесными элементами, панель управления и т. д.

Комплекс – это два или более изделий, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями, но предназначенных для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций. Примером комплекса может служить регулируемый электропривод, включающий в свой состав преобразователь, трансформатор, двигатель, датчики обратных связей, аппаратуру управления и сигнализации. В комплекс, кроме сборочных единиц, выполняющих основные функции, могут входить детали, сборочные единицы и комплекты, используемые для вспомогательных операций (монтаж, измерения и пр.).

Комплект – это два или более изделий, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями и имеющих общее эксплуатационное значение вспомогательного характера, например, комплект запасного инструмента и приспособлений (ЗИП), комплект инструмента, программатор для перезаписи служебных программ и др.

Системный подход к проектированию решает задачи создания унифицированной серии изделий одного функционального назначения в заданном диапазоне изменения главного параметра. Например, при создании тиристорных преобразователей питания двигателей постоянного тока для приводов подачи металлорежущих станков определяются диапазоны мощностей и скоростей вращения двигателей для всех типогабаритов станков, на которых предполагается применение разрабатываемых приводов. Далее разрабатываются унифицированные схемные решения для всей серии приводов с полным подобием схем управления и необходимыми модификациями силовой части. Очевидно, что выбор рациональных границ диапазонов мощностей является технико-экономической задачей, причем критерий определяет конечный эффект от применения унифицированной серии по сравнению с применением ряда изделий индивидуальных конструкций. Процесс проектирования упрощается путем применения соответствующих методов конструирования.

Геометрический метод решает задачи обеспечения точных связей при взаимном расположении элементов. Этот метод позволяет получить требуемую точность связей элементов и правильную геометрию их размещения, однако не решает вопросы возникновения деформаций из-за нагрузок.

Машиностроительный метод учитывает нагрузки в подвижных и неподвижных элементах конструкций и позволяет рассчитать статические и динамические деформации основных элементов. При расчете электроприводов этот метод позволяет определить параметры упругой системы механических передач, правильно произвести приведение многомассовой системы к одно-, двух-, трехмассовой, оценить резонансные частоты.

Топологический метод позволяет графически представить взаимное расположение элементов конструкции с учетом их внутренних свойств и связей. Этот метод успешно используют при разбиении общей схемы на узлы, взаимном размещении элементов на печатной плате или монтажной панели, трассировке кабельных цепей и т. п. При этом попутно возможно решение задач сокращения числа и длины проводников разъемных и паяных соединений.

Конструирование является процессом отражения в чертежах структуры, размеров, формы, материала, внутренних и внешних связей будущего изделия. Каждая деталь, сборочная единица, комплекс или изделие должны быть изготовлены и смонтированы так, чтобы полностью удовлетворять техническому заданию (ТЗ), должны быть изготовлены с наименьшими затратами труда, материалов, технологической энергии.

К механическим деталям электроустановок предъявляются общие требования: прочность, жесткость, износостойкость, точность, надежность, технологичность и др.

Вид и состав технических требований (ТТ) к электротехническим элементам установки определяется видом и составом электрооборудования, принципиальными схемными решениями, общими ТТ на все изделие в целом.

1.2. Стадии разработки конструкторской документации

Проектирование объектов различного уровня сложности является процессом, в котором принимают участие коллективы специалистов разного профиля. Организация, заказывающая проект, называется «заказчик», а организация, реализующая требования «заказчика» в виде конструкторско-технологической документации на изготовление изделия, – «исполнитель».

Взаимоотношения между этими организациями регламентируются договором (контрактом) – юридическим документом, определяющим отношения сторон на различных стадиях. В договоре предусматриваются взаимные обязательства сторон, объем, этапы работы и их сроки, финансирование.

Техническая сторона договора отражается в ТЗ, которое разрабатывается «исполнителем» на основании общих ТТ «заказчика» на создаваемый объект.

ТЗ согласовывается и подписывается обеими сторонами, а также организациями-соисполнителями.

ГОСТ 2.103-68 устанавливает следующие стадии разработки конструкторской документации (КД) на изделия всех отраслей промышленности:

- а) техническое задание;
- б) техническое предложение;
- в) эскизный проект;
- г) технический проект;
- д) рабочий проект.

На стадиях а), б), в) в состав работ могут быть включены экспериментальные работы (ЭР) и научно-исследовательские работы (НИР), уточняющие технические вопросы создания изделия.

ТЗ является основанием для проведения разработки изделия и определяет назначение, состав изделия, ТТ, надежность, конструктивно-технические требования, технологические требования, порядок испытаний и приемки опытного образца, сроки разработки.

Назначение определяет области применения устройства и характер выполняемых функций.

Состав изделия определяют перечень устройств, входящих в изделие, обслуживающее оборудование, комплект ЗИП, упаковочные средства, КД.

Технические требования могут быть общими и частными. В общих ТТ указываются условия эксплуатации, транспортирования и хранения с характеристиками механических и климатических воздействий, электрическая прочность, помехозащищенность, сопротивление изоляции. В частных ТТ приводятся статодинамические показатели системы регулирования, номинальные значения входных и выходных параметров составляющих элементов, показатели быстродействия, надежности и т. п.

Конструктивно-технические требования предъявляются к комплектующим (покупным) элементам, типогабаритам изделия и его составным элементам, к модульности конструкции, к технологичности изготовления деталей, сборочных единиц и комплектов. Здесь же производится ориентировочная номенклатура КД.

Порядок испытаний и приемки опытных образцов регламентируется программой-методикой испытаний (ПМ), в которой устанавливаются основные проверяемые параметры и показатели, а также методы проверки.

После составления ТЗ и заключения договора начинается разработка изделия. Весь процесс разработки делится на два крупных этапа: научно-исследовательская разработка и опытно-конструкторская разработка (ОКР). В отдельных случаях, когда весь комплекс технических вопросов достаточно ясен, этап НИР может быть заменен экспериментальными работами, определяющими отдельные вопросы увязки составных частей изделия. Предварительные расчеты, технические и технико-экономические обоснования целесообразности разработки относятся к НИР. Результатом НИР является

В соответствии с ГОСТ 2.118-73 ТПр устанавливает: варианты возможных решений и выбор оптимального; основные технические и организационные решения по выполнению ТЗ; патентную чистоту; рациональные приемы проектирования.

Стадия ОКР начинается с эскизного проекта ЭП. Эскизный проект по ГОСТ 2.119-73 выполняют для определения основных технических решений, обеспечивающих ТЗ:

- проверяют верность принципиальных, конструктивных, схемных и других решений;
- выбирают оптимальный вариант по обеспечению ТЗ;
- производят предварительные расчеты надежности, оценку технологичности, уровня стандартизации и унификации;
- изготавливают и испытывают макеты для решения частных технических вопросов;
- проверяют на соответствие требованиям безопасности, производственной санитарии и экологии;
- составляют перечень дополнительных работ, не учтенных в ТЗ.

После согласования и утверждения ЭП принимается за основу выполнения технического проекта (ТП), который по ГОСТ 2.120-73 представляет окончательные технические решения по функционированию, структуре и конструкции объекта. В ТП производится детальная проработка схемных и конструктивных решений. КД должна содержать чертежи на все детали, общие виды, а также материалы по защите от внешних воздействий, по доступу при ремонте и контроле, диагностике, привязке комплекта электрооборудования к промышленной установке, по функциям оператора и конструкции органов управления. Уточняются принципиальные вопросы технологии и стоимости с учетом особенностей предприятия-изготовителя.

На этапе рабочего проекта (РП) разрабатывается весь комплект КД, изготавливаются опытные образцы, создаются программы-методики (ПМ) испытаний и проводятся испытания. По результатам испытаний производится корректировка КД, и выпускаются технические условия (ТУ) на изделия.

1.3. Стадии технологической подготовки производства

Технологическая подготовка производства (ТПП) нацелена на разработку технологической документации (ТД) для производства нового изделия. ТД включает в себя:

- типовые технологии на базе существующих;
- обозначения и классификационные группы деталей и сборочных единиц;
- типовые маршруты изготовления деталей, сборочных единиц, комплексов и изделия в целом;
- типовые операции изготовления;
- нормы затрат времени на труд и затрат на материалы;

- извещения об изменениях;
- индивидуальные технологические процессы;
- заказы на новое технологическое оборудование;
- чертежи оснастки, калибров, шаблонов и инструмента второго порядка.

После разработки ТД производится выверка, отладка и сдача технологических процессов цехам и изготовление опытного образца (опытной партии для крупносерийного производства).

В ходе разработки ТД решаются вопросы унификации и стандартизации технологических процессов на основе:

- типизации процессов;
- типизации групповых технологий;
- унификации ТД;
- унификации оснастки, приспособлений и инструмента;
- применения универсальных сборочных и наладочных приспособлений.

При обосновании технологических процессов решается оптимизационная задача минимизации суммы затрат на производство в зависимости от объемов производства.

Типичный график ТПП включает в себя следующие стадии:

- разработка ТЗ на ТПП;
- разработка технического предложения, эскизного, технического и рабочего проекта;
- изготовление моделей, макетов;
- разработка маршрутных карт;
- производство оснастки, приспособлений, инструмента;
- изготовление опытных образцов (партий);
- испытания опытных образцов (партий);
- корректировка КД и ТД.

1.4. Задачи основных служб производства

В современных условиях в результате процессов дифференциации, интеграции и реструктуризации производств поменялись некоторым образом задачи и отдельные функции подразделений предприятия, однако в целом функциональное назначение и их цели сохранились. Всю техническую подготовку производства осуществляют отделы главного конструктора (ОГК) и главного технолога (ОГТ), которые обеспечивают разработку конструкторской подготовкой производства (КПП) и технологической подготовкой производства (ТПП).

Планово-экономический отдел (ПЭО) разрабатывает планы производства и технического перевооружения на базе маркетинговых исследований и внутrizаводского хозрасчета; анализирует цены, себестоимость, затраты на производство нового изделия и его экономическую эффективность; ведет статистический учет по статьям затрат и осуществляет отчетность вышестоящим и проверяющим органам.

Бухгалтерия осуществляет учет движения (поступления и расходования) материальных и денежных средств; контролирует объемы производимых работ, денежные и материальные затраты на производство, реализацию продукции и выполнение финансового плана; выявляет потери в ходе производства; подготавливает бухгалтерские отчеты для проверки деятельности предприятия.

Отдел труда и зарплаты (ОТЗ) нормирует трудозатраты подразделений и контролирует расходование; осуществляет меры по организации труда, системы и формы заработной платы, по снижению трудоемкости; контролирует расход фонда заработной платы и количество штатных единиц по подразделениям.

Производственно-диспетчерский отдел (ПДО) разрабатывает производственные программы и графики производства; осуществляет организацию ритмичной работы, оперативный контроль, регулирование и обеспечение производства.

Службы снабжения (отдел технического снабжения (ОТС) и отдел внешней комплектации (ОВК)) обеспечивают производство в требуемые сроки необходимыми материалами и комплектующими изделиями.

В зависимости от функций предприятия в его структуре могут быть следующие вспомогательные инженерные службы: отделы главного механика (ОГМ), главного энергетика (ОГЭ), главного метролога (ОГМетр), технического контроля (ОТК) и др.

1.5. Состав документации технической подготовки производства

Вся документация технической подготовки подразделяется на *нормативно-техническую документацию* (НТД), КД и технический документ (ТД). НТД представляет собой комплекс национальных стандартов, отраслевых стандартов, стандартов организаций (СТО), руководящих технических материалов (РТМ). Совокупность норм, правил и требований НТД обеспечивает возможность выполнения основных требований к изделиям: единство подхода к разработке, изготовлению и эксплуатации объекта; унификация технических решений; удешевление производства на всех стадиях разработки и изготовления; создание САПР.

КД и ТД должны соответствовать требованиям единой системы конструкторской документации (ЕСКД), представляющей собой комплекс национальных стандартов по порядку разработки, оформлению и обращению КД и ТД. Обозначение стандартов ЕСКД строятся по классификационному признаку, например:

ГОСТ 2.702–75

Год издания
№ стандарта в группе
Классификационная группа
Класс (2 - стандарты ЕСКД)

Классификационные группы подразделяются:

- 0 – общие положения;
- 1 – основные положения;
- 2 – классификация и обозначения изделий в КД;
- 3 – общие правила выполнения чертежей;
- 4 – правила чертежей машиностроения и приборостроения;
- 5 – правила обращения КД (учет, хранение, изменения, дублирование);
- 6 – правила выполнения эксплуатационной и ремонтной документации;
- 7 – правила выполнения схем;
- 8 – правила выполнения строительных документов;
- 9 – прочие.

Виды и комплектность КД на изделия устанавливает ГОСТ 2.102–68. По видам КД подразделяется на графические (чертежи, схемы) и текстовые (пояснительная записка) документы, устанавливающие состав и устройство изделия, данные для разработки, изготовления и эксплуатации. На все виды КД присваиваются следующие литеры:

- техническое предложение – П;
- эскизный проект – Э;
- технический проект – Т;
- корректировка КД – О;
- откорректированная КД – А;
- серийное производство – Б;
- индивидуальное производство – И.

На все виды схем присваиваются следующие индексы:

- электрические схемы – Э;
- гидравлические схемы – Г;
- пневматические схемы – П;
- кинематические схемы – К;
- оптические схемы – О;
- комбинированные схемы – С.

После индекса в обозначении схемы приводится цифра типа схемы:

- структурная схема – 1;
- функциональная схема – 2;
- принципиальная схема – 3;
- схема соединений – 4;
- общая схема – 6;
- схема расположения – 7;
- схема совмещения – 8.

2. ОБЩИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К КАЧЕСТВУ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ И ИХ ЭЛЕМЕНТОВ

2.1. Условия эксплуатации и основные сведения о качестве изделий

Под условиями эксплуатации понимается совокупность внешних факторов, существенно влияющих на работоспособность: температура окружающей среды, влажность, давление, вибрация, удары, атмосферные воздействия и т. п. Всю совокупность внешних воздействий можно разделить на климатические и механические (ГОСТ 16962–71).

По условиям эксплуатации электротехнические устройства можно подразделить на три группы: аппаратура, работающая в нормальных условиях (цех); в наземных естественных условиях (буровые установки, экскаваторная, автомобильная, судовая и другие виды аппаратуры); на борту космических аппаратов.

Условия эксплуатации ставят перед проектантом целый ряд проблем по обеспечению качества изделия на всех стадиях разработки, изготовления и эксплуатации. Таким образом, качество изделия определяется суммой составляющих: качеством КД, уровнем сертификации производства и качеством эксплуатации.

Качество КД определяется уровнем стандартизации, унификации и прогрессивности решений; металлоемкостью, энергоемкостью и ремонтопригодностью изделия.

Качество оборудования и инструмента определяется *сертификацией* производства, которая включает в себя оценку уровня, технических характеристик и технологических возможностей. Сертификация также подразумевает оценку качества сырья, материалов и комплектующих изделий, определяемых входным контролем, и оценку уровня квалификации кадров на всех стадиях производства.

Качество изделия в целом характеризует:

- показатели *назначения* (производительность, себестоимость, чувствительность, маневренность, диапазоны мощностей, скоростей, температур и т. д.);
- показатели *надежности* (безотказность, долговечность, ремонтопригодность);
- *эргономические* показатели (гигиенические, антропометрические, физиологические и психологические свойства комплекса «человек-машина»);
- *эстетические* показатели (рациональность форм, информационная выразительность, целостность компоновки);
- *технологические* показатели (оптимальное распределение затрат материалов, энергии, труда и времени при КПП, ТПП, изготовлении и эксплуатации);
- показатели *транспортабельности* (свойства при упаковке, транспортировке, разгрузке/погрузке);
- показатели *унификации* (уровень насыщенности стандартными апробированными решениями);

- патентно-правовые показатели (степень обновления технических решений, патентная защита новых решений);
- экологические показатели (уровень вредного воздействия на окружающую среду);
- показатели безопасности обслуживающего персонала (уровень защиты, диагностики, индикации и сигнализации).

2.2. Конструктивно – технические требования

Этот вид требований подразделяют на общие эксплуатационные, общие конструктивные и специальные технические требования. Из общих требований вытекают частные требования, которые подразделяются на две группы:

- 1) эксплуатационные требования к корпусу устройства и компоновке в нем аппаратуры;
- 2) конструктивно-технологические и производственные требования.
 - Общие конструктивные требования* должны обеспечивать следующие показатели:
 - оперативность обслуживания (затраты времени, труда, энергии на запуск устройства, эксплуатацию и ремонт);
 - удобство обслуживания (легкость доступа к блокам, регулирующим элементам, измерительным приборам и контрольным гнездам);
 - безопасность обслуживания (установка блокировки, защитных кожухов, предупредительных надписей);
 - заданный срок службы;
 - приспособленность к хранению;
 - механическая прочность и жесткость, электрическая прочность;
 - устойчивость к воздействиям климатических факторов.
 - Специальные требования* определены областью применения проектируемого устройства и спецификой его эксплуатации (стационарная и подвижная аппаратура, морская и авиационная аппаратура и т. п.).
 - Эксплуатационные требования* к корпусу аппаратуры и компоновке элементов внутри корпуса должны обеспечивать следующие показатели:
 - рациональные габариты, объем, форма, масса;
 - устройство осмотра, регулировки, ремонта;
 - минимум внешних соединений (безошибочность и оперативность межблочных соединений);
 - защита от помех (экранирование, скрутка кабелей, оптимальный выбор длины и сечения кабелей);
 - обеспечение требуемой температуры, влажности, запыления внутри корпуса;
 - транспортабельность корпуса.
 - Конструктивно-технологические и производственные требования* обусловливают необходимость решения следующих задач:
 - сокращение номенклатуры элементов,

- технологичность изготовления деталей, узлов, сборочных единиц;
- прочность и долговечность (особенно важно для подвижных узлов);
- внешнее оформление (дизайн);
- метрологические требования (возможность контроля в процессе производства и эксплуатации встроенным в устройство средствами измерения с помощью специальных комплектов или стандартных измерительных средств).

2.3. Пример общих технических требований заказчика на электрооборудование гибкого производственного модуля модели 65Б90ПМФ4

1. Назначение. Станок должен обеспечивать:

1.1. Трехкоординатную обработку плоскостей с пяти сторон торцевым и концевым фрезерованием с применением угловых шпиндельных головок.

1.2. Сверление, расточку, зенкерование отверстий.

1.3. Нарезание резьбы.

1.4. Контурное фрезерование сложных поверхностей концевыми фасонными фрезами.

1.5. Шлифование плоскостей и сложных поверхностей с применением угловых головок.

1.6. Автоматическую смену инструмента минимум на 50 гнезд.

2. Основные функции

2.1. Обработка деталей по заданному криволинейному контуру, прямолинейным отрезкам.

2.2. Автоматическая смена инструмента (АСИ).

2.3. Автоматическая смена деталей (АСД).

2.4. Автоматическое распознавание инструмента (АРИ).

2.5. Автоматическое распознавание детали (АРД).

2.6. Система технической диагностики (СТД) всех важнейших узлов и систем станка.

2.7. Автоматическое управление режимами резания (АУР).

2.8. Автоматическая корректировка режимов резания (АКР) по результатам обработки первой детали.

2.9. Автоматическое измерение параметров инструмента (АИИ) и детали (АИД).

2.10. Программно-копировальное управление, обеспечивающее:

- режим программного управления от внешнего носителя управляющей программы или от ЭВМ верхнего уровня;

- режим прямой обработки по копири;

- режим записи управляющей программы по копири;

- режим приема-передачи управляющей программы в ЭВМ верхнего уровня.

2.11. Ручное управление от органов пульта управления.

3. Основные характеристики

3.1. Наибольший габарит дстали – 1800×800×800 мм.

- 3.2. Наибольшая масса детали – 25 т.
 - 3.3. *Диапазоны мощности нагрузки главного электропривода – 0,5...20 кВт, скорости вращения шпинделя – 2...3000 об/мин.
 - 3.4.*Диапазон усилий привода подачи при резании 0,5...20 кН; на быстром ходу – до 10 кН.
 - 3.5. *Скорость быстрого перемещения > 15м/мин.
 - 3.6. *Диапазон рабочих скоростей – 5...2000 мм/мин.
 - 3.7. Наибольшие перемещения по координатам: X – 2000 мм, Y – 1000 мм, Z – 1000 мм.
 - 3.8. Дискретность отсчета – не менее 1 мкм.
 - 3.9. Время смены инструмента (от «стружки» до «стружки») – не более 6 с.
 - 3.10. Время смены палеты с деталью – не более 20 с.
 - 3.11. Число гнезд в магазине АСИ – не менее 50 шт.
 - 3.12. Номенклатура обрабатываемых деталей до 1000 наименований.
- *Примечание: прикладываются нагрузочные и скоростные диаграммы для обработки типовых деталей
4. Состав комплекта электрооборудования
 - 4.1. Низковольтное комплектное устройство со следующими элементами:
 - 4.1.1. Следяще-регулируемые электроприводы подачи по трем координатам.
 - 4.1.2. Следяще-регулируемый главный электропривод.
 - 4.1.3. Контроллер электроавтоматики.
 - 4.1.4. Силовая контакторно-релейная аппаратура.
 - 4.1.5. Силовые трансформаторы питания электроприводов подачи и главного движения.
 - 4.1.6. Регистрирующая, показывающая и сигнальная аппаратура.
 - 4.1.7. Силовые защитные реакторы.
 - 4.1.8. Монтажная арматура.
 - 4.1.9. Оболочка низковольтного комплектного устройства (НКУ) со встроенными вентиляторами и фильтрами.
 - 4.2. Устройство числового программного управления (УЧПУ) со следующими блоками:
 - 4.2.1. Монитор (дисплей).
 - 4.2.2. Клавиатура управления.
 - 4.2.3. Центральный процессор с требуемыми объемами памяти и требуемым программным обеспечением, реализующий исполнение заданных функций.
 - 4.2.4. Программатор для перезаписи программ пользователя.
 - 4.2.5. Дисковод для записи управляющих программ с внешнего носителя.
 - 4.2.6. Контроллеры связи УЧПУ с датчиками обратных связей, НКУ, ЭВМ верхнего уровня, дисплеем.
 - 4.2.7. Исполнение устройства – стационарное стоечное с выносным дисплеем и клавиатурой управления, расположенными на пульте управления станка.
 - 4.3. Электрические машины.

4.3.1. Вентильные или частотно-регулируемые электродвигатели подачи со встроенными электромагнитными тормозами.

4.3.2. Частотно-регулируемый асинхронный электродвигатель главного движения.

4.3.3..Электродвигатели вспомогательных движений: транспортера-стружкоуборщика; роботов-манипуляторов смены инструмента и детали; гидростанции; вентиляции; зажима инструмента.

4.4. Датчики обратных связей.

4.4.1. Датчики линейных перемещений на три координаты.

4.4.2. Датчик позиционирования шпинделя.

4.4.3. Датчики силовых параметров резания (ток, мощность, момент, усилие, вибрации несущей системы) для систем АУР, СТД.

4.4.4. Датчики контакта инструмента с деталью и инструментом для систем АИИ, АИД.

4.4.5. Копировальный прибор.

4.4.6. Датчики распознавания инструмента.

4.4.7. Конечные выключатели положения для ограничения ходов по координатам роботов-манипуляторов.

4.5. Кабельные изделия.

4.5.1. Связь УЧПУ с датчиками обратных связей.

4.5.2. Связь УЧПУ с пультом управления.

4.5.3. Связь электродвигателей с НКУ.

5. Технические требования к НКУ

5.1. Условия эксплуатации – нормальные цеховые; температура окружающей среды – 10...35 °С; влажность – 50...85 %; атмосферное давление – 0,09...0,10 МПа; группа по агрессивности среды – С (средняя степень агрессивности); группа условий эксплуатации УХЛ; категория размещения – 4.

5.2. Степень защищенности оболочки – IP54 (пылевлагонепроницаемое).

5.3. Обслуживание – двухстороннее.

5.4. Габариты – не более 800×3000×2200 мм.

5.5. Напряжение – трехфазное 380 В +10 % – 15 %, частота 50 Гц.

5.6. Сопротивление изоляции – не менее 1 МОм, испытательное напряжение – не менее 2 кВ.

5.7. Силовые шины должны обеспечивать наибольший ударный ток – 30 кА.

5.8. Расположение оперативно обслуживаемых аппаратов на высоте не менее 600 мм на блочно-реечной конструкции; установка силовых трансформаторов – напольная; установка силовых реакторов – накрышная открытая.

5.9. Соединение внешних устройств – разъемное (внутри панелей НКУ соединение «клеммник – разъем»).

5.10. Монтаж цепей управления НКУ – гибким монтажным медным проводом $\varnothing \geq 0,75$ мм; монтаж силовых цепей – монтажным медным проводом требуемого диаметра. Цвет проводов силовых цепей – черный; цепи

управления переменного тока – красный, цепи управления постоянного тока – синий, цепи зануления – желто-зеленый.

5.11. Допустимая вибрационная нагрузка по группе условий эксплуатации М8: частота 60 Гц, виброускорение $1g \text{ м/c}^2$.

6. ТТ к электроприводам подачи

6.1. Диапазон скоростей вращения при постоянном моменте 1:10 000.

6.2. Диапазон моментов (для всей гаммы ГПМ мод. 65Б) – 35...100 Н·м.

6.3. Максимальная кратность тока – не менее 4.

6.4. Основной режим торможения – рекуперация; аварийный режим – динамическое торможение; фиксация неподвижной координаты – электромагнитным тормозом.

6.5. Точность позиционирования – не менее 10 мкм/м, точность обработки круга $D = 100 \text{ мм}$ – менее 15 мкм при $n > 0,1n_h$.

6.6. Максимальная динамическая ошибка при $n = (0,01...0,1) n_h$ – не более 5 %.

6.7. Погрешность частоты вращения задана таблицей 2.1.

Таблица 2.1

Погрешность частоты вращения

n/n_h	Δ_h	Δ_p	K_h	$\Delta \Sigma$
1	0,5	0,5	0,1	2,0
0,1	2,0	2,0	0,1	10,0
0,01	5,0	5,0	0,2	15,0
0,001	10,0	10,0	0,25	25,0
0,0001	15,0	15,0	0,3	35,0

Определение погрешностей:

– при изменении нагрузки:

$$\Delta_h = \frac{n(\Gamma = 0,6) - n(\Gamma = 0,2)}{n(\Gamma = 0,6)} 100\%; \quad (2.31)$$

– при изменении температуры:

$$\Delta_\delta = \frac{n(\dot{\Theta} = 20^\circ) - n(\dot{\Theta} = 45^\circ)}{n(\dot{\Theta} = 45^\circ)} 100\%; \quad (2.32)$$

– при изменении напряжения сети U_C :

$$\Delta_u = \frac{n(U_C = 1,1) - n(U_C = 0,9)}{n(U_C = 1,1)} 100\%; \quad (2.33)$$

– при изменении направления вращения:

$$\Delta_p = \left| \frac{2(n_{np} - n_n)}{n_{np} + n_n} \right| 100\%; \quad (2.34)$$

– суммарная погрешность:

$$\Delta_{\Sigma} = |\Delta_h| + |\Delta_T| + |\Delta_u| + |\Delta_p|; \quad (2.35)$$

– неравномерность частоты вращения:

$$K_h = 2 \frac{n_{max} - n_{min}}{n_{max} + n_{min}}. \quad (2.36)$$

6.8. Динамические показатели.

Время разгона / торможения на $n_{ном}$ – не более 0,15 с.

7. ТТ к главному электроприводу

7.1. Диапазон скоростей вращения при постоянном моменте $D_1 > 1000$, при постоянной мощности $D_2 > 3$.

7.2. Диапазоны мощностей (для всей гаммы ГПМ 65 Б) 10...25 кВт.

7.3. Максимальная кратность тока – не менее 2.

7.4. Основной режим торможения – рекуперация, аварийный – динамическое торможение.

7.5. Точность позиционирования шпинделя менее 0,1°.

7.6. Погрешность частоты вращения задана таблицей 2.2 для $n < n_h$.

Таблица 2.2
Погрешность частоты вращения задана для $n < n_h$

Δ_{n_h}	Δ_T	Δ_u	Δ_p	K_h	Δ_{Σ}
2	0,5	0,5	1,	0,1	5

7.7. Динамические показатели.

Время разгона / торможения на $n = n_{max}$ – не более 0,5 с; перерегулирование – не более 5 %; моментная динамическая ошибка при набросе/бросе половины номинальной нагрузки при $n = n_h$; $\Delta n^* < 10\%$.

7.8. Максимальная частота вращения шпинделя – не менее 3000 об/мин.

8. Технические требования к системе управления (СУ). СУ должна обеспечивать:

8.1. Управление шестью следящими координатами, четырьмя – дновременно.

8.2. Стыковку с датчиками положения фотоимпульсного типа (6 координат).

8.3. Стыковку с релейно-контактными элементами электроавтоматики с общим числом входов/выходов не менее 1024/512, из них быстродействующих ($t_{ср} < 10$ мс) – не менее 32.

8.4. Стыковку с аналогово-цифровыми преобразователями сигналов датчиков обратных связей общим числом не менее 16. Размерность АЦП – не менее 10 + 1 знаковой. Время преобразования одного канала – не более 1 мс.

8.5. Стыковку с индикаторами контакта «Контакт-2» (деталь) и «Контакт-3» (инструмент).

8.6. Взаимодействие с интерфейсом RS232 для подключения ЭВМ верхнего уровня; систем идентификации АРИ, АРД типа «Balluff»; контроллера электроавтоматики; пульта управления.

8.7. Ввод управляющих программ от гибкого магнитного диска (ГМД) или от ЭВМ верхнего уровня.

8.8. Линейную интерполяцию одновременно по восьми осям, покруговую интерполяцию одновременно – не менее трех.

8.9. Скорость быстрых ходов не менее 15 м/мин при дискретности перемещения 1мкм.

8.10. Объем памяти управляющей программы (УП) – не менее 1 Мбайт; программ пользователя – не менее 1Мбайт; из них в ППЗУ – не менее 256 Кбайт.

8.11. Программирование на языке формального пользователя высокого уровня для обеспечения функционирования программ: электроавтоматики, систем АУР, ТД, АРД, АРИ, АИИ, АИД, копировально-программного управления.

9. Требования к программному обеспечению

9.1. Перемещения могут программироваться в миллиметрах посредством функций G70 (линейная интерполяция) или G71 (круговая интерполяция) в пределах от +(-) 0.001 до +(-) 9999.99.

Круговые координаты программируются в пределах +(-) 0.001 до +(-) 9999.99 градусов.

9.2. Индикация осуществляется в виде двух видеокадров. Первый используется в процедурах редактирования, просмотра списка программ, таблиц корректоров, исходных точек и срока службы инструмента. Второй визуализирует название программы, время отработки, сообщения оператору, запрограммированные и фактические размеры по осям, функции G (вид интерполяции), T (код инструмента), S (обороты шпинделя), F (скорость подачи), M (технологические команды), исходные точки корректора, процентное использование мощности, номер кадра, повтор циклов и подпрограмм.

9.3. Управляющие программы заносятся от ГМД, ЭВМ верхнего уровня или клавиатуры УЧПУ. Объем памяти УП – 32 000 символов. Введенные символы могут быть воспроизведены на мониторе и модифицированы по средствам удаления, вставки и модификации кадров; эти операции могут осуществляться во время обработки.

9.4. Режимы работ:

- выполнение кадров, введенных с клавиатуры;
- отработка УП в автоматическом режиме;
- отработка УП по кадрам;
- отработка безразмерных ручных перемещений;
- отработка фиксированных ручных перемещений;

- автоматическое продолжение работы после прерывания цикла обработки;
- выход в «0» станка.

9.5. Для исполнения ручных перемещений может быть использован штурвал (задающий тахогенератор).

9.6. Проверка УП по визуализации кадров на мониторе без отработки перемещений и с обработкой на холостом ходу.

9.7. Автоматическая компенсация люфта при изменении направления движения.

9.8. Автоматическая компенсация кинематических погрешностей винта, непараллельности, неплоскости. Количество точек компенсации – не менее 256 для каждой оси с линейной интерполяцией.

9.9. Изменение скорости подачи в УП корректором в пределах 0...25 %, скорости вращения шпинделя – 75...125 %.

9.10. Диагностика.

Осуществляется непрерывный контроль за работой центральной вычислительной системы, датчиков обратных связей, кабельных прокладок, за исполнением технологических команд, за температурой электрических машин внутри НКУ, за стойкой управления, напряжением питания, переполнением памяти и др. Осуществляется тестовый контроль по выбору оператора: всех электроприводов, датчиков обратных связей, исполнения стандартных циклов и др. Осуществляется аттестация станка по всем видам тестового контроля, проверка люфтов, кинематических погрешностей и др.

9.11. Постоянные циклы.

С помощью этих циклов программируется ряд операций (сверление, нарезание резьбы, расточка и т. д.). Последовательность циклов:

- быстрое позиционирование к оси отверстия;
- быстрый подход к плоскости обработки;
- установка рабочей скорости до запрограммированного размера Z;
- функция цикла на выходе из отверстия;
- ускоренный возврат на исходную позицию.

9.12. Для осуществления параметрического программирования существует режим калькулятора для вычисления функций: сложение, вычитание, деление, $\sin x$, $\cos x$, $\operatorname{tg} x$, $\arcsin x$, $\arccos x$, $\operatorname{arctg} x$, \sqrt{X} , $|X|$, целая часть X, \bar{X} .

9.13. Геометрическое программирование.

С помощью этой функции можно составить УП по эскизу детали с использованием точек начала отсчета, конечных точек, прямых отрезков, окружностей и дуг окружностей. Могут использоваться декартовые и полярные координаты.

9.14. Запись программ пользователя (электроавтоматика АУР, АИД, АИИ, СТД и др.) осуществляется с помощью языка высокого уровня СИПРОМ.

3. ПРЕДПРОЕКТНЫЕ РАСЧЕТЫ НА СТАДИИ РАЗРАБОТКИ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ

3.1. Общие положения

Технологические процессы разнообразны по своему содержанию и области использования. Еще более разнообразны производственные машины, осуществляющие эти процессы. Можно выделить группы оборудования, имеющего общность характера выполняемых операций и принцип действия:

- турбомеханизмы: насосы, вентиляторы, турбокомпрессоры, гребные электроустановки;
- грузоподъемные механизмы: краны, лифты, подъемники и др.;
- транспортные машины: конвейеры, транспортеры, эскалаторы и др.;
- металлорежущие станки;
- механизмы возвратно-поступательного движения: поршневые насосы и компрессоры, прессы;
- экскаваторы;
- прокатные станы.

Приведенный перечень достаточен для изучения принципов проектирования электроприводов различного назначения.

Классификация типовых производственных механизмов в зависимости от режима работы и характера статических и динамических нагрузок приведена на рис. 3.1 (представленная схема сгруппирована по принципу идентичности механических характеристик и общности подхода к выбору мощности). Характерные графики *моментов сопротивления* этих механизмов приведены на рис. 3.2. Характеристика 1 соответствует моменту сопротивления M_c главных приводов токарных или фрезерных станков при условии постоянства глубины резания и подачи на оборот (на зуб фрезы). Если при изменении скорости вращения шпинделя станка скорость подачи постоянна, то подача на оборот детали (зуб фрезы) изменяется, и характеристика M_c имеет вид 2. Характеристика 3 относится к приводам подачи механизмов с сухим и вязким трением, а также трением покоя. Характеристика 4 отвечает условиям работы грузоподъемных механизмов с активным моментом, обусловленным весом груза при подъеме/опускании и реактивным моментом сухого трения. Для турбомеханизмов (насосов, вентиляторов, компрессоров, гребных электроустановок) момент на валу существенно зависит от скорости (кривая 5).

В общем случае эта зависимость аппроксимируется уравнением

$$M_c = a\omega^2 + b\omega + c. \quad (3.1)$$

К электроприводу, как и к другим элементам электрооборудования электротехнических установок, предъявляются общие ТТ:

1. Обеспечение заданного технологического процесса с требуемой производительностью.

2. Обеспечение требуемых условий пуска, торможения, реверсирования и регулирования скорости.
3. Ограничение динамических перегрузок.
4. Принцип управления (ручное, автоматическое, программное и т. п.).
5. Требования надежности – заданное время наработки на отказ.
6. Требования по конструктивной защищенности: степень защиты, исполнение по условиям окружающей среды.
7. Экономические показатели: цена и затраты на эксплуатацию.
8. Экологические требования (уровень шума, вибраций, ограничение влияния на питающую сеть).

После разработки ТТ проектирование ведется в такой последовательности:

- расчет статических нагрузок и построение нагрузочных диаграмм и тахограмм;
- выбор системы электропривода на основании предварительного технико-экономического анализа;
- выбор параметров механического привода (редукция, радиус приведения, шаг винта и т. п.);
- выбор типа электродвигателя;
- предварительный выбор электродвигателя по мощности, номинальной и максимальной скорости;
- расчет динамических нагрузок и уточнение нагрузочной диаграммы;
- проверка двигателя на нагрев, перегрузочную способность, по условиям пуска, торможения, реверсирования, регулирования;
- выбор источника электропитания двигателя;
- разработка функциональной и принципиальной схем;
- составление структурной схемы и расчет параметров регуляторов;
- расчет статических характеристик;
- расчет или моделирование переходных процессов.



Рис. 3.1. Классификация типовых механизмов

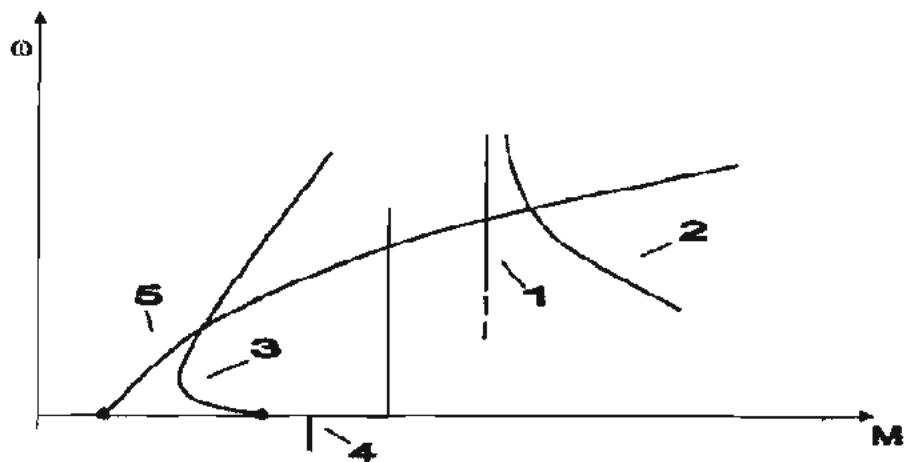


Рис. 3.2. Моменты сопротивления некоторых типовых механизмов

4. ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ПРОЕКТИРУЕМОГО УСТРОЙСТВА

Основные определения. Свойство устройства выполнять требуемые функции при сохранении установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах называется *надежностью*. При этом под устройством понимается совокупность совместно действующих элементов, блоков элементов, систем, предназначенных для самостоятельного функционирования и выполняющих какую-либо функцию технологического процесса промышленной установки. Если элементы соединены в системе так, что отказ любого приводит к отказу всей системы, то соединение называют *логически последовательным* (основным). Если отказ системы наступает при отказе всех элементов, то это соединение *параллельное*.

Безотказность – это свойство устройства выполнять заданные функции в течение некоторого времени. Если отказ самоустраняется в течение времени, не влияющего на работоспособность устройства, то он называется *сбоем*.

Ремоутопригодность – свойство устройства к приспособлению для предупреждения, обнаружения отказов и восстановления работоспособности после их наступления. Если после отказа устройство (элемент) не подлежит ремонту, то оно является *невосстанавливаемым*, в противном случае – *восстанавливаемым*.

Долговечность – свойство устройства сохранять работоспособность до наступления предельного состояния, после которого ремонт невозможен в установленной системе технического обслуживания. Время от начала эксплуатации до наступления предельного состояния называется *сроком службы или техническим ресурсом*.

Показатели надежности (основные) – вероятность безотказной работы, интенсивность отказов, средняя наработка на отказ.

Вероятность безотказной работы $P^*(T)$ – это вероятность того, что в течение заданной наработки T отказа не происходит. Статистическая оценка $P^*(T)$ – это отношение числа отказавших элементов к моменту T к числу работающих в начальный момент $t = 0$:

$$P^*(T) = n(T) / N(T). \quad (4.1)$$

Интенсивность отказов $\lambda(t)$ – это плотность условной вероятности возникновения отказа невосстанавливаемого устройства для момента t при условии, что для этого t отказ еще не произошел:

$$\lambda(t) = - dP(t) / P(t) dt. \quad (4.2)$$

Статистическая оценка $\lambda^*(t)$:

$$\lambda^*(t) = n(\Delta t) / N_t \Delta t, \quad (4.3)$$

где $n(\Delta t)$ – число отказавших элементов за период $t + \Delta t$; N_t – число работоспособных элементов к моменту t .

При начальных условиях $P(0) = 1$ решение (4.3) приводит к уравнению

$$P(t) = \exp \left[- \int_0^t \lambda(t) dt \right]. \quad (4.4)$$

Средняя наработка на отказ – это математическое ожидание наработки элемента (устройства) до первого отказа:

$$T_{CP} = \int_0^\infty P(t) dt. \quad (4.5)$$

Для восстанавливаемых устройств показателями безотказности являются вероятность наработки между отказами $P(T_3)$, параметр потока отказов $\Lambda(t)$, наработка на отказ t^*_H .

Параметр потока отказов $\Lambda(t)$ – плотность вероятности возникновения отказа восстанавливаемого устройства для рассматриваемого момента t . Статистическая оценка $\Lambda(t)$ аналогична (4.3):

$$\Lambda^*(t) = n' \Delta(t) / N \Delta t, \quad (4.6)$$

где N – число наблюдаемых устройств за период между отказами.

Наработка на отказ восстанавливаемого устройства:

$$t^*_H = 1 / \Lambda(t). \quad (4.7)$$

Показатели ремонтопригодности восстанавливаемого устройства – это вероятность $\Theta(t_3)$ восстановления устройства в течение заданного времени t_3 и среднее время восстановления t_B^* .

При этом

$$t_B^* = \int_0^\infty \Theta(t) dt. \quad (4.8)$$

Комплексные показатели надежности – коэффициент готовности

$$K_r = \frac{t_H^*}{t_H^* + t_B^*}, \quad (4.9)$$

и коэффициент технического использования

$$K_{th} = \frac{t_H^*}{(t_H^* + t_B^* + t_{ob})}, \quad (4.10)$$

где t_{ob} – суммарное время простоев из-за планового и внепланового технического обслуживания.

Поскольку время наработки на отказ и наработка между отказами являются случайными величинами, их количественная оценка зависит от закона

распределения. Статистические испытания множества электротехнических элементов и устройств показывают, что характер изменения интенсивности отказов $\lambda(t)$ во времени имеет три участка: начальный непродолжительный период T_1 снижения $\lambda(t)$ из-за скрытых дефектов элементов n_d из общей партии $N(o)$; продолжительный период нормального функционирования T_2 при постоянной интенсивности $\lambda(T_2) = \text{const}$; период старения элемента с увеличивающейся $\lambda(t > T_2)$. Поскольку начало третьего периода практически совпадает со сроком службы элемента, а $T_2 \gg T_1$ и $N(o) \gg n_d$, то обычно принимается $\lambda(t) = \lambda = \text{const}$. Значения λ для большинства электротехнических элементов и устройств широко приводятся в справочной литературе.

Если устройство состоит из n последовательно соединенных элементов с интенсивностью отказов λ_i , то

$$\lambda(t) = \sum_{i=1}^n \lambda_i . \quad (4.11)$$

Соответственно, вероятность безотказной работы

$$P_i(t) = e^{-\lambda_i t}; P(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t) . \quad (4.12)$$

Средняя наработка на отказ

$$T_{CPi} = \lambda_i^{-1}; T_{CP} = \left(\sum_{i=1}^n \lambda_i \right) . \quad (4.13)$$

Среднее время восстановления

$$\tau_b = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\lambda_i}{\lambda} \right) \tau_{bi} , \quad (4.14)$$

где τ_{bi} – время восстановления i -го элемента устройства.

Значение τ_b зависит главным образом от уровня технического обслуживания: квалификации персонала, наличия резервных элементов и устройств, условий эксплуатации, доступности элементов и устройств и т. д.

В инженерной практике для определения надежности устройств используется экспоненциальное распределение как модель отказов и распределение Эрланга как модель восстановления систем [6]. Оба закона полностью характеризуются постоянными значениями потока отказов Λ и среднего времени восстановления τ_b' . Оценка надежности электротехнических устройств на стадии проектирования сводится к определению этих величин.

При расчете Λ целесообразно использовать коэффициентный метод

$$K_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_b}, \quad (4.15)$$

где K_i – коэффициент надежности i -го элемента;

λ_i, λ_b – интенсивность отказов для i -го и базового элемента.

В справочниках приводятся значения K_i для различных элементов электротехнических устройств с учетом поправок на электрическую нагрузку P , температуру окружающей среды T° ос и время активной работы t_a :

$$K_i^1 = f(K_i, P, T^{\circ} \text{ ос}, t_a).$$

Таким образом, параметр потока отказов устройства при основном соединении элементов

$$\Lambda = \lambda_b \sum_{i=1}^m N_i K_i^1, \quad (4.16)$$

где N_i – число элементов i -го типа; m – число типов элементов в системе.

Наработка на отказ

$$t_n = \Lambda^{-1}. \quad (4.17)$$

Для лабораторных условий эксплуатации можно рекомендовать значение $\lambda_b = 0,03 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$, для нормальных заводских условий – $\lambda_b = 0,045 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$, для тяжелых условий – $\lambda_b = 0,10 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$.

Время восстановления τ_B^* различных электрических элементов задается в справочной литературе. Ориентировочно для радиоэлектронных элементов $\tau = 0,3 \dots 1,5 \text{ ч}$.

Полное время восстановления

$$\tau_B^* = \sum_{i=1}^m \left(\frac{N_i K_i^1}{\sum N_i K_i^1} \right) \tau_B^*. \quad (4.18)$$

Вероятность восстановления устройства за заданное время t_3 согласно закону распределения Эрланга

$$\Theta(\tau_3) = 1 - \left(1 + \frac{2\tau_3}{\tau_B^*} \right) \exp\left(-\frac{2\tau_3}{\tau_B^*}\right). \quad (4.19)$$

Найденные показатели надежности сравниваются с ТТ. Если расчетные значения ниже требуемых, то выявляются менее надежные группы элементов и принимаются следующие меры: снижение электрических нагрузок, замена элементов, облегчение условий эксплуатации, резервирование элементов.

Ориентировочные значения показателей надежности некоторых блоков электротехнических устройств приведены в таблице 4.1

Таблица 4.1
Ориентировочные показатели надежности электротехнических элементов

Показатель	τ_b^* , ч	K_i^1	T_n^* , ч
Элементы			
Блоки УБСР-АН	0,7	20	200 000
Блок СНФУП	2,0	300	50 000
Блок питания ТП	1,4	60	80 000
Комплектный тиристорный преобразователь	3,5 – 7,0	1000 – 1500	15 000 – 22 000

Одним из способов повышения безотказности устройств является повышение ремонтопригодности. Для любого технического устройства можно указать допустимое время простоя $\tau_{\text{доп}}$, в течение которого отказ и восстановление элемента не нарушает работоспособности объекта в целом. При этом под отказом понимается такой, который длится дольше $\tau_{\text{доп}}$. Если взамен отказавшего элемента в запасе имеется исправный, то не все r отказов элементов в процессе работы будут являться отказами устройства с учетом его восстанавливаемости:

$$r(\theta) = r[1 - \theta(\tau_{\text{доп}})]. \quad (4.20)$$

При этом наработка на отказ увеличится:

$$\tau_n^* = \frac{\tau_b^*}{1 - \theta(\tau_{\text{доп}})} = \frac{\tau_b^*}{(1 + \frac{2\tau_{\text{доп}}}{\tau_b^*})^{1/\frac{\tau_b^*}{2\tau_{\text{доп}}}}} \quad (4.21)$$

Коэффициент повышения безотказности:

$$\mu = \frac{\tau_n^*(\theta)}{\tau_b^*} = \frac{l'}{1 + \gamma}, \quad (4.22)$$

$$\text{где } \gamma = \frac{2\tau_{\text{доп}}}{\tau_b^*}$$

Таким образом, приведенная методика расчета позволяет оценить надежность устройства на стадии проектирования.

5. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТА

Применяемая прежде методика расчета экономической эффективности с применением нормативного коэффициента окупаемости (величине, обратной сроку окупаемости) в современных условиях совершенно неприемлема по нескольким причинам.

Во-первых, централизованное распределение фондов с выделением предприятию средств на различные нужды, в том числе на развитие производства, с некоторых пор не применяется, и поэтому поиск этих средств – внутреннее дело каждого субъекта. Даже участие в государственных и региональных научно-технических макропрограммах предполагает возврат затрат, возможно, на льготных условиях.

Во-вторых, спад промышленного производства и гигантский скачок инфляции в годы «реформаторства» РФ лишили все отрасли промышленности (кроме энергоресурсодобывающих) финансовых ресурсов, поэтому доказательство выгодности проекта является важнейшей задачей «Исполнителя» для привлечения инвесторов.

Поиск инвесторов следует начинать со смежных отраслей, где используется аналогичное оборудование. В ТЗ на проект нового электротехнического устройства должны быть четко обоснованы и выгодно выделены те показатели, которые позволяют повысить эффективность промышленной установки в целом. Например, повышение статодинамических показателей главного электропривода обжимных валков станов реверсивной и многоклетевой нереверсивной горячей прокатки позволит поднять производительность и качество проката, применение безколлекторных электродвигателей подачи шахтных угледобывающих комбайнов повышает уровень безопасности и т. д.

Вполне возможно, что потенциальные потребители немедленно согласятся на покупку нового изделия по взаимовыгодной цене, но инвестировать проект и затраты на новую технологию откажутся.

Единственным выходом из подобной ситуации представляется оформление банковского кредита.

Естественно, что затраты на новые материалы и комплектующие, возможное увеличение трудоемкости производства нового изделия войдут в себестоимость и, таким образом, в цену изделия, т. е. лягут на плечи потребителя.

Затраты на проектные работы, создание и испытания опытного образца, освоение производства должны быть погашены из прибыли «Заказчика».

Срок погашения этих затрат, т. е. кредита Зк, зависит от сроков, обусловленных трудоемкостью на создание новой техники, от уровня рентабельности (прибыльности) и объемов производства, процентной ставки кредита.

Трудоемкость научно-исследовательских и конструкторских работ (НИОКР), как показывает практика, имеет следующие примерные соотношения составляющих:

- | | |
|----------------------------|------------|
| - техническое задание | 5...10 % |
| - эскизный проект | 10...15 % |
| - технический проект | 30...40 % |
| - экспериментальные работы | 20...25 % |
| - рабочий проект | 30...40 %. |

Относительная стоимость первых трех этапов несколько выше последних за счет более высокой квалификации и, соответственно, тарифной ставки зарплаты исполнителей.

Так, в Ульяновском ГСКБ ФС в 1980 – 1985 гг. были созданы нормы трудоемкости проектных работ различных этапов (таблица 5.1).

Таблица 5.1
Нормы трудоемкости проектных работ

Вид документа	Единица измерения	Трудоемкость, ч	Квалификация исполнителя
1. Пояснительная записка ТЗ	1 страница	24	Вед. инженер
2. Чертежи ТЗ	A4	18	Вед. инженер
3. Чертежи ЭП, ТП	A4	18	Вед. инженер
4. Расчты ЭП, ТП	1 страница	10	Всд. инженер
5. Чертежи РП	A4	12	Инж. - констр. I категории
6. Пояснительная записка РП	1 страница	6	Инж. - констр. II категории

Коэффициент сложности работ приведен в таблице 5.2.

Таблица 5.2
Значение коэффициента сложности работ в зависимости от вида работ

Вид работ	Коэффициент сложности
Модернизация электрооборудования с заменой на аналогичное	1,0...1,2
Модернизация электрооборудования с заменой электроприводов и систем управления новых разработок	1,5...2,0
Пионерские разработки	2,0...3,0

Несмотря на некоторую условность вышеуказанных значений, они позволяют в первом приближении оценить трудоемкость и стоимость проекта.

К примеру, приближенная оценка трудоемкости проводимых в ГСКБ ФС НИОКР по созданию нового комплекта электрооборудования для гибкого производственного станочного модуля модели 65Б90ПМФ4 с МАСИ, автоматической сменой деталей, расширенными функциями диагностики, автоматического контроля точности обработки, адаптивного управления процессом резания составила:

- проектные работы – 2,5 чел. года;
- доработка алгоритмов управления системы ЧПУ нового поколения 4С (субподрядчик – НПО «Электронмаш») – 0,5 чел. года;
- испытания вентильных электроприводов подачи ЭПБ-1 (субподрядчик – ВНИИР) – 0,25 чел. года;
- разработка и испытания новых алгоритмов управления – 2,0 чел. года;
- разработка и испытания датчика момента (субподрядчик – «ВНИИИзмеритель») – 1,5 чел. года;
- комплексные испытания комплекта электрооборудования – 0,8 чел. года.

Фактически полная трудоемкость (с учетом новых разработок по механике станка) и сроки исполнения договора составили 12 лет и 1,5 года, стоимость договора (в ценах на 01 января 1989 г.) – отпускная цена 858,6 тыс. руб., из них:

1. Основная зарплата	58,0 тыс. руб.
2. Отчисления на соц. страх (39 %)	22,6 тыс. руб.
3. Накладные расходы (92 %)	53,3 тыс. руб.
4. Материалы и комплектующие,	163,0 тыс. руб.
из них:	
– система ЧПУ-4С	75,0 тыс. руб.
– комплектные электроприводы подачи (3 координаты) ЭПБ	28,0 тыс. руб.
– комплектный электропривод главного движения ЭПУ1-2Д	10,0 тыс. руб.
5. Договоры со сторонними организациями (НПО, «Электромаш», ВНИИР, ВНИИИзмеритель)	290,0 тыс. руб.
6. Возвратные отходы, вычитываются (стоимость проданных после испытаний комплектующих вместе со станком)	113,0 тыс. руб.
7. Командировочные расходы	12,0 тыс. руб.
8. Себестоимость	711,9 тыс. руб.
9. Прибыль (20 % от строк 1, 2, 3, 5)	85,0 тыс. руб.
10. Внепроизводственные расходы (3 %)	21,7 тыс. руб.
11. Оптовая цена	715,5 тыс. руб.
12. НДС (20% от строки 11)	143,1 тыс. руб.

Фактическая трудоемкость работ достаточно близко согласуется с расчетной.

Работы по освоению нового комплекта электрооборудования (разработка и освоение новых технологий) отнесены в данном случае на соисполнителей.

В случае, когда новое изделие разрабатывается и создается непосредственно «Исполнителем», необходимо учесть и эти сроки. Например, освоение в производстве новой серии электроприводов типа ЭПБ на Чебоксарском электроаппаратном заводе заняло около 0,5 года, освоение на НПО «Электронмаш» системы ЧПУ-4С нового поколения составило 0,8 года.

Очевидно, чем выше гибкость, флексибильность производства (приспособляемость к выпуску новых изделий), тем ниже сроки разработок и освоения, выше конкурентоспособность.

Таким образом, общий срок погашения кредита n складывается из m лет проведения НИОКР, k лет освоения производства и одного года на накопление прибыли P , достаточной для погашения кредита Z_k :

$$n = m + k + 1.$$

При единовременном погашении через n лет, т. е. без промежуточных выплат после $m + k$ лет, общая сумма долга при годовой процентной ставке α банка составит:

$$Z_n = Z_k \left(1 + \sum_{i=1}^n \alpha^i\right). \quad (5.1)$$

Следует отметить, что плановые расходы прибыли предусматривают не только расходы на воспроизводство, но и социальные нужды, выплаты по дивидендам и т. д.

Обычно часть прибыли, затрачиваемой на развитие производства, составляет не более 20...30 %.

Существуют соответствующие экономико-математические методы оптимизации выплат долга за 1 год, однако динамизм конкретной производственно-социальной ситуации в основном определяет это обстоятельство. Наилучшая стратегия в этих условиях – чем раньше и больше произведено выплат за кредит, тем меньше затрат на выплаты по приросту долга от процентной ставки α .

Ранее планируемые для расчетов экономической эффективности нормативные коэффициенты окупаемости составляли для различных отраслей промышленности $E_k = 0,14...0,4$, что предполагало сроки окупаемости $T_{ok} = 2,5...7$ лет.

В современных динамических условиях иметь $T_{ok} > 1...2$ года считается нерентабельным.

Цена на продукцию определяется калькуляцией (табл. 5.3). Рассмотрим основные составляющие калькуляции на примере создания механотронного

модуля – комплектного вентильного электропривода подачи металлорежущего станка с микропроцессорным управлением.

1. Поскольку механотронный модуль исполняется в виде единой конструкции электродвигателя с преобразователем, следует предусмотреть материалы на электромонтажный конструктив преобразователя и на сам преобразователь:

- металл на электромонтажный каркас преобразователя (уголок, П-образный профиль и др.);

- фольгированный винилласт для монтажных плат;

- монтажный и обмоточный (для дросселя фильтра) провода;

- электротехническое железо для дросселя;

- расходные материалы (паяльный сплав, ингредиенты для пайки, компаунд для заливки щелей и отверстий с целью обеспечения требуемой степени защиты).

2. Основные комплектующие изделия:

- электродвигатель типа 4СХ;

- микропроцессорный набор для реализации функций управления преобразователем;

- полупроводниковые приборы и радиотехнические элементы (тиристоры, транзисторы, микросхемы, сопротивления, конденсаторы и пр.);

- монтажная арматура (разъемы, клеммы и др.);

- вентилятор для охлаждения преобразователя.

3. К полуфабрикатам собственного изготовления можно отнести дроссель фильтрующий, изготавливаемый, например, на обмоточном участке электромонтажного цеха (оценивается отдельно по цеховой калькуляции).

4. Технологическая энергия рассчитывается исходя из среднего времени наладки и приемно-сдаточных испытаний модуля и средней нагрузки модуля.

5. Транспортно-заготовительные расходы определены соответствующими калькуляциями поставщиков материалов и комплектующих. Очевидно, чем больше объем производства, тем меньше этих затрат приходится на единицу продукции. Также ясно, что чем более удалено месторасположение поставщика, тем выше эта часть расходов.

Исходными документами для отделов технического снабжения и внешней комплектации служат ведомости покупных материалов и комплектующих, входящих в состав КД.

6. К возвратным отходам относятся остатки металла и проводов на переплав и т. п.

8, 9, 14. Ввиду различных цеховых накладных расходов, средней квалификации персонала, трудоемкость, основная зарплата, дополнительная зарплата (премия рабочим-сдельщикам за качественное выполнение работ в срок) и общие цеховые затраты оцениваются отдельно.

11. Часть расходов по освоению новой техники (например, приобретение комплектующих на опытный образец) по согласованию с заказчиком может быть отнесена на себестоимость продукции и включена в цену изделия на срок до погашения кредита.

Калькуляция на изделия мод

№ п/п	Наименование статьи калькуляции	Сумма	
		%	Руб.
1	Основные материалы		
2	Покупные комплектующие изделия, полуфабрикаты и услуги кооперированных предприятий		
3	Полуфабрикаты собственного производства		
4	Топливо и энергия на технологические цели		
5	Транспортно-заготовительные расходы		
6	Возвратные отходы (вычитаются)		
7	ИТОГО прямых материальных затрат		
8	Заработка плата производственных рабочих		
9	Дополнительная зарплата производственных рабочих		
10	Отчисления на социальное страхование	39	
11	Расходы по освоению новых видов изделий		
12	Возмещение износа специального инструмента и приспособлений		
13	Расходы по содержанию и эксплуатации оборудования		
14	Цеховые расходы		
15	Общезаводские расходы		
16	Потери от брака		
17	Заводская себестоимость		
18	Внепроизводственные расходы		
19	Полная себестоимость		
20	Прибыль		
21	Оптовая цена	18	
22	Налог на добавленную стоимость 18.0 % от оптовой цены		
23	Свободная отпускная цена		

12. В ходе производства изнашиваются инструмент и специальные приспособления. Количественные и материальные затраты этих потерь учитываются в технологических расчетах подготовки производства.

13. В расходах по содержанию и эксплуатации оборудования рассчитываются не только расходные материалы (смазочные масла, обтирочные материалы и др.), но и амортизационные отчисления для замены отслужившего срок оборудования.

15. Общезаводские расходы, как и цеховые, задаются в процентах к основной зарплате производственных рабочих и содержат затраты на содержание аппарата управления технических, экономических, снабженческих, эксплуатационных служб и внепроизводственных зданий и помещений.

Доля этих расходов весьма значительна и для крупных предприятий машиностроения, приборостроения может достигнуть 600...1000 % (к основной зарплате производственных рабочих). Поквартальный учет этих затрат, как и цеховых расходов, ведут планово-экономические службы, которые пересчитывают процент отчислений.

16. Отдел технического контроля осуществляет текущий и статистический контроль брака продукции и устанавливает процент потерь от брака к суммарным цеховым расходам. Эти потери покрываются, как правило, из сумм дополнительной зарплаты цехов на премирование.

17. Заводская себестоимость складывается из сумм строк 5...16 (табл. 5.3).

18. Внепроизводственные расходы (не более 2..3 % от себестоимости) учитывают затраты на содержание социального обслуживания персонала на предприятии (столовые, медпункт, комнаты отдыха и т. п.).

19. Полная себестоимость – сумма строк 17, 18.

20. Планируемая прибыль устанавливается в размерах 20...5 % от полной себестоимости и согласуется с «Заказчиком».

Калькуляция в общем случае является внутренним документом, планирующим затраты и прибыль на плановые периоды. При заключении договора с «Заказчиком» подписывается протокол соглашения о договорной цене, в котором указываются ожидаемые затраты, т. е. полная себестоимость, планируемая прибыль, НДС (строка 18) и договорная цена.

Уровень рентабельности производства во многом определяется его объемами. Прогнозирование объемов продаж, конкурентоспособных отпускных цен является задачей службы маркетинга. Технико-экономическое обоснование, маркетинговый анализ и расчет погашения инвестиций в приемлемые сроки являются основой для составления бизнес-плана.

6. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ НОВОЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

6.1. Задачи и содержание технико-экономического анализа при разработке новой электротехники

Создание изделий электротехники можно определить как сложный многогранный процесс, сочетающий творческий поиск, теоретический анализ, эксперимент, организацию и управление. На этот процесс оказывают влияние такие факторы, как степень новизны электротехнической системы, существующая организация разработки, широта сферы применения, квалификация разработчиков, характер взаимосвязей разработчиков с производственниками, потребителями и заказчиками и др.

Условием создания новых электроизделий с высокими технико-экономическими показателями является объективная оценка принимаемых технических решений, а также анализ уровня затрат и результатов на всех этапах этого процесса.

Технико-экономический анализ призван преодолеть интуитивный подход к поиску рациональных решений и создать надежный заслон техническим и конструктивным просчетам и неэкономичным (неэффективным) решениям. Анализ образцов электроизделий показывает, что основными причинами, ведущими к излишним затратам в процессе создания новых электроизделий, являются:

- завышенные технические характеристики составных частей электроизделия, что ведет к увеличению его массы и трудоемкости изготовления;
- недостаточная информация о цене и дефицитности материалов, наиболее прогрессивных конструкторских решениях, результатах НИР, изобретениях и патентах, методах обработки. Это приводит к принятию интуитивных, далеко не лучших решений;
- стремление к неоправданному усложнению конструкции электроизделия;
- сжатые сроки создания новых электроизделий, низкий уровень организации труда;
- высокие темпы развития научно-технического прогресса, требующие постоянного внесения изменений в создаваемое электроизделие.

Технико-экономический анализ проектируемых конструкций представляет собой системное исследование факторов и условий, предопределяющих уровень их народнохозяйственной эффективности. Важное место в технико-экономическом анализе занимает изучение связей между техническими параметрами и технико-экономическими показателями производства и эксплуатации.

Методика технико-экономического анализа заключается в разработке экономико-математических моделей, алгоритмов, программ и процедур, а

также массивов нормативно-справочной информации для выполнения расчетов различных показателей: себестоимости, материалоемкости, трудоемкости изготовления, а также себестоимости и производительности при эксплуатации, приведенных затрат, экономического эффекта и лимитной цены.

В процессе НИОКР можно выделить три основных этапа технико-экономического анализа:

- оценка научно-технических новшеств и возможных путей решения поставленной задачи;
- оценка эффективности разрабатываемого объекта в процессе его проектирования;
- оценка действующих конструкций электроизделий. Методы технико-экономического анализа, его содержание и структура меняются при переходе от одного этапа проектирования к другому.

На *предпроектном этапе* преобладающим является инженерный анализ. Его содержанием является:

- оценка и анализ научно-технических новшеств с целью определения возможностей их практической реализации в разрабатываемых электроизделиях и получаемого при этом положительного эффекта;
- разработка различных вариантов конкретных технических решений;
- анализ и оценка полученных вариантов, в том числе их технического уровня;
- анализ потребности народного хозяйства в разрабатываемом электроизделии;
- анализ и оценка возможных объемов выпуска электроизделия с учетом фактического состояния и перспектив развития производства;
- предварительная оценка затрат ресурсов для удовлетворения народнохозяйственной потребности в данном электроизделии и т. д.

Результат технико-экономического анализа предпроектного этапа реализуется в *техническом задании*, которое содержит основные требования к проектируемому электроизделию. В их числе назначение изделия, его технические характеристики, показатели качества и технико-экономические требования.

Техническое задание определяет уровень нового электроизделия, его эффективность с позиции народного хозяйства.

Технико-экономический анализ в *процессе проектирования* служит для определения не только технико-эксплуатационных параметров будущего электроизделия, но и для расчета затрат конкретных видов производственных ресурсов. Такой анализ предполагает многовариантную проработку технических решений, обеспечивающую оптимальное соотношение качества электроизделия (его полезности для потребителя) и затрат на его создание.

При разработке *технического предложения* определяется реализуемость технических требований и устанавливаются принципиальные проектные решения. Техническое предложение строится на результатах анализа возможных решений и их сравнительной оценке. Из-за ограниченности

исходной информации на данном этапе ожидаемые технико-экономические показатели определяются с помощью ориентировочных, укрупненных расчетов, базирующихся на данных из опыта производства и эксплуатации аналогичных электротехнических систем и данных экспертных оценок. Оценки имеют тем большие погрешности, чем оригинальнее разрабатываемая электротехническая система.

На стадии *эскизного проекта* осуществляется общая компоновка электротехнической системы, разрабатываются чертежи общих видов и принципиальные схемы. На этой стадии объем информации о проектируемой электротехнической системе увеличивается, и ее точность возрастает. На стадии эскизного проекта анализируются проектные варианты по электротехнической системе в целом. По окончании стадии основные контуры электротехнической системы уже определены, т. е. выбран принцип работы, учтены состав основных функциональных блоков и принципы их работы, разработаны схемы расположения и взаимодействия составных частей.

На стадии *технического проекта* разрабатываются конструктивные решения системы и ее основных частей, выполняются расчеты технических параметров и технико-экономических показателей, конструкция анализируется на технологичность, обеспечивается необходимая стандартизация и унификация, патентная чистота.

На стадии *рабочего проекта*, когда разрабатывается рабочая документация, конструкция электротехнической системы окончательно формируется до мельчайших подробностей. Полученный в итоге комплект чертежей и других документов содержит сведения о всех входящих в электротехническую систему частях, материалах, заготовках и т. д. Это позволяет провести технико-экономический анализ подробно и достаточно точно.

Технико-экономический анализ продолжается и при последующей технологической подготовке производства. Основная его цель заключается в обеспечении обоснованного выбора экономических решений в области состава и операций технологических процессов, а также в области проектирования оснастки и специального технологического оборудования.

Основным содержанием технико-экономического анализа на стадии производства является оценка и анализ возможных вариантов совершенствования конструкции, технологии и организации производства электроизделий на базе последних достижений научно-технического прогресса.

Ход технико-экономического анализа можно проследить на решении отдельной локальной технической задачи, из множества которых состоит весь процесс проектирования нового электроизделия.

Любая локальная техническая задача проектирования независимо от ее содержания в своем развитии проходит следующие стадии: подготовительную, творческую, аналитическую, оптимизирующую и стадию принятия решения.

1. На подготовительной стадии уточняется техническая задача, собирается необходимая научно-техническая и экономическая информация об аналогах.

Информация систематизируется и анализируется. Создается информационная база для последующего поиска вариантов технического решения. Выявляются все технические требования, уточняются ограничения и допуски на выходные параметры, определяется предполагаемый объем выпуска, режимы и условия функционирования нового электроизделия, возможности собственного производства и необходимость в кооперированных поставках.

Осуществляется сбор информации о технико-экономических показателях аналогичных электроизделий: трудоемкости, материалоемкости, себестоимости изготовления, затратах в эксплуатации и т. п. Анализ всей информации дает предварительные соображения о лимите производственных затрат. На этой же стадии отрабатываются методы прогнозирования экономических оценок.

2. На творческой стадии осуществляется поиск вариантов технических решений и их эскизная проработка. Трудность поиска технического решения зависит от новизны и сложности задачи. Часто проектирование сводится к приспособлению готовых технических решений к требуемым условиям и ограничениям.

От разработчика на этой стадии требуется:

- проявление творческих способностей;
- любознательность к своей сфере деятельности и к другим областям науки и техники;
- способность к генерации идей, схем, конструкций;
- настойчивость в продумывании своих идей;
- творческое воображение и внутренняя дисциплина;
- достаточная широта знаний и опыта;
- умение связывать (синтезировать) между собой отдельные элементы;
- непредвзятый подход в выборе нужной идеи при наличии многих вариантов.

Эффективность творческой стадии можно повысить, используя различные специфические методы формирования идей.

3. На аналитической стадии подготавливаются обоснованные предложения по выбору варианта. Стадия включает инженерный и экономический анализы предлагаемых вариантов. В процессе инженерного анализа строятся математические модели.

Искусство разработки моделей заключается в умении найти компромисс: с одной стороны, модель должна быть достаточно детальной, чтобы быть адекватной объекту, с другой — модель должна быть достаточно простой, чтобы ее можно было использовать на практике.

Инженерный анализ дополняется экономическим. Технико-экономический анализ опирается на коллективный опыт, изучение состояния запросов потребителей, состояние хода разработки аналогичных электротехнических систем в других организациях и т. п.

В процессе технико-экономического анализа происходит непрерывное отсеивание выдвинутых идей (вариантов решения задачи).

В сравнительной оценке, выборе наиболее эффективных и отсеиве

малополезных, убыточных идей на предпроектной стадии и начальных этапах проектирования используют экспертные методы оценки и анализа (например, проводят балловую оценку идей по ряду факторов).

Технико-экономический анализ предполагает получение количественного описания вариантов решения поставленной задачи.

Так как данные и выводы инженерного анализа используются в экономическом анализе, а результаты экономического — в инженерном, то инженерный и экономический анализы протекают параллельно, взаимно дополняя друг друга и образуя технико-экономический анализ.

4. На оптимизирующей стадии формируют критерий оптимальности и выбирают оптимальный вариант. Общепризнанным считается то, что целевая функция должна быть стоимостной, так как именно стоимостные категории наилучшим образом соответствуют общему критерию эффективности новой техники в народном хозяйстве — росту производительности общественного труда. Ни один из технических показателей не обладает такой степенью обобщения и значимости с позиции народнохозяйственных интересов, какой обладают экономические (стоимостные показатели).

Проблема стоимостных показателей эффективности (критериев оптимальности), над которой работает экономическая наука, заключается в выборе такого показателя (приведенные затраты, себестоимость, дифференциальные затраты, полные затраты и т. д.), который в большей степени соответствует минимизации общих издержек общественного производства.

5. На стадии принятия решения дается наиболее полная оценка эффективности выбранного оптимального варианта технического решения и подтверждается целесообразность дальнейших работ.

Результаты технико-экономического анализа наряду с использованием в самом процессе проектирования находят применение:

- при планировании и управлении НИОКР для установления плановых заданий разработчикам новых электроизделий и контроля выполнения планов, обоснования размеров финансирования тем и фондов экономического стимулирования;

- при научно-техническом прогнозировании для исследования закономерностей и тенденций развития отдельных видов электроизделий;

- при технико-экономическом планировании производства для установления объемов производства, себестоимости продукции, ее материалоемкости и трудоемкости, а также показателей научно-технического прогресса: народнохозяйственного эффекта, снижения трудоемкости и себестоимости в целом, экономии различных видов производственных ресурсов;

- при управлении качеством продукции для оценки технического уровня и качества электроизделий и аттестации их по категориям качества;

- при оптимизации технических, конструктивных, технологических и эксплуатационных характеристик создаваемых электроизделий (в данном случае результаты технико-экономического анализа служат исходной базой при

выполнении специальных технико-экономических исследований в процессе выполнения НИОКР);

- при определении плановых показателей в начале НИОКР и оценке фактического положения дел на завершающих этапах разработки. Основными потребителями информации, получаемой в процессе технико-экономического анализа, в данном случае являются экономические службы, занимающиеся вопросами экономической эффективности новой техники, научно-технического прогнозирования, оценки технико-экономического уровня новой продукции, технико-экономического планирования деятельности НИИ, КБ, опытного производства и т. д.

Проведение технико-экономического анализа на всех этапах НИОКР позволяет увязать затраты и уровень качества будущих электроизделий, обеспечить создание и производство технически совершенных изделий электротехники высокого качества, удовлетворяющих заданные потребности народного хозяйства с минимально возможными затратами производственных ресурсов. Для успешного решения этой задачи разработчики, конструкторы и технологии должны свободно владеть аппаратом технико-экономического анализа и применять его на всех стадиях жизненного цикла электроизделий.

Наиболее эффективным методом технико-экономического анализа является функционально-стоимостный анализ (ФСА). Метод исходит из того, что уровень всех затрат на каждой стадии жизненного цикла изделия должен определяться конечным назначением, выполняемыми функциями анализируемого объекта.

6.2. Задачи функционально-стоимостного анализа

Анализ производства электротехнической продукции свидетельствует о наличии здесь многих лишних, ненужных затрат. Улучшение изделий, их модернизация при одновременном сокращении расхода материалов и снижении трудоемкости могут быть осуществлены на основе ФСА.

ФСА – это метод технико-экономического анализа, направленный на оптимизацию параметров объекта по критерию минимума затрат на его создание и эксплуатацию. Основной тезис, из которого исходит ФСА, состоит в том, что для любого объекта совокупные затраты включают наряду с необходимыми и излишние затраты. К излишним относятся затраты, которых можно было избежать без ущерба для качества нового изделия. Они и являются резервом снижения совокупных затрат — затрат на создание и эксплуатацию изделия. Излишние затраты возникают вследствие следующих причин:

- недостаточное использование научно-технической информации при проектировании новых изделий;
- завышение технических характеристик изделия со стороны заказчика;
- привычка разработчиков к традиционным решениям;
- недостаточная информированность разработчиков о стоимости заложиваемых в изделие материалов и комплектующих изделий;

- использование нерациональных технологических процессов при изготовлении изделий;
- недостаточная организация производства и труда.

Примерно 3/4 затрат по производству электроизделия предрешается на стадии научных исследований и проектно-конструкторских разработок. Выявление и предотвращение этих затрат и является главной задачей ФСА. Она решается путем правильного установления функций электроизделий и их составных элементов и разработки конструкторских решений в соответствии с этими функциями.

Для народного хозяйства одинаково важно снижение всех видов затрат: производственных, на обслуживание, эксплуатацию и ремонт электроизделий. Поэтому системный подход, присущий ФСА, в наибольшей степени позволяет решать эту задачу.

Внедрение ФСА в практику разработки новой техники требует соблюдения ряда принципов:

- 1) государственный подход к постановке общих задач;
- 2) необходимость системного комплексного решения, т. е. исследования всех внутренних и внешних связей анализируемого объекта;
- 3) организационная и методическая последовательность в проведении ФСА. Организационная означает логическую последовательность исследования от высшего иерархического звена к низшему. Методическая последовательность означает проведение ФСА в несколько этапов;
- 4) коллективный творческий труд при проведении ФСА, т. е. должны привлекаться специалисты, хорошо знакомые с конструированием, технологией, экономикой, организацией производства, снабжением и сбытом, эксплуатацией;
- 5) использование новейших достижений науки и техники;
- 6) сознательная и постоянная ориентировка на денежную оценку функций анализируемого объекта;
- 7) обеспечение планового характера проведения ФСА;
- 8) функциональный подход при анализе объекта, т. е. объект понимается как комплекс функций, которые он должен выполнять для достижения поставленной перед ним конечной цели.

Функциональный подход — это один из основных принципов, на которых базируется метод ФСА. При функциональном подходе объектом анализа является не конкретное изделие в его материалоемкой форме, а комплекс функций, которые оно выполняет.

Целесообразность функционального подхода определяется, прежде всего, тем, что потребителей в конечном итоге интересует не объект в его материальной форме, а те функции, которые он выполняет и которые полезны для потребителя.

Для создания эффективных электроизделий необходимо знать теоретические основы ФСА.

В настоящее время преобладает использование ФСА в серийном производстве электроизделий. Он применяется также при проектировании и модернизации конструкций электроизделий и технологических процессов, при организации основного и вспомогательного производства, при проектировании, строительстве и реконструкции предприятий электротехнической промышленности, при стандартизации и унификации электроизделий и в других направлениях хозяйственной и научной деятельности.

1. *Применение ФСА на предпроектной и проектной стадиях создания новой конструкции.* Здесь выявляются общественные потребности, которые необходимо удовлетворить. На основе этого определяются функции электроизделия, а затем формы и условия реализации этой потребности. Далее продумывается проект электроизделия. После чего определяются принципы обеспечения сформулированной функциональной структуры, и проводится укрупненный анализ технической возможности реализации того или иного принципиального варианта. Рассчитывается ориентировочная эффективность различных принципиальных вариантов.

На этапе эскизного проектирования ФСА применяется при: составлении принципиальной схемы; расчленении электроизделия в соответствии с функциональной структурой на основные узлы; определении возможности унификации отдельных сборочных единиц и деталей; установлении рода материала и вида заготовки.

На этапе технического проектирования ФСА используется при: определении размеров форм для технологической обработки основных сборочных единиц и деталей; технологическом расчленении конструкции на основе функциональной структуры; определении условий контроля и испытания проектируемого электроизделия и тех его элементов, функции которых имеют наиболее важное значение в эксплуатации.

На этапе разработки рабочей документации ФСА используется при: определении общего характера и степени детализации рабочей документации в соответствии с функциями, для которых эта документация предназначена; отработке рациональных форм и размеров деталей; определении вида заготовок; уточнении допусков и установлении требуемой степени чистоты поверхностей деталей.

2. *Применение ФСА на стадии освоения серийного производства электротехнической продукции.* Главная цель ФСА на этой стадии — устранение или доведение до экономически целесообразного уровня излишних затрат на изготовление и эксплуатацию электроизделий за счет полного или частичного исключения из конструкции ненужных функций, неэкономичных технических решений при обеспечении потребительских свойств, соответствующих действительным требованиям эксплуатации.

Здесь же ФСА используется при решении локальных задач: повышение рентабельности электроизделия, снижение материалоемкости; применение

доступных материалов взамен дефицитных, снижение трудоемкости изготовления электроизделий; повышение качества электроизделия; повышение ремонтопригодности конструкции и т. д.

3. *Применение ФСА при проектировании и совершенствовании технологии производства.* В этом случае ФСА применяется при: проектировании инструмента, средств автоматизации и нестандартного оборудования; разработке и совершенствовании технологических процессов.

4. *Применение ФСА при организации основного и вспомогательного производства, в системе управления подготовки и переподготовки кадров, в учете и отчетности.* В этом случае он используется для: выработки схем грузопотоков; ликвидации ненужных перевозок, организации работы складского хозяйства, определения условий испытаний электроизделий; организации входного контроля; организации технического обслуживания производства; совершенствования организационной структуры; уточнения функций; анализа документооборота; определения программ обучения; выработки форм активных методов обучения; определения сроков подготовки; совершенствования системы бухгалтерского, статистического, оперативного учета и отчетности.

Рассмотрим примеры функционально-стоимостного анализа.

Выпрямительные агрегаты серии ВАК и ВАКР нашли широкое применение в промышленности нашей страны. Они предназначены для питания гальванических ванн и станков электрохимической обработки металлов на многих машиностроительных и металлургических заводах.

В процессе модернизации силовых выпрямительных агрегатов серии ВАК и ВАКР в НИИ завода «Электровыпрямитель» (г. Саранск) и на заводе «Электропреобразователь» (г. Гай) проведен ФСА агрегатов типов ВАК-6300-12, ВАКР-6300-12; ВАК-12500-12 и ВАК-12500-24 (в ценах 1989 г.). Выбор выпрямительных агрегатов серии ВАК и ВАКР в качестве объекта анализа определяется следующими условиями: изделия освоены в производстве; конструкция выпрямительных агрегатов, несмотря на серийный выпуск, требовала дальнейшей оптимизации в части уменьшения габаритов и массы, снижения трудоемкости, более рационального использования расхода материалов в процессе изготовления; низкая рентабельность; большая себестоимость изготовления.

В процессе проведения информационного, аналитического и творческого этапов конструкции выпрямительных агрегатов и силовая электрическая схема подвергнуты разбору с целью выявления основных, вспомогательных и ненужных функций, а также определены зоны сосредоточения наибольших затрат — это тиристорные блоки выпрямительных агрегатов.

В результате проделанной работы предложены конкретные технические идеи: применение более мощных тиристоров Т-500(ток 500 А) вместо Т-160 (ток 160 А); использование в агрегате ВАКР-6300-12 общих делителей тока вместо индивидуальных; применение усовершенствованного блока ресурса с одной системой управления вместо двух; в тиристорных блоках исключены

силовые предохранители П1157.

Модернизация выпрямительных агрегатов с учетом предложенных конкретных технических идей ФСА позволила на годовую программу (360 шт.):

- сократить количество применяемых тиристоров на 35 280 шт., что в стоимостном выражении составляет 43 920 руб.;
- исключить предохранитель ПП57 в количестве 42 080 шт., что в стоимостном выражении составляет 105,2 тыс. руб.;
- снизить трудоемкость изготовления изделий на 67 200 нормо-ч;
- снизить потребность металлов (черного и цветного) на 309 т;
- снизить массу выпрямительных агрегатов: ВАК-6300-12, ВАКР-6300-12, ВАК-12500-12, ВАК-12500-24 соответственно на 192, 681, 510, 505 кг, а также уменьшить габаритные размеры (вместо трех-, четырехшкафного исполнения – одношкафное); экономический эффект на годовую программу составил, 553 тыс. руб.

Курским ПО «Электроаппарат» при методической и практической помощи ВНИИэлектроаппарат осуществлен ФСА автоматических выключателей АК63 и АП50. На основе ФСА были разработаны рекомендации, направленные на снижение себестоимости и материалоемкости изделий. Вот некоторые примеры этой работы:

1) сечение токоведущих деталей рассчитано по плотности тока для исполнений с максимальными значениями номинального тока. Вместе с тем эти исполнения составляют около 10% всего выпуска. Для остальных исполнений, т. е. на меньшие номинальные токи, токоведущие детали с таким запасом прочности не требуются; была выдвинута идея – ввести два исполнения токоведущих деталей;

2) при анализе расходов на изготовление деталей из пластмасс и их функций обращалось внимание на относительно высокие трудоемкость и материалоемкость. Замена аминопласта более дешевым материалом – фенопластом – позволила снизить трудоемкость и сократить расход пластмассы;

3) большой удельный вес в себестоимости занимает катушка электромагнитного расцепителя. Это послужило толчком к разработке новой конструкции, более технологичной для изготовления;

4) с целью экономии серебра были внесены изменения в конструкцию свободных контактов. Серебросодержащие контакты аннулированы, а функции их переданы выводам, для чего концы выводов серебрятся;

5) результаты лабораторных испытаний, замечания потребителей указывали на случаи затирания рукояткой управления крышки выключателя, что иногда вызывало несрабатывание автомата. Новая конструкция рукоятки управления позволяет устранить этот недостаток. Реализация рекомендаций ФСА позволит получить экономический эффект в размере 150 тыс. руб. Экономия материалов в натуральном выражении составит (т): прокат цветных металлов – 3,4, пресс-материалы – 9,8, снижение трудоемкости – 27 000 нормо-ч.

ФСА по повышению эффективности производства батарей аккумуляторных, свинцовых стартерных для автомобилей, автобусов и тракторов дал

впечатляющие результаты. Годовой экономический эффект, получасмый в народном хозяйстве от производства и использования у потребителя новых усовершенствованных изделий, составил 5500 тыс. руб.

6.4. Теоретические основы функционально-стоимостного анализа

Все затраты согласно концепциям, на которых основан ФСА, делятся на две группы: на необходимые и излишние. Под первой понимается минимум затрат, необходимых для разработки, изготовления и эксплуатации электроизделия, выполняющего заданные для него функции, соответствующие требованиям. К второй группе относятся затраты, обусловленные наличием ненужных функций и незакономичных технических решений осуществления функций, являющихся необходимыми.

Резервом снижения себестоимости электроизделий являются затраты второй группы, которые обычно бывают вызваны применением несовершенных конструкций, технологий, способов организации труда и управления.

Стремление к достижению высокого уровня унификации зачастую превращается в самоцель, когда не учитывается экономическая целесообразность ее осуществления. В результате такого формального подхода иногда принимаются ошибочные решения об унификации ряда типоисполнений, каждое из которых рассчитано на массовое производство. Это также ведет к перерасходу трудозатрат и материалов.

Своебразным свойством человеческого мозга является фиксирование внимания на первом варианте решения, полученного в результате анализа проблемы, и прекращение поиска новых вариантов.

Кроме того, эксперимент показывает, что если человек, в памяти которого зафиксировано определенное решение, сталкивается через некоторое время с аналогичной проблемой, он решает ее точно так же, как и в первом случае (срабатывает аналогия, стереотип). Поэтому, подобно старым, новые проблемы решаются старыми методами без должного учета новых технических идей, накопленного опыта, изменившейся ситуации, что также ведет к возникновению излишних затрат, порождаемых завышением уровня технических характеристик со стороны эксплуатационников.

Третья причина – комплекс «сопротивления изменениям». Прошлый опыт и установившиеся привычки заставляют разработчика отвергать решения, нарушающие традиционный подход к проблеме.

Основополагающий тезис ФСА – практически в любой, даже отработанной системе заложены источники тех или иных излишних затрат и, следовательно, всегда имеются резервы снижения себестоимости. При этом функциональный подход является наиболее эффективным средством выявления и минимизации излишних затрат, обусловленных конструкцией электротехнической системы.

При анализе различных вариантов технических решений возможны два подхода: предметный и функциональный. При *предметном подходе* внимание концентрируется на поиске лучших способов изготовления электроизделия в

рамках уже принятого конструкторского решения. А когда существующая конструкция системы принимается как нечто данное, упускается из виду главное — назначение электроизделия и его основные функции.

При *функциональном подходе* разработчик полностью абстрагируется от реальной конструкции анализируемой электротехнической системы и сосредоточивает свое внимание на ее функциях. При таком подходе изменяется направление поиска путей снижения себестоимости продукции. Четко определив функции анализируемого объекта, его количественные характеристики, специалист по-другому формулирует задачу, а именно: необходимы ли эти функции? Если да, то необходимы ли предусмотренные количественные характеристики? Каким более экономичным путем можно достичь выполнения функций?

Важность и целесообразность функционального подхода обусловливается тем, что потребителя, в конечном счете, интересуют не предметы и вещи как таковые, а те действия, которые он может производить с их помощью, т. е. потребителя интересуют функции (например, не холодильник, а сохраняет ли он продукты). Под *функцией* понимается проявление или сохранение свойств какого-либо объекта (это могут быть действия такие как «передавать усилия», «регулировать скорость, поток» и т. д.).

При функциональном подходе объектом анализа является комплекс функций. Задача состоит в поиске альтернативных способов выполнения функций, а не в усовершенствовании конкретного изделия.

ФСА предполагает нахождение ответов на следующие вопросы:

1. Что в настоящий момент представляет собой электротехническая система, функции которой необходимо осуществить с минимальными затратами?

2. Какие функции электротехническая система выполняет?

3. Все ли функции необходимы?

4. Каковы фактические затраты на осуществление этих функций?

5. Каковы максимально допустимые затраты на осуществление этих функций?

6. Какими различными способами можно осуществить эти функции?

7. Каковы будут затраты на осуществление функций каждым из способов?

Для получения ответов на перечисленные вопросы необходимо организовать три процедуры:

а) определение функций (построение дерева функций, иерархии функций) исходя из конечной цели, стоящей перед электротехнической системой;

б) оценка функций в денежном выражении (стоимостная оценка);

в) поиск альтернативных вариантов осуществления функций.

Рассмотрим отмеченные процедуры.

Количество функций, выполняемых электроизделиями и их элементами, относительно невелико и в тысячи раз меньше количества наименований электротехнической продукции (примеры функций: соединение элементов, передача усилия, изоляция, проводимость).

Функции выступают как сущность объекта, а конструкция, технологический процесс и т. д. как формы проявления функций.

При определении и формулировке функций необходимо придерживаться следующих двух правил:

1) формулировка каждой функции должна по возможности быть изложена двумя словами – глаголом и существительным;

2) в формулировках функций следует использовать существительные, которые обозначают величины, имеющие размерность.

Если функция не описывается в максимально лаконичной форме, значит, либо недостаточно информации о проблеме, либо функция рассматривается в неоправданно широком аспекте.

Использование в формулировках величин, которые можно измерять в каких-либо единицах, облегчает на последующих стадиях ФСА установление соотношений между функциями и затратами, что дает возможность оценивать функции в количественном выражении. Это очень важно для возможности формализации отдельных этапов ФСА.

ФСА использует следующую классификацию функций (рис.6.1).

По области проявления функции разделяются на внешние и внутренние.

Внешние (общеобъектные) функции выполняются объектом в целом и отражают функциональные отношения между объектом и сферой его использования (внешней средой).

Внутренние (внутриобъектные) функции определяются взаимосвязями внутри объектов и выполняются его элементами (узлами, блоками, деталями). Внешние функции могут быть главными и второстепенными. Главная функция объекта определяет назначение, сущность и смысл существования объекта в целом.

Второстепенная функция не влияет на работоспособность объекта и отражает ограничения, которые необходимо соблюсти при выполнении объектом его основной функции.

Основная функция обеспечивает работоспособность объекта, создает необходимые условия для осуществления главной функции.

Вспомогательная функция способствует реализации основных. Это чаще всего соединительные, фиксирующие, направляющие, гарантирующие, крепежные и др.

Когда ФСА подвергается уже существующий (материализованный) объект, то при выявлении функций объекта и его составляющих среди них могут оказаться антифункции (бесполезные и вредные функции).

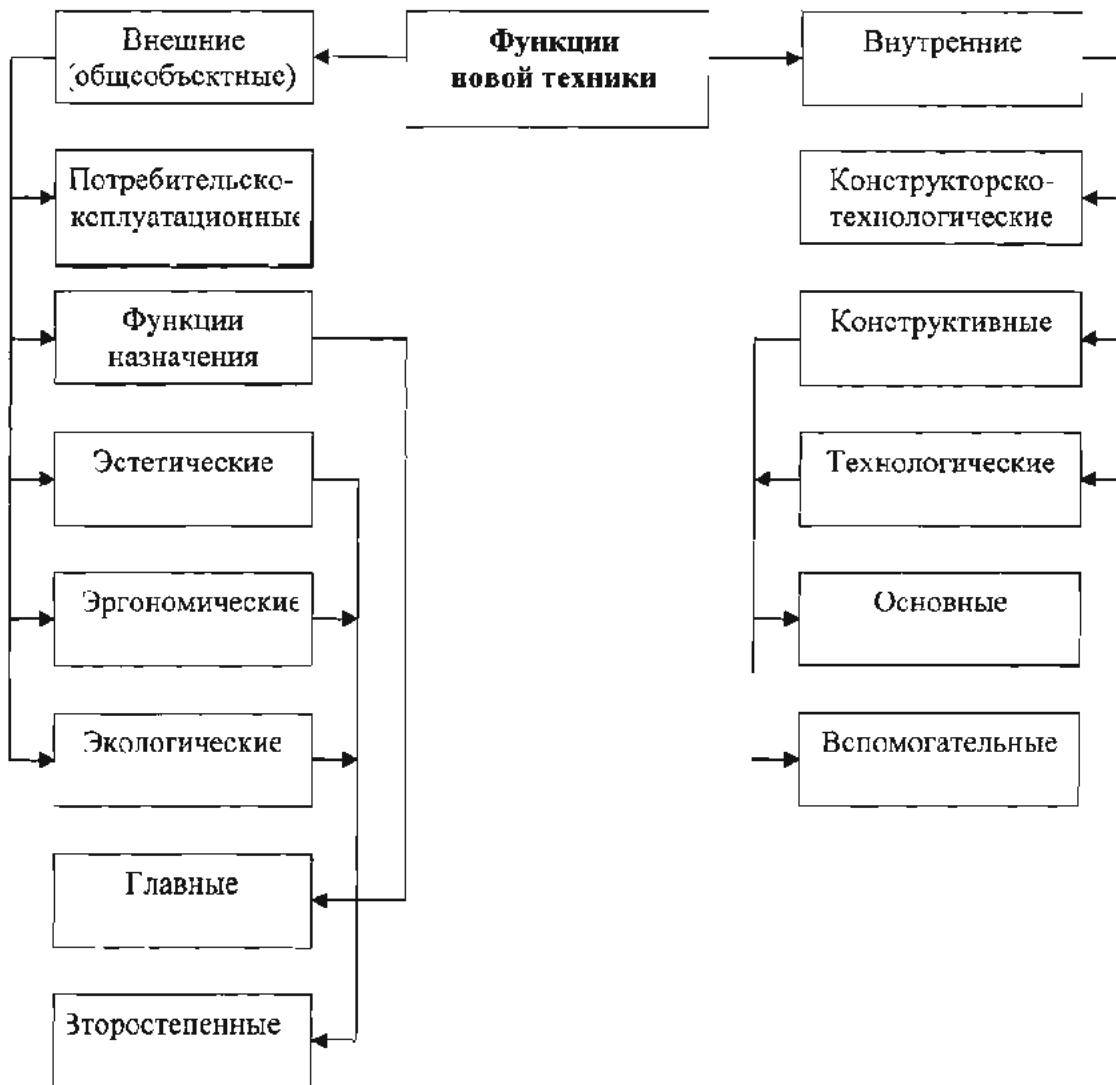


Рис. 6.1. Классификация функций

Бесполезные функции — это излишние функции, не снижающие работоспособности объекта, но создающие избыточность, приводящую к удорожанию объекта.

Вредные — это функции, отрицательно влияющие на работоспособность объекта и его потребительскую стоимость.

Не следует формулировать функции в общем виде. Например, для электролампы — излучать свет, так как функции освещения подразделяются на нормальное освещение, сигнализацию, использование света как носителя теплоты и т. д. В то же время нельзя формулировать функцию чрезмерно конкретно, привязывая ее к какому-либо конкретно существующему варианту, так как это приводит к сужению поля поиска, резко ограничивает возможности выбора оптимальных вариантов решений. Например, сверлить отверстия — эта функция подразумевает сверло, хотя отверстие можно получать и другими способами (пробить, прожечь и т. д.).

Надо выявлять и указывать все выполняемые функции, даже те, для осуществления которых объект не предназначается. Этот момент имеет принципиальное значение, так как позволяет выявить ненужные функции и свойства, найти пути их устранения.

Принцип последовательности в проведении ФСЛ предполагает сначала формулировку функции объекта в целом, а затем уже функций, его составляющих.

Функция может осуществляться различными конструктивными и технологическими средствами. Одно и то же действие, функцию, выполняемую узлом, разные специалисты могут обозначать по-разному. Например, функцию электродов аккумулятора можно определить так: создавать электрический ток, создавать ЭДС, создавать сопротивление току, создавать разность потенциалов и т. д. Для того чтобы придать однотипность формулировкам одинаковых функций, целесообразно разрабатывать и постоянно совершенствовать перечни функций. В табл. 6.1 проведен фрагмент такого перечня, составленного на Чебоксарском электроаппаратном заводе.

Четкая формулировка функции помогает открыть новые, не известные ранее возможности в конструкции, технологии, организации производства, управлении, проектировании.

Совокупность всех функций (дерево функций) характеризует функциональную структуру анализируемой системы. Функциональная структура может изображаться схемой, матрицей, графом (последний наиболее наглядно показывает взаимосвязь между отдельными функциями).

Основными методическими положениями проведения функционально-стоимостного анализа при проектировании электрических машин малой мощности для построения диаграммы функций изделия рекомендовано применение методики FAST (методики систематизированного анализа функций). Функциональная схема коллекторного магнитоэлектрического электродвигателя постоянного тока, построенная с использованием приемов указанной методики, обеспечивает наглядность взаимосвязей функций и делает удобным функциональное восприятие рассматриваемого изделия, а при дальнейшей детализации и стоимостный анализ функций (рис. 6.2).

Вторая процедура, предусматриваемая функциональным подходом, — это денежная (стоимостная) оценка функций.

Зная хотя бы ориентировочно минимальную стоимость выполнения данной функции, можно сказать, насколько экономичен и близок к оптимальному рассматриваемый способ ее осуществления.

Стоимость функции можно определить исходя из стоимости используемых для осуществления функции материалов, операций технологического процесса и т. д. Основным средством оценки стоимости функции является *метод сравнения*.

Перечень функций объектов

Номер	Функции	Пример конструкции
1,01	Гасит вибрацию	Ускоритель, демпфер
2,01	Защищает от воздействия окружающей среды	Крышки, кожухи, корпуса, металлические и неметаллические покрытия, оболочки
3,01	Изолирует (электрически)	Изолятор
4,01	Информирует об изделии	
4,02	Информирует о параметрах	Фирменная табличка, этикетка
4,03	Информирует о дате выпуска	
4,04	Информирует о действиях	Указатели, блинкеры, лампы
5,01	Нагревает	Электроспираль
6,01	Направляет прямолинейное движение	Направляющие (трения, скольжения, качения)
6,02	Направляет электрический ток	Токоведущие детали
6,03	Направляет магнитный поток	Детали магнитопровода
7,01	Ограничивает (временно) перемещение (одной детали, движущейся относительно другой)	Фиксаторы, упоры, шпонка
8,01	Передает усилие	Элементы передачи движения, детали управления (рукоятки, кнопки, муфты, зубчатые и червячные передачи, рычаги)
8,02	Передает момент	Элементы разъемных соединений
8,03	Передает движение	Гайки, зажимы
9,01	Предохраняет от самоотвинчивания	Элементы передачи с гибкими связями
9,02	Предохраняет от выпадения	Контактные системы, их элементы
10,01	Преобразует вращательное движение в прямолинейное (и наоборот)	
11,01	Прерывает электрический ток	

Базовыми объектами и показателями при этом могут быть:

- цены на стандартные электроизделия, выполняющие аналогичные функции;
- электроизделия, напоминающие анализируемый объект;
- электроизделия, для изготовления которых используются похожие технологические процессы и т. д.

Чем сложнее анализируемый объект, тем больше процедур сравнения необходимо провести для определения стоимости его функций.

Для обеспечения процедуры оценки стоимости функций сложные электроизделия следует расчленять на функциональные узлы, достаточно простые, чтобы их можно было сопоставить по затратам со стандартными, выполняющими аналогичные функции. Расчленение электроизделия на функциональные узлы облегчает выявление зон, в которых возникают излишние затраты.

Большая часть затрат падает на выполнение вспомогательных функций

(более 50%) и до 12% на выполнение ненужных функций. Минимальные издержки производства, при которых объект выполняет требуемые функции, называются *полезной себестоимостью*.

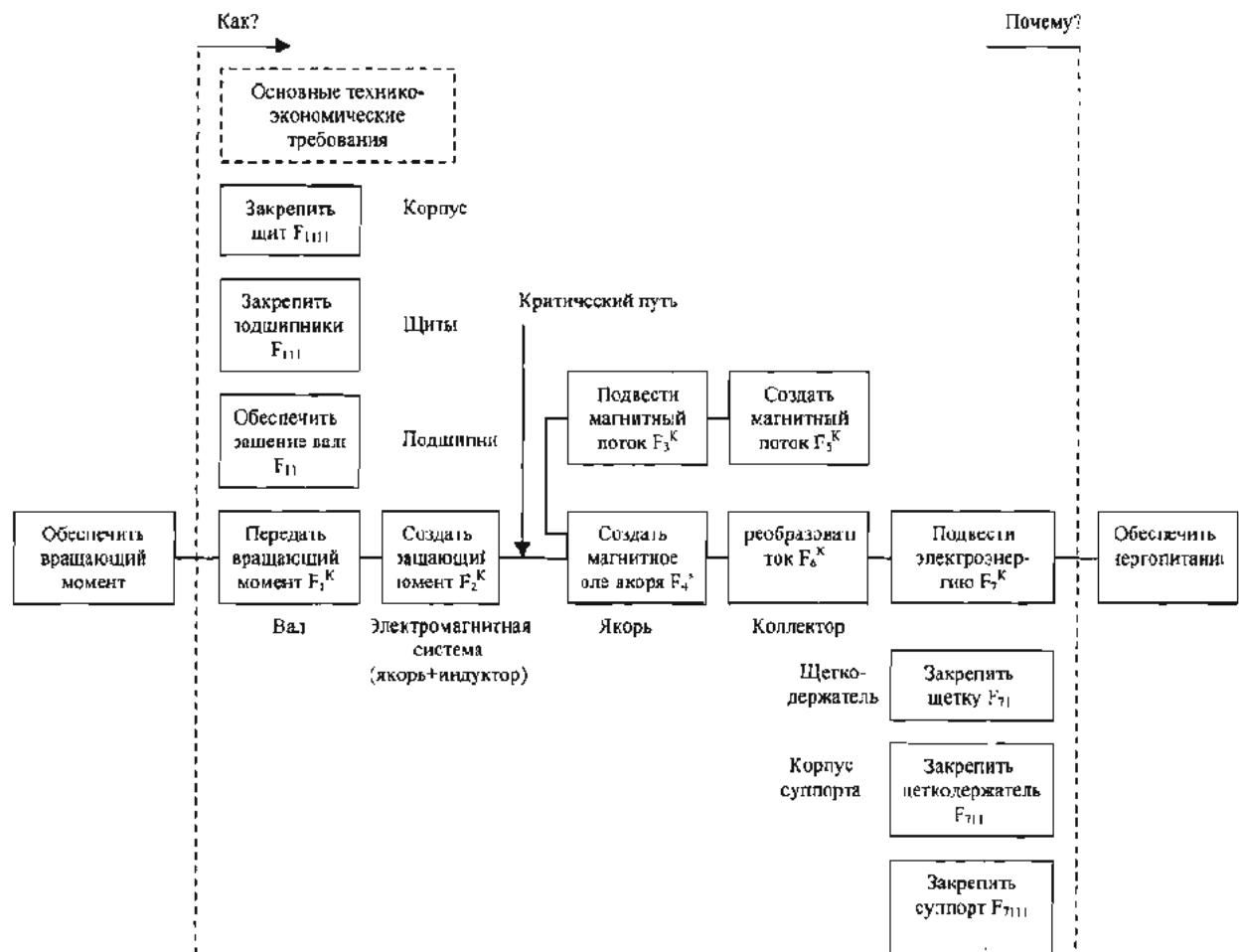


Рис. 6.2. Примерная функциональная схема коллекторного магнитоэлектрического двигателя постоянного тока

В полезную себестоимость включают: стоимость чистой массы материалов тех узлов и деталей, которые выполняют требуемые функции; нормативную заработную плату за основные операции.

Полезная себестоимость позволяет предварительно определить величину резервов электроизделия и выявить те узлы и детали, анализ которых представляется наиболее целесообразным, а не те узлы, которые обладают наибольшей трудоемкостью.

И наконец, третья процедура ФСА – это поиск альтернативных вариантов осуществления функций.

После сбора всей необходимой информации об анализируемом объекте, формулировке его функций, определения максимально допустимых затрат необходимо определить, какой другой объект может выполнить эти функции и каковы будут затраты.

При этом необходимо учитывать различные новшества и изменения,

которые являются важными факторами современного электротехнического производства. По отношению к новшествам можно выделить три фактические линии поведения: 1) игнорировать; 2) принимать как должное и приспосабливаться к ним и 3) самим активно использовать их в целях повышения эффективности электротехнического производства.

ФСА проводится коллективом специалистов различного профиля. Это позволяет сконцентрировать в группе ФСА большой объем информации, рассмотреть все вопросы во взаимной связи. При этом снижение затрат достигается благодаря комплексному рассмотрению проблемы во всех ее аспектах – конструкторском, производственном, эксплуатационном.

6.5. Методические и организационные основы функционально-стоимостного анализа

Предусматриваются следующие этапы работ по ФСА: подготовительный, информационный, аналитический, творческий, исследовательский, рекомендательный, внедрение.

1. Подготовительный этап. Его основная задача - выбор объекта анализа, определение исполнителей ФСА, подготовка перечня материалов, необходимых для проведения анализа. Он состоит из следующих работ: обучение специалистов основам ФСА; выбор объекта исследования и определение цели анализа; подготовка перечня информационных материалов об анализируемом объекте и заданий по их получению; подбор и утверждение состава исследовательской группы; составление, обсуждение и утверждение плана проведения ФСА конкретного объекта.

2. Информационный этап. Основная задача — сбор, систематизация и всестороннее изучение информации по объекту ФСА. Этап состоит из следующих работ: сбор достаточного количества информации для определения существа и структуры исследуемого объекта и его возможных аналогов; систематизация информации и ее изучение для возможности исчерпывающего объекта; выявление и формулирование функций; построение схемы взаимосвязей составных частей исследуемого объекта; определение затрат на создание и функционирование объекта в целом и его составных частей; выявление зон наибольшего сосредоточения затрат в исследуемом объекте (построение кривой Парето).

В результате проведения информационного этапа разрабатывается ряд документов: таблица основных технических параметров исследуемого электроизделия; функциональная схема электроизделия; таблица основных экономических показателей по электроизделию; перечень вопросов к специалистам, возникших при сборе и систематизации информации; перечень появившихся идей для их последующей эскизной проработки.

3. Аналитический этап. Основное назначение — определение наиболее важных задач по выдвижению идей и вариантов решений для совершенствования исследуемого объекта исходя из анализа его функций и

затрат на их осуществление. Из всего комплекса проблем выделяются те, рационализация которых принесет наибольший народнохозяйственный эффект. Работы, проводимые на данном этапе, следующие: анализ и уточнение функций, их классификация; построение функциональной модели объекта; анализ и разграничение затрат, связанных с осуществлением функций; сравнение функций и затрат на их осуществление с аналогами; построение функционально-стоимостных диаграмм; формулирование задач для поиска новых идей и вариантов технических решений.

4. Творческий этап. Основная задача — выявление и формулирование возможно большего количества идей и решений; обсуждение и отбор наиболее рациональных. Этап предполагает проведение следующих работ: уточнение направления и задач поиска новых решений и выбор методов коллективного творчества; определение тематики и планирование проведения творческих совещаний; организация и проведение совещаний по выдвижению идей; обработка и систематизация результатов творческих совещаний; подготовка материалов для оценки полученных результатов совещаний.

5. Исследовательский этап. Главная цель — сузить круг возможных направлений решения поставленной задачи. При этом для каждого предложенного направления учитываются: «работоспособность» предложенного решения в принципе; его экономическая целесообразность; наличие различных ресурсов, требуемых для реализации решения; конструкторские возможности; технологические возможности; возможности материально-технического снабжения; производственные возможности. Этап включает следующие работы: систематизация предложенных вариантов новых решений; исключение нереальных решений и экспертиза оставшихся; исследование возможности выполнения функций в предложенных вариантах; оценка реальной осуществимости оставшихся вариантов; определение затрат и экономичности выполнения функций для разных вариантов решений; ранжирование вариантов и выбор оптимального с народнохозяйственной точки зрения.

Работы на данном этапе считаются законченными, когда все идеи решения данной задачи количественно оценены и из них выбраны те, по которым нет сомнения с точки зрения их технической осуществимости и экономической целесообразности.

6. Рекомендательный этап. Основная задача — разработка рекомендаций по совершенствованию анализируемого объекта и принятие обоснованных решений по их реализации. Этап предполагает выполнение следующих работ: оформление рекомендаций по реализации предложений окончательно выбранных вариантов решений; согласование рекомендаций и предоставление их на обсуждение руководству (комитету по ФСА); составление проекта и утверждение плана-графика внедрения рекомендаций.

7. Этап внедрения. Выполняются следующие работы: взаимоувязка плана-графика внедрения рекомендаций ФСА с другими разделами плана повышения эффективности производства; организация работ по реализации рекомендаций;

контроль за выполнением плана-графика; внедрение полученных результатов в производство; оценка полученных результатов внедрения и сопоставление их с предварительными данными; оформление отчета о выполненной работе.

Непосредственную работу по организации и проведению ФСА на предприятиях электротехнической промышленности осуществляют специальные подразделения ФСА (сектор, лаборатория, группа, бюро и т. п.). Они создаются из штатных сотрудников, владеющих методом ФСА. В задачи этих подразделений входят: подготовка предложений по проведению ФСА; организация проведения ФСА путем подготовки проектов приказов о проведении ФСА; создание и организация работы соответствующих исследовательских групп. Они участвуют в проведении анализа конкретных объектов; руководят осуществлением ФСА; участвуют в разработке плана внедрения рекомендаций ФСА; осуществляют контроль за выполнением этих этапов; пропагандируют применение метода ФСА; обучают специалистов различных подразделений методу ФСА; систематизируют информационный фонд ФСА.

6.6. Технико-экономический анализ при совершенствовании технологических процессов

Одним из основных вопросов технико-экономического анализа технологии является экономическое обоснование проектов внедрения новых технологических процессов с целью выбора наиболее эффективного варианта, который позволит получить наиболее экономичные в производстве электроизделия.

Для определения экономической эффективности различных вариантов техпроцесса применительно к действующему предприятию решающим является расчет себестоимости электроизделий. Этот расчет проводится по тем элементам текущих затрат в производстве, которые изменяются в зависимости от применяемого варианта техпроцессов. Остальные элементы затрат не учитываются.

Если рассматриваются различные варианты техпроцесса для вновь строящегося электротехнического предприятия, т. е. для предприятия, еще не укомплектованного оборудованием, то при сравнении различных вариантов учитываются не только изменяющиеся по вариантам элементы текущих затрат, но и капитальные вложения в оборудование по вариантам.

Детальная проработка нового технологического процесса осуществляется после выбора его наиболее эффективного варианта.

Перед выбором все рассматриваемые варианты приводятся в сопоставимый вид, т. е. так уравниваются по характеристикам, чтобы они обеспечивали одинаковое качество производства электроизделий.

Вариант, которому будет соответствовать наименьшая себестоимость изготовления (учитываются только изменяющиеся элементы затрат), будет наиболее экономичным при всех прочих равных условиях. В литературе сумма изменяющихся (в зависимости от варианта) элементов затрат носит название *технологической, или сопоставимой, себестоимости*.

Эффективность того или иного варианта технологического процесса изменяется в зависимости от годового объема выпуска электроизделий. Поэтому одним из вопросов технико-экономического анализа технологических процессов является определение так называемой «критической» программы выпуска электроизделий, т. е. такого годового объема выпуска, при котором сравниваемые варианты равнозначны.

Как уже отмечалось, наиболее эффективным методом технико-экономического анализа является ФСА.

ФСА технологического процесса изготовления электроизделий осуществляется с учетом следующей схемы взаимосвязей:

потребности народного хозяйства → конечная цель создания электроизделия → главная функция изделия → основные функции конструктивных составляющих изделия → материальные носители функций → требуемые свойства носителей функций → функции технологического процесса изготовления изделия → функции структурных составляющих технологического процесса → материальные системные компоненты составляющих технологического процесса (средства производства: предметы труда, средства труда, кадры) → функции организации и управления системными компонентами технологического процесса.

Так как технология тесно связана с организацией производства и при этом почти всегда развитие технологии опережает уровень организации производства, то при проведении ФСА анализу следует подвергать не собственно реально действующий технологический процесс, а часть производственной системы (включая производственный процесс), в рамках которой осуществляется анализируемый технологический процесс.

При проектировании новых технологических процессов с использованием методологии ФСА целью ФСА является определение состава и средств обеспечения совокупности свойств элементов электроизделия, необходимых для выполнения их функций с учетом масштаба выпуска и заданных требований к качеству исполнения при минимально возможных затратах производственных ресурсов.

Все работы по ФСА технологических процессов делятся на две группы:

- функционально-стоимостная диагностика технологического процесса;
- поиск и выбор наиболее эффективного с народнохозяйственной точки зрения варианта.

Для выявления конкретной области ФСА (конкретный технологический процесс, группа технологических операций и т. д.) проводится предварительный функциональный выбор зоны анализа путем распределения отдельных технологических процессов (операций) по затратам и уровню качества исполнения. Инструментом в данном случае служат диаграммы Парето. При построении их (например, по затратам или по уровню брака) все изучаемые структурные составляющие процесса ранжируют в порядке убывания затрат (уровня брака) и для анализа выбирают те процессы (операции), которые попали в зону 0—75% общих затрат (уровня брака). Пример диаграммы Парето для процесса сборки приведен на рис. 6.3.

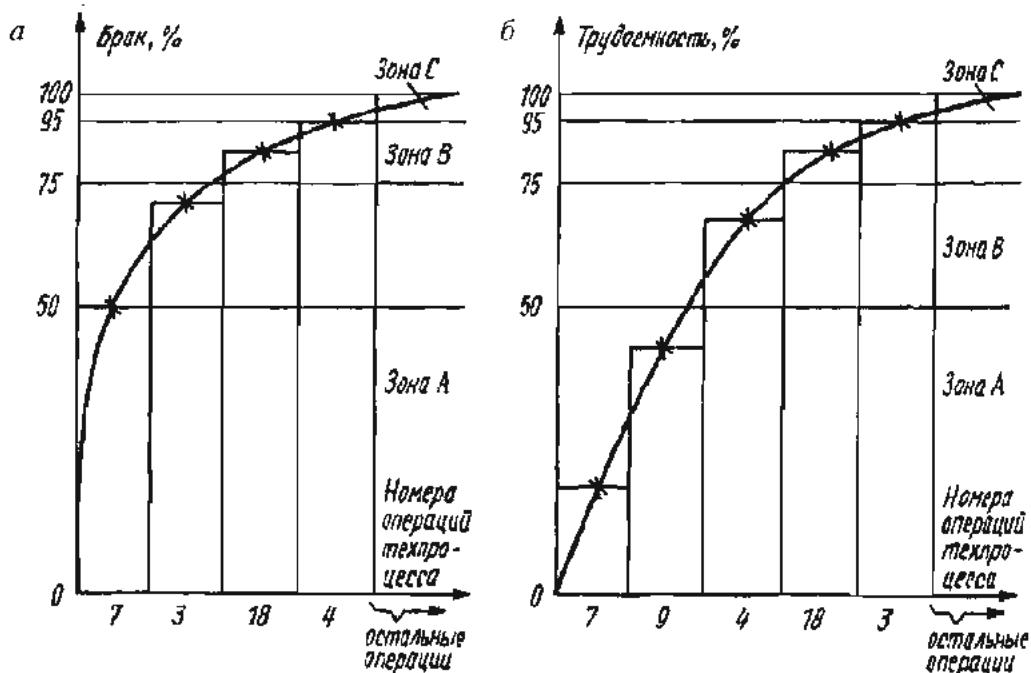


Рис. 6.3. Диаграммы Парето для процесса сборки

После того как зона анализа определена, на основе требований технических условий или требований последующих процессов обработки определяются свойства электроизделия, формируемые анализируемым технологическим процессом. Для каждого свойства экспертыным методом устанавливается коэффициент весомости (степень важности с точки зрения потребительских свойств электроизделия).

Далее определяется уровень выполнения свойств на основании информации о видах брака и отказах, для чего каждое свойство сопоставляется с соответствующими ему видами брака или отказов и причинами брака (отказов).

Затем для каждого структурного компонента технологического процесса (например, для каждой технологической операции, попавшей в зону анализа) определяются затраты. При обработке информации по затратам принимаются во внимание затраты на основные и вспомогательные материалы, трудовые затраты, затраты на оснастку, содержание и эксплуатацию оборудования. Затраты на основные материалы учитываются путем сопоставления их количества на входе и выходе каждого структурного компонента технологического процесса (например, операции). Далее формулируются функции технологического процесса. Функции классифицируются, группируются: первоначально внешние функции (главные и второстепенные), а затем устанавливают состав внутренних функций (основных и вспомогательных), выполняемых каждым структурным компонентом технологического процесса. Экспертно определяется значимость сформулированных функций. При выделении функций наряду с полезными указывают вредные и бесполезные действия и явления, и

дальний поиск вариантов решений должен быть направлен, в первую очередь, на их ликвидацию.

Следующим шагом при выполнении ФСА технологического процесса является построение его функциональной модели, которое осуществляется следующим образом: на верхнем (первом) уровне располагают главную и второстепенные функции, выполняемые технологическим процессом в целом; на втором уровне – основные функции; на последующих нижестоящих уровнях располагают вспомогательные функции структурных компонентов технологического процесса. Для построения функциональной модели может быть использован метод FAST. Пример графической функциональной модели приведен на рис. 6.4.

После определения затрат по функциям производится сопоставление затрат на функции с их значимостью и строится функционально-стоимостная диаграмма. По диаграмме выявляются зоны рассогласования затрат на функции и их значимости. Функции, имеющие большие затраты при малой значимости, прежде всего подвергаются дальнейшему анализу с целью поиска способа удешевления их реализации.

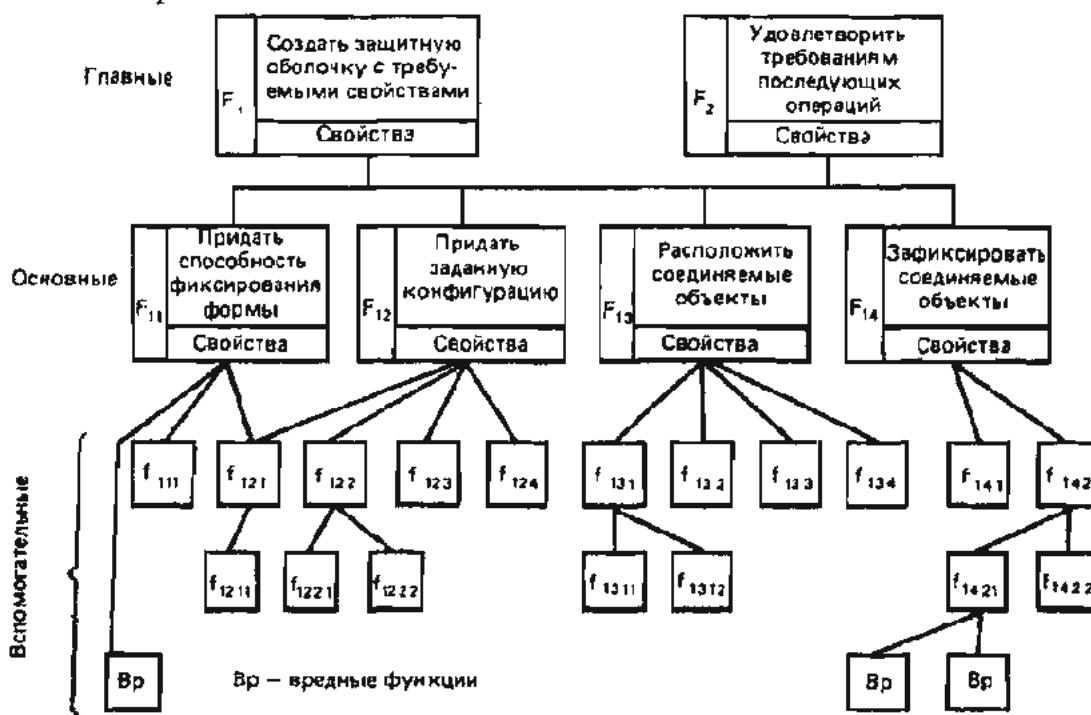


Рис. 6.4. Функциональная модель технологического процесса

Результаты функционально-стоимостной диагностики (все предыдущие шаги) используются при синтезе набора идей по совершенствованию технологического процесса, а также по устранению вредных и бесполезных свойств. При выдвижении конкретных идей используют различные методы активизации и творчества (например, «мозговой штурм», морфологический анализ, синектика).

Анализ достоинств и недостатков каждой идеи позволяет сузить поле поиска и формирования вариантов исполнения технологического процесса.

Каждый вариант оценивается по затратам и качеству исполнения функций. Учитывая, что многовариантная проработка решений нуждается в ускоренной их экономической оценке, для определения затрат на функции технологического процесса может быть использован метод коэффициентов затрат, разработанный Л. И. Гамрат-Куреком и получивший дальнейшее развитие в работах А. С. Магиденко. Этот метод облегчает работу по оценке затрат, но требует проведения большой подготовительной работы по формированию шкал коэффициентов для конкретных объектов производства и видов технологических процессов.

Другим эффективным методом установления затрат на функции можно считать *метод моделирования*, в том числе на основе статистического планирования эксперимента. Располагая соответствующими моделями, дающими математическое описание функций технологического процесса, можно определить затраты на функции по элементам (материалы, заработка, плата и т. д.).

С учетом результатов стоимостной оценки вариантов технологического процесса (текущих функционально необходимых затрат) и капитальных вложений по вариантам выбирается наиболее эффективный вариант. Основным критерием выбора служит максимум народнохозяйственного эффекта.

7. ЭРГОНОМИКА. ПРЕДМЕТ, ЗАДАЧИ И ЦЕЛИ ЭРГОНОМИКИ

Вопросы эргономики приобрели большое значение в последние годы и в некоторой степени стали определяющими в развитии техники, особенно, при конструировании, производстве и эксплуатации машин и сложных систем управления. Это связано с тем, что в условиях бурного развития научно-технического прогресса и появления новой техники трудовая деятельность человека становится все более сложной и напряженной. По данным статистики надежность выполнения человеком-оператором все более усложняющихся функций уменьшается, поэтому увеличение надежности технической части системы теряет смысл, так как надежность всей системы «человек-машина» ограничивается также надежностью человека.

Изменения условий трудовой деятельности, за которыми не поспевает биологическая перестройка организма человека, обуславливает возникновение целого ряда негативных явлений. Работая на пределе физиологических возможностей и в неблагоприятной производственной среде, человек допускает ошибки, «цсна», которых в современном производстве резко возросла. В большинстве случаев действия операторов оказываются неправильными не из-за низкой их квалификации, а по причине несоответствия конструктивных особенностей техники возможностям человека.

По имеющимся данным на долю человеческого фактора сейчас приходится от 40 до 70% всех отказов технически сложных систем. В соответствии с мировой статистикой 80% катастроф в авиации и 64% в морском флоте происходит в результате ошибок, называемых логическими и моральными. Отсюда вывод – как бы ни была совершенна техника, ее эффективное безопасное применение в конечном итоге зависит от того, насколько полно согласованы конструктивные параметры с оптимальными условиями работы человека, с его психофизиологическими возможностями и особенностями. Поэтому возникает необходимость изучения работы машин (систем) и деятельности людей в едином комплексе «человек-техника-среда».

Эргономика – это наука, изучающая проблемы, возникающие в системе «человек-техника-среда», с целью оптимизации трудовой деятельности оператора, создания для него комфортных и безопасных условий, повышения за счет этого его производительности, сохранения здоровья, работоспособности. Из этого определения видно, что предметом эргономики является трудовая деятельность человека, а объектом исследований – система «человек-техника-среда».

Предпосылками возникновения и развития эргономики послужили проблемы, связанные с внедрением и эксплуатацией новой техники и технологии на современном этапе развития экономики.

Первая проблема – недостаточная эффективность системы, которая часто оказывается ниже расчетной, ожидаемой. Это связано со многими причинами, например, несогласованностью параметров оборудования и возможностей человека работать в условиях дефицита времени и информации, мощного воздействия факторов внешней среды и др.

Вторая проблема – феномен роста травматизма людей, взаимодействующих с техническими системами на производстве. Анализ причин травматизма показывает, что он часто обусловлен ошибочными действиями людей, вызванными недостатками в конструкции техники, средств отображения информации, органов управления машин и механизмов.

Третья проблема связана с ростом числа заболеваний, вызванных так называемым «индустриальным стрессом». Значительная часть этих заболеваний обусловлена темпами и особенностями организации современного производства.

Совершенно очевидно, что при проектировании, внедрении и эксплуатации систем «человек-техника-среда» должны учитываться реальные возможности человека, которому предстоит работать в системе.

Первая цель эргономики – повышение эффективности системы «человек-техника-среда», под которой следует понимать способность системы достигать поставленной цели в заданных условиях и с определенным качеством.

Эффективность может быть определена по формуле

$$\mathcal{E} = (\Pi \cdot K) / Z \cdot 100\% , \quad (7.1)$$

где Э – эффективность системы; П – производительность в единицах продукции системы; К – качество продукции; З – материальные, временные, энергетические затраты.

Например, использование ЭВМ и робототехники значительно увеличивает эффективность трудовой деятельности, но может и резко повысить психофизиологические затраты работника в случае пренебрежения эргономическим анализом и проектированием рабочего места оператора, параметров дисплея.

Вторая цель эргономики – обеспечение безопасности труда.

Третья цель эргономики – обеспечение условий для развития личности в процессе труда.

Основные понятия эргономики сосредоточены в ГОСТ 26387-84. Система «человек-машина». По этому стандарту – система, состоящая из человека-оператора (группы операторов) и машины, посредством которой он осуществляет (они осуществляют) трудовую деятельность. *Оператор-человек*, осуществляющий трудовую деятельность, основу которой составляет взаимодействие с машиной и внешней средой через посредство информационной модели и органов управления. *Машиной* называют совокупность технических средств используемых человеком-оператором в процессе деятельности.

7.1. Состав и структура эргономики

Эргономическую оценку системы «человек-техника-среда» можно осуществлять дифференцированным методом, при котором используются отдельные эргономические показатели, или комплексным методом, при котором определяют один обобщенный эргономический показатель. Оценку системы дифференцированным методом производят с помощью групповых показателей, определяемых по одному на каждый из разделов эргономики: антропометрический, гигиенический, физиологический, психофизиологический и психологический. Эти разделы, вместе взятые, и составляют эргономику как науку (рис. 7.1).

Каждый из групповых показателей объединяет группу одиночных показателей (рис. 7.2).



Рис. 7.1. Разделы эргономики

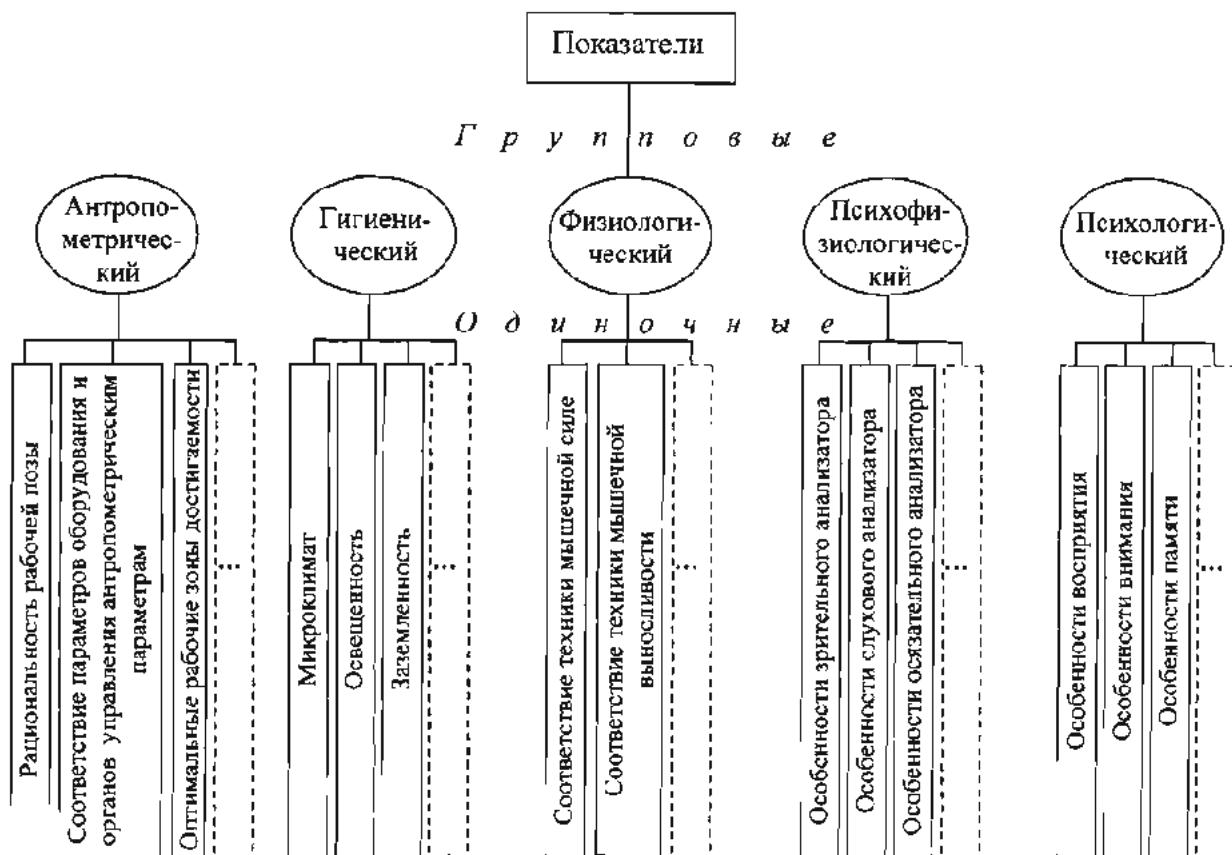


Рис. 7.2. Эргономические показатели

Первый групповой показатель, антропометрический, отражает соответствие машины размерам и форме тела работающего человека, подвижности частей тела и другим параметрам. Его единичные показатели обеспечивают рациональную и удобную позу, правильную осанку, оптимальную хватку рукояток, максимальные и оптимальные рабочие зоны рук и ног и т. д.

Второй групповой показатель характеризует гигиенические условия жизнедеятельности и работоспособности человека при его взаимодействии с системой «человек-техника-среда». Он предполагает создание на рабочем месте нормальных условий микроклимата и ограничения воздействия вредных факторов внешней среды. Групповой показатель составляют единичные показатели освещенности, вентилируемости, температуры, влажности, давления, заземленности, радиации, шума, вибрации, гравитационной перегрузки и ускорений, силы электромагнитных излучений.

Третий и четвертый групповые показатели, физиологический и психофизиологический, характеризуют те эргономические требования, которые определяют соответствие системы «человек-техника-среда» силовым, скоростным, энергетическим, зрительным, слуховым, осязательным, обонятельным возможностям и особенностям человека. Так, например, в процессе проектирования необходимо отчетливо представлять возрастные, половые, психологические и другие особенности операторов конкретной

системы. Так, с возрастом падает чувствительность к свету: потребность в освещенности у человека 30-летнего возраста в два раза, у 40-летнего в три, а у 50-летнего в шесть раз больше, чем у 10-летнего.

Пятый групповой показатель, психологический, отражает соответствие машины возможностям и особенностям восприятия, памяти, мышления, психомоторики, закрепленным и вновь формируемым навыкам работающего человека, степени и характеру группового взаимодействия, опосредования межличностных отношений совместной деятельностью по управлению системой «человек-техника-среда». Эти особенности выступают в качестве единичных показателей.

Достижение целей эргономики представляется весьма сложным делом, потому что уже при постановке задач проектирования и эксплуатации системы необходимо контролировать 15 точек уровней оценки (рис. 7.3), каждая из которых может решающим образом повлиять на успешность технической разработки. Можно оптимально произвести взаимную адаптацию человека и технических устройств по 14 точкам – антрометрическим (точки 1–3), гигиеническим (4 – 6), физиологическим (7 – 9) и другим параметрам, но не придать значения точке 13 (безопасность – психологический групповой показатель), – и вся разработка потеряет смысл.

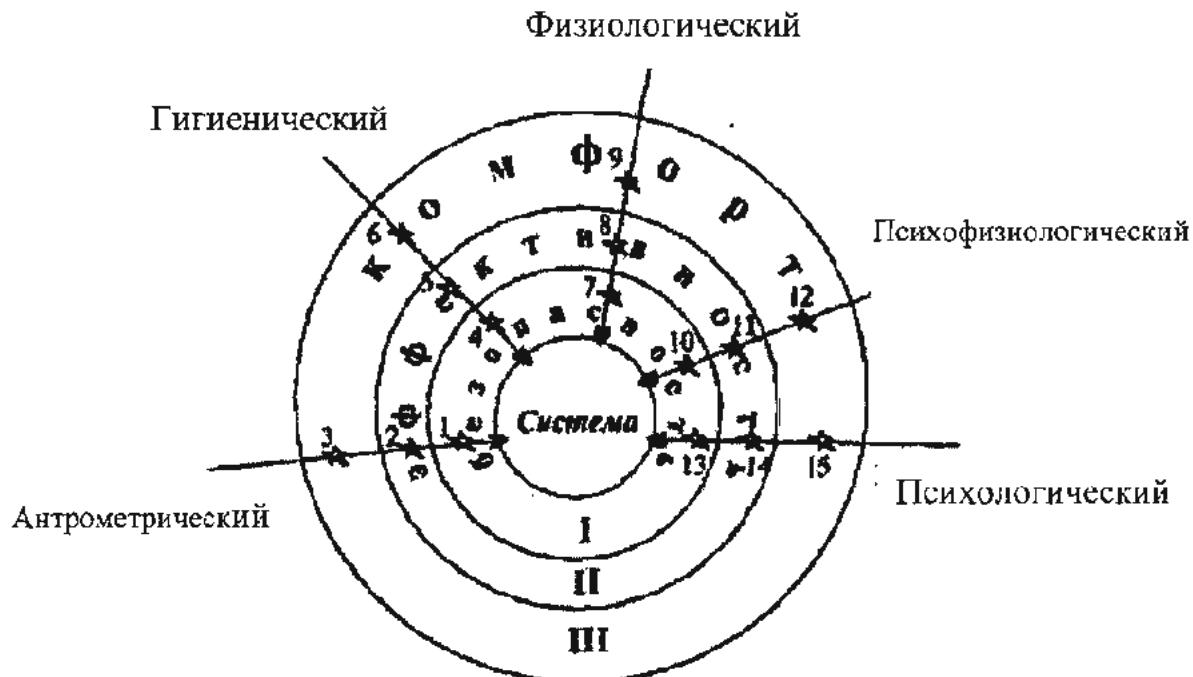


Рис. 7.3. Уровни оценки системы с помощью групповых показателей

В настоящее время эргономика в России развивается по трем направлениям – техническая эстетика, инженерная психология и производственная эргономика. *Техническая эстетика* – это художественное конструирование оборудования и производственная эстетика. *Инженерная психология* изучает связи конструкций пультов управления важнейшими

объектами, например, аэропортами, атомными станциями и т. д., с особенностями восприятия и переработки информации операторами.

В эргономике особо выделяются разделы, которые обосновывают гигиенические, физиологические и психофизиологические требования к конструкциям производственного оборудования и составляют *производственную эргономику*. Ее задачей является осуществление принципа обязательности соответствия конструкции производственного оборудования предприятий анатомофизиологическим и психологическим особенностям человека.

Требования производственной эргономики вытекают из особенностей нормального функционирования органов чувств человека, например, физиологически обоснованные углы зрения, уровень интенсивности сигнала, объемы воспринимаемой и перерабатываемой производственной информации. Это означает, что конструкция оборудования должна соответствовать анатомо-физиологическим и психологическим особенностям строения и функционирования органов человека.

Взаимоотношения человека и техники на всех этапах исторического развития настолько тесно связаны и обусловлены друг другом, что они вместе образуют единую систему, которая может, быть обозначена как «эргономическая система». Данное понятие означает, что человек, применяя то или иное орудие, или обслуживая то или иное производственное оборудование, становится звеном системы, например «человек-машина». Неразрывность и единство этой системы обусловливаются тем, что без человека невозможны никакие виды орудий труда и производственного оборудования, что орудия труда возникли одновременно с человеком и развивались вместе с ним. Это первая характерная черта эргономической системы и эргономики в целом.

Вторая черта – постоянно ускоряющееся развитие эргономической системы. Третьей характерной чертой является обязательность соответствия особенностей конструкции производственного оборудования анатомо-физиологическим и психологическим особенностям человека.

Состав эргономической системы за последние 30 лет претерпел некоторые изменения. В настоящее время большинство эргономистов считают, что система включает три члена: «человек-техника-среда». Некоторые полагают, что эргономическая система включает в себя человека, машину, предмет труда, окружающую среду, лиц, вовлекаемых в систему.

При таком составе эргономической системы важно правильно представить *классификацию связей* внутри этой системы. Она необходима для понимания внутренней организации системы, определения ее уязвимых звеньев и прогнозирования ее поведения в различных условиях эксплуатации.

В соответствии с составом эргономической системы в основу этой классификации должны быть положены три главных признака: особенности связей оператора с машиной и предметом труда и условия труда оператора.

Прежде всего, связи осуществляются через информационное взаимодействие оператора с машиной, которое можно разделить на три этапа.

1. Восприятие информации (перцепция) либо путем непосредственного наблюдения производственного процесса, либо по наблюдению за показателями контрольно-измерительных приборов, отражающих параметры хода производственного процесса. Перцепция осуществляется с помощью органов чувств, откуда полученная информация передается в центральную нервную систему человека.

2. Переработка (трансформация) полученной информации, осуществляющаяся в центральной нервной системе и приводящая к принятию определенного решения. На характер решения, его правильность и быстроту принятия влияет не только информация, поступающая извне, но и внутренняя информация.

3. Выдача принятого решения исполнительным органом и выполнение этого решения. Данный этап называется *управлением* и в системе «человек-машина» осуществляется путем воздействия на органы управления машины с целью внесения необходимых изменений в происходящий в системе процесс. Выходом в этом случае являются исполнительные органы человека, входом – органы управления машины.

Помимо информационного взаимодействия между оператором и машиной имеются другие виды взаимодействия, характеризующиеся рабочей позой оператора при обслуживании машины, усилиями, скоростью, количеством движений, развиваемых при этом, и т. д.

В зарубежных странах получила распространение «Эргономическая карта», которая служит для систематизации и анализа различных факторов, влияющих на трудовой процесс и производительность, а также реакция организма работника на степень рабочей нагрузки. Карта содержит вопросы, которые имеют значение при анализе некоторых специфических видов работ. Все вопросы разделены на общие и частные. Перед началом исследований с применением эргономической контрольной карты опрашиваемый должен сделать общую оценку наиболее важных аспектов своей загрузки работой на данном рабочем месте. При этом следует ответить на следующие вопросы:

Какое задание дано работнику, и какой объем информации ему необходим для выполнения этого задания?

Требует ли выполнение этой работы значительного физического напряжения?

Требует ли работа значительного эмоционального напряжения, быстрой реакции или умения концентрировать внимание?

Влияет ли окружающая обстановка на работника?

Как влияет на работника организация труда (темп работы, перерывы)?

Желательна ли замена некоторых операций, выполняемых человеком, на машинные операции или наоборот?

Не слишком ли проста данная работа, не лишена ли она смысла, не является ли она неприятной или опасной в такой степени, что работник при ее выполнении чувствует ее бессмысличество, страх перед ней или даже отвращение к ней?

Таков смысл и содержание эргономической контрольной карты. Следует заметить, что аналогичная карта (с некоторыми изменениями) применяется на

отечественных предприятиях под названием «Карта организации рабочего места».

7.2. Инженерно-психологические подходы к автоматизации

Возрастание сложности, масштабности и потенциальной опасности создаваемых технических объектов резко обостряет проблему обеспечения надежности и безопасности при управлении ими. Произошедшие в последние годы крупномасштабные аварии и катастрофы в разных странах показали, что техника представляет собой сложный противоречивый социальный и природный феномен: с одной стороны, техника создается ради человека и призвана решать задачи развития общества; с другой стороны, она независимо от позитивных установок и разумных планов людей, которые ее создают и используют, может нанести непоправимый вред обществу и природе.

Помимо техники автоматизация все больше вторгается в повседневную жизнь и бизнес. Это и широкое распространение персональных компьютеров, сложной оргтехники, программируемой бытовой техники и т. д. При этом автоматизация становится основой недоверия к технике, так как смысл выполняемых ее процессов непонятен, что становится причиной различных ошибок при эксплуатации.

При решении проблем автоматизации ведущими становятся вопросы о соотношении роли и ответственности разработчика, создающего технику и оператора, ее эксплуатирующего. В связи с этим инженерный подход к автоматизации процессов управления должен исходить из особенностей создаваемой техники и представлять собой определенную позицию рассмотрения роли и ответственности разработчика и оператора.

К главным проблемам относится, прежде всего, разработка инженерно-психологических подходов к человеку и технике и принципов распределения функций между человеком и автоматикой.

В 40-50-х годах прошлого века был распространен так называемый машиноцентрический подход «от машины (техники) к человеку». В этом подходе человек рассматривается как простое звено системы.

В машиноцентрическом подходе разработчики опосредованно через автоматику выполняют ведущую роль в управлении; оператору отводится второстепенная роль: разработчики возлагают на него функции, которые не может выполнить автоматика. При этом получается, что ответственность за обеспечение надежности управления разработчики техники должны были бы брать полностью на себя, кроме той небольшой части, которая возлагается на оператора за выполнение его профессиональных функций.

Однако с развитием инженерно-психологических исследований все более проявлялась ограниченность машиноцентрического подхода. Характеристики человека-оператора как звена управления (параметры передаточной функции человека, его пропускной способности, скорости переработки информации, времени реакции и т. д.) зависят от структуры его деятельности, индиви-

дуально-личностных особенностей, уровня профессиональной подготовки, работоспособности, состояния. Поэтому возникла необходимость создания принципиально нового подхода к анализу систем «человек-машина».

Таким подходом стал антропоцентрический подход, разработанный в 60-70 годах, который определили как подход «от человека к машине (технике)». В этом подходе человек-оператор рассматривается не как звено технической системы, а как субъект, использующий в своей сознательной, целенаправленной деятельности автоматические устройства, т. е. машина здесь является средством, включенным в деятельность человека.

В антропоцентрическом подходе человек – центральное звено; техническим объектом считается орудие труда человека, средством, включенным в его деятельность. Этот подход возник в процессе усложнения техники, когда из многообразия условий функционирования технических систем разработчику не удавалось решить проблему обеспечения надежности средствами автоматики за счет технического резервирования и потребовалось возложить на оператора функцию резервирования техники: ему предписывалось осуществление перехода с автоматических на ручные режимы управления при отказах тех или иных элементов и блоков системы, функции которых он уже должен обеспечивать. В этой возможности технического резервирования и состояла основная особенность техники, для которой был применен данный подход. Выполнение оператором функции резервирования техники приводит к тому, что ему отводится главная роль, и на него ложится вся ответственность за обеспечение надежности управления. Разработчики этой ответственности не иссут, отвечают только за надежность функционирования технических устройств.

Итак, особенностями техники, обуславливающими использование машиноцентрического подхода, являлись возможность обеспечения надежности управления техническим резервированием, тогда как появление антропоцентрического подхода определялось необходимостью резервированием техники оператором.

7.3. Факторы сложности техники и равнозначный подход к автоматизации

Изменение особенностей техники происходило в процессе ее усложнения. В связи с этим возникает вопрос: какие факторы сложности техники определяют указанные особенности.

В качестве этих факторов выделим три: структурная сложность, функциональная сложность, сложность управления.

Структурная сложность определяется конструкционно-технологическим несовершенством элементов системы. При этом в процессе автоматизации структурную сложность можно преодолеть, с одной стороны, за счет технического резервирования, и, с другой стороны, за счет использования оператора для обеспечения функционирования тех структурных элементов,

которые разработчики не могут автоматизировать. Такими структурными элементами могут быть определенные технические блоки, например: регулятор одного или нескольких параметров функционирования; программное устройство, задающее условия функционирования, сортировочный агрегат, осуществляющий отбор и распределение продукции технологического процесса.

Конкретным примером такой техники является станок-автомат или промышленный робот с гибкими компьютеризированными программами выполнения производственного процесса, перепрограммирование которого обеспечивает человек, а также обычный лифт в многоэтажном доме, пассажиров которого можно рассматривать в качестве операторов.

Таким образом, структурная сложность становится доминирующим фактором надежности управления для техники, особенности которой требуют использования машиноцентрического подхода.

С позиции надежности управления *функциональная сложность* характеризуется трудностями, несогласованностями в организации внутрисистемного взаимодействия из-за многообразия состояний системы и возможности возникновения отказов ее отдельных компонентов, которые разработчикам не удается преодолеть за счет технического резервирования. Это приводит к необходимости резервирования техники оператором, вследствие чего он объективно выполняет главную роль в управлении.

Функциональная сложность становится доминирующим фактором надежности управления для техники, особенности которой требуют антропоцентрического подхода. Примерами такой техники могут служить автоматизированные системы управления отдельными технологическими процессами, в которых оператор осуществляет задание различных параметров, а в случае отказов техники вручную выполняет резервный режим управления.

Сложность управления отражает трудности в организации межсистемного взаимодействия между большим количеством разнородных систем, связанные с возникновением непредсказуемых ситуаций и ложных отказов при нормально функционирующей технике.

К такой опасной технике относятся тепловые и атомные станции, различные типы автоматизированных производств, боевые и пассажирские самолеты, морские крупнотоннажные суда. Здесь разработчики не могут взять на себя полностью ответственность за надежность управления, и оператор не может произвести качественный анализ в непредвиденных ситуациях. Поэтому им могут быть допущены ошибки, которые нельзя устраниć в процессе профессиональной подготовки вследствие новизны и неизвестности этих ситуаций. Следовательно, полностью возложить ответственность за надежность в управлении нельзя и на оператора.

Единственно возможным вариантом в данном случае для обеспечения надежности управления является резервирование оператора автоматикой. Это резервирование может быть реализовано посредством принудительного перехода на автоматический режим управления, целью которого должно

являться, прежде всего, обеспечение безопасности техники. Таким образом, наряду с функцией резервирования автоматики оператором от разработчика требуется осуществить новую функцию резервирования оператора автоматикой. Отсюда возникает разработанный Голиковым Ю. Я. равнозначный подход к автоматизации, в соответствии с которым и разработчики, и операторы должны попеременно осуществлять ведущую роль в управлении.

В связи с этим есть три принципа распределения функций между человеком и автоматикой:

- принцип преимущественных возможностей;
- принцип взаимодополняемости человека и машины;
- принцип активного оператора.

Суть первого в том, что функции человеку и автоматике назначаются в зависимости от того, чьи преимущества будут лучше использоваться при выполнении задач управления.

Согласно второму необходимо не распределять функции, а организовывать совместную деятельность человека и машины таким образом, чтобы происходило взаимное усиление их функций.

Третий принцип определяет необходимость поддержания некоторого уровня активности оператора. То есть степень автоматизации необходимо выбирать таким образом, чтобы оператор осуществлял непрерывный контроль процессов управления по информации, обеспечиваемой автоматикой.

Таким образом, инженерные подходы к автоматизации и принципы распределения функций между человеком и автоматикой составляют сущность эргономических требований при проектировании техники.

8. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ЭКСПЕРТИРОВАНИЕ

Для определения перспектив развития электротехнической промышленности существенную роль играет научно-техническое прогнозирование. Под ним понимают предвидение назревающих тенденций развития науки и техники, социально-промышленного развития, структуры потребления и соответственно распределения ресурсов по различным направлениям научно-технического развития.

Роль научно-технического прогнозирования в последнее время неизмеримо возрастает. Это связано с тем, что в условиях постоянного роста объема информации, увеличения числа факторов, влияющих на общественное развитие, необходимо строгое научное обоснование наиболее прогрессивных и экономичных тенденций развития всех отраслей промышленности.

Прогнозирование позволяет установить наиболее вероятные тенденции и направления такого развития, определить возможные альтернативные решения. Это основная задача прогнозирования.

Прогнозирование является фундаментом планирования, его составной частью. Оно включает анализ существующего состояния отрасли, установление

целей его дальнейшего развития, разработку мероприятий по их достижению на основе имеющихся ресурсов. Прогнозы являются предплановой стадией, органически вписываются в следующие этапы планирования: выбор цели планирования в определенном плановом периоде, разработка основных направлений плана.

Цель прогнозирования в электротехнической промышленности заключается в определении общих путей ее развития. Для получения точных прогнозов необходима достоверная систематизированная информация, выявление тенденций развития отрасли на основе научного анализа, изучения спроса на новую продукцию и т. п. Например, объем производства электроприводов управления технологическими агрегатами зависит от перспектив развития различного технологического оборудования, уровня технических характеристик электроизделия и т. п.

Прогноз дает возможность своевременно предусмотреть развитие производственных мощностей по выпуску определенного оборудования, пересмотреть структуру выпуска и т. п.

Установление предполагаемого объема потребности в определенных видах электроизделий представляет одну из важнейших задач прогнозирования в отрасли. Величина потребности является основанием для формирования производственной программы отрасли и обеспечения условий ее выполнения приобретения необходимого оборудования, обеспечения необходимыми материальными, энергетическими ресурсами и т. д. Например, прогноз развития металлорежущего оборудования в один из периодов позволил определить, что производство роторных автоматических линий существенно увеличится по сравнению с предыдущим периодом. Это помогает своевременно провести мероприятия по обеспечению выпуска потребного объема соответствующего электрооборудования. Новые производства создаются на основе прогноза использования новых видов получения электроэнергии (магнитогидродинамические генераторы, термоэлектрические устройства, атомные генераторы и т. д.).

В этой связи прогнозируются главные направления развития науки и техники.

Прогнозирование такого рода направлено в первую очередь на решение задачи выбора направлений и создания новых высокоеффективных электроизделий с установлением количественных значений параметров, сроков и способов их достижения. При этом следует учитывать постепенное изменение величины параметров в пределах одного поколения машин и скачкообразное – при переходе к новому поколению электрооборудования. Научное прогнозирование также дает возможность определить время использования определенной модели электроизделий в эксплуатации.

Прогнозы классифицируются по объектам, времени, степени достоверности и методам.

По объектам различают глобальные, локальные и сублокальные прогнозы.

Глобальные прогнозы выполняются в объеме всей промышленности, в

электротехнической отрасли глобальное прогнозирование учитывает влияние отрасли на развитие промышленности страны. Локальные прогнозы охватывают развитие одной отрасли. Сублокальные рассматривают характер развития в рамках одного электротехнического предприятия.

По времени различают прогнозы долгосрочные (20–25 лет), среднесрочные (10–15 лет) и краткосрочные (5–7 лет). Долгосрочные прогнозы рассматривают общие тенденции развития. В среднесрочных и краткосрочных исследуются более локальные задачи, например, области применения определенных видов электрооборудование на ближайшие три года.

По степени достоверности прогнозы делятся на гипотетические, аналитико-расчетные и планово-расчетные.

Гипотетические рассматривают общие тенденции развития науки и техники, основаны на мнениях компетентных специалистов, на экспертных оценках. Аналитико-расчетные строятся на базе анализа развития рассматриваемых объектов и процессов с использованием вероятностных расчетных методов (коррекционного анализа, динамических рядов и др.).

Планово-расчетные используются для прогнозирования выполнения планов, в результате чего получают прогноз времени выполнения плана. Планово-расчетные прогнозы имеют наибольшую степень достоверности по сравнению с двумя другими способами прогнозирования.

По методам различают:

- статистическое прогнозирование;
- прогнозирование, основанное на экспертных оценках;
- комбинированное прогнозирование.

Методы статистического прогнозирования используют экстраполяцию, интерполяцию, регрессионные корреляционные и другие математические модели. Наиболее распространен метод экстраполяции, который состоит в определении количественных и качественных показателей развития в будущем периоде на основе закономерностей, имеющих место в предшествующем периоде. Экстраполяция используется для прогнозирования изменения отдельных показателей. Для экономических прогнозов используются более сложные модели, учитывающие соотношение между различными параметрами.

Например, потребность в аппаратуре низкого напряжения для комплектации технологического оборудования на любой момент прогнозируемого периода может быть найдена в результате решения двух взаимосвязанных задач, а именно: определения перспективной величины парка технологического оборудования, на котором используется аппаратура; расчета индекса повышения степени автоматизации основных видов технологического оборудования.

При долгосрочном прогнозировании наиболее надежная информация может быть получена с помощью опроса и соответствующей обработки мнений экспертов. Их работа начинается с составления сценария, в котором рассматривается текущее состояние системы и ее анализ. Такая работа выполняется в несколько этапов с учетом сопоставления мнений экспертов, обоснования их

оценок. В результате путем постепенных приближений строятся соответствующие прогнозы. Экспертные оценки могут выполняться индивидуально и коллективно.

Комбинированный метод прогнозирования состоит в сочетании использования статистического метода и метода, основанного на экспертных оценках.

При использовании мнения экспертов достоверность осуществления прогнозов определяется на основе определенной процедуры. Она состоит в следующем. Выделяются несколько оппонентов, в задачу которых входит разработка аргументов в пользу неосуществления прогнозов.

Прогноз признается достоверным, если его составители докажут несостоятельность возражений оппонентов.

Комплектация электроизделиями оборудования и аппаратуры. Высокие темпы развития машиностроительной промышленности вызывают рост потребности в различного рода электроизделиях: электрических двигателях, электроприводах, аппаратах, комплектных устройствах и т. д. Для определения спроса на электроизделия необходимо изучить тенденции развития отраслей-потребителей и нормы комплектации этими изделиями машин, оборудования, аппаратов. Расчет потребности в изделиях (N_k) ведется по формуле

$$N_k = \sum_{i=1}^m H_{i,k} B_k , \quad (8.1)$$

где m – число наименований изделий; $H_{i,k}$ – норматив потребности в изделиях на комплектацию, шт.; B_k – объем выпуска комплектуемой продукции, шт.

Например, если известно количество подлежащих выпуску станков, комплектуемых определенными электродвигателями и норма комплектации (количество двигателей, приходящихся на один станок), то может быть установлена общая потребность в электроизделиях для комплектации данного вида оборудования.

Для выполнения расчетов необходимо на основе изучения плановых документов установить план выпуска комплектуемого оборудования на тот год, когда предполагается завершение освоения выпуска нового электроизделия, и норму комплектации им данного оборудования.

Для определения перспективной потребности в электроизделиях может быть использован корреляционный анализ.

Прогноз потребности в электроизделиях на перспективу устанавливается на основе анализа фактических данных производства и потребления за прошедший период. На основе выявленной закономерности прогнозируется дальнейшее развитие производства электроизделий. Так как использование электроизделий в различных отраслях способствует росту их технической базы, то производство электроизделий должно опережать развитие отраслей-потребителей.

Исходными данными расчета перспективной потребности являются: индексы роста продукции отрасли-потребителя электроизделий за период не менее 15–20 лет; индексы роста выпуска электроизделий за этот же период;

индексы роста производства продукции отрасли-потребителя электроизделий на перспективу. При этом требуется: установить статистическим путем характер зависимости между индексами роста продукции отрасли-потребителя и выпуска электроизделий; на основе выявленной закономерности определить объем производства электроизделий на перспективу.

Динамика объема производства отрасли-потребителя и производства электроизделий может быть показана графически (рис. 8.1).

На рис. 8.2 показан рост объема электроизделий в зависимости от роста объемов продукции в отрасли-потребителе. Задача реализуется на основе применения корреляционного анализа и метода наименьших квадратов.

Прогнозирование потребности предполагает выявление вероятного спроса на изделие конкретного типа. Общая формула потребности может быть представлена в следующем виде:

$$N_{on} = \sum_i^k n_i m_i , \quad (8.2)$$

где N_{on} – ожидаемая суммарная потребность в изделиях данного типа, шт.; m_i – количество i -х потребителей этих изделий; n_i – количество данных изделий, необходимых i -му потребителю; k – число областей применения.

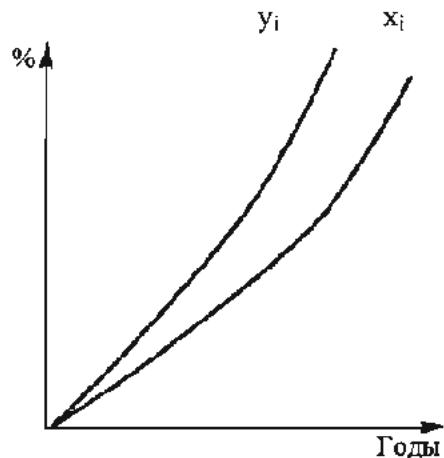


Рис. 8.1. Динамика объема производства отрасли-потребителя и производства электроизделий:
 x_i – индекс развития отрасли-потребителя электроизделий; y_i – индекс, характеризующий производство электроизделий

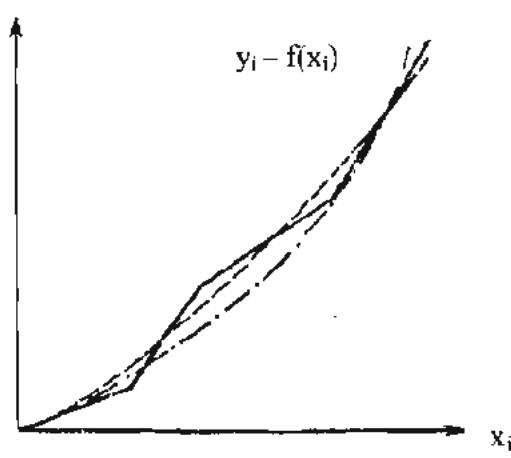


Рис. 8.2. Рост объема электроизделий в зависимости от роста объемов продукции в отрасли потребителя:
— возможность приравнивания к прямой линии;
— возможность приравнивания к параболе;
— эмпирическая линия регрессии

9. МЕТОДЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

9.1. Расчет себестоимости (текущих затрат) и эксплуатационных издержек

В расчетах экономической эффективности возникает необходимость определения оптовой цены, себестоимости и прибыли. Расчет себестоимости и цены на стадиях технического задания и технического предложения имеет укрупненный характер, так как на этих этапах еще отсутствуют необходимые данные для расчета всех статей затрат. Определение себестоимости и цены поэтому ведется нормативно-параметрическими методами и другими средствами укрупненного расчета. Сущность этих методов состоит в выявлении функциональной взаимосвязи между ценой (себестоимостью) и параметрами изделий.

Эти методы применяются при определении цен на функционально однородные изделия. В общем случае взаимосвязь между ценой и технико-экономическими параметрами изделий может быть выражена так:

$$Ц(S)=f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n),$$

где $Ц(S)$ — цена (себестоимость) изделия, руб.; $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ — параметры изделия; $f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ — некоторая функция, наилучшим образом моделирующая взаимосвязь между ценой изделия и его параметрами.

Определение оптовых цен нормативно-параметрическим методом включает в себя следующие основные этапы: выбор изделий с одинаковым составом основных технико-экономических параметров; группировка на ЭВМ отобранный совокупности изделий в параметрические ряды, характеризующиеся относительно однородными взаимосвязями между ценой и технико-экономическими параметрами изделий; исследование и отбор с применением корреляционных полей взаимосвязей оптовой цены с технико-экономическими параметрами изделий; выбор и обоснование типа нормативно-параметрического уравнения; расчет на ЭВМ коэффициентов нормативно-параметрических уравнений; расчет оптовой цены. В качестве примера приведем расчет оптовых цен на синхронные двигатели.

Уравнение регрессии имеет вид:

$$Ц = -26765,4 + 0,7x_1 + 332,8x_2 + 0,86x_3 + 0,067x_4,$$

где $Ц$ — оптовая цена, руб.; x_1 — мощность двигателя, кВт; x_2 — КПД, %; x_3 — масса, кг; x_4 — число оборотов в минуту.

Подставив конкретные значения параметров в уравнение, определяем уровень цены: $Ц = -26765,4 + 0,71 \cdot 1000 + 332,8 \cdot 0,95 + 0,86 \cdot 4,800 + 0,067 \cdot 1000 = 9764,6$ руб.

Отклонения расчетной цены от фактической равны:

$$\Delta Ц = Ц_{\text{факт}} - Ц_{\text{расч}} = 9500 - 9764,6 = -264,6 \text{ руб.};$$

$$\Delta Ц = (\Delta Ц / Ц_{\text{расч}}) \cdot 100 = (-264,6 / 9764,6) \cdot 100 = -2,6\%.$$

Аналогично производится и расчет себестоимости изделий.

Метод удельных показателей. Этот метод используется для определения и анализа себестоимости (цены) изделий, характеризующихся наличием одного основного параметра, величина которого и определяет общий уровень себестоимости (цены) изделия.

Удельные показатели определяются по формуле

$$s_y(y_y) = \sum_{i=1}^N S_i(U_i) / \sum_{i=1}^N P_i, \quad (9.1)$$

где $s_y(y_y)$ — удельная величина себестоимости (цены) на единицу основного параметра, руб.; i — номер изделия параметрического ряда; N — количество изделий в исследуемом параметрическом ряду, шт.; $S_i(U_i)$ — себестоимость (цена) i -го изделия, руб.; P_i — значение основного параметра i -го изделия в соответствующих единицах измерения.

Применение метода удельных показателей предполагает наличие линейной зависимости между себестоимостью (ценой) и основным параметром изделия. Так, взаимосвязь между оптовой ценой и массой асинхронных электродвигателей носит линейный характер. Чем более нелинейна функциональная зависимость между себестоимостью (ценой) и основным параметром изделия, тем выше ошибка в обосновании себестоимости (цены).

Агрегатный метод. Он используется, если имеются фактические данные или возможность рассчитать себестоимость одного из ведущих узлов (блоков, агрегатов) изделия:

$$S_{np} = (S_{y_3} 100/Y_{y_3}) k_{usd}, \quad (9.2)$$

где S_{np} — проектная себестоимость изделия, руб.; S_{y_3} — себестоимость ведущего узла вновь спроектированного изделия, руб.; Y_{y_3} — удельный вес подобного узла в себестоимости аналогичного изделия, %; k_{usd} — коэффициент, учитывающий конструктивные и технологические особенности нового изделия по сравнению с аналогичным.

Метод удельных весов. Себестоимость проектируемого изделия может быть установлена путем расчета одной из статей прямых затрат (затраты на материалы, заработную плату производственных рабочих) и установления удельного веса данной статьи в полной себестоимости аналогичных изделий:

$$S_{np} = (S_c 100/Y_c) k_{usd}, \quad (9.3)$$

где S_c — затраты по данной статье, руб.; Y_c — удельный вес данной статьи затрат в себестоимости аналогичных изделий, %.

Метод учета затрат на единицу массы изделия. Этот метод основан на предположении, что себестоимость массы изделий, близких по конструктивно-технологическим особенностям и техническим параметрам, одинакова и может

быть определена по формуле

$$S_{np} = S_a Q_{np} k_{изд}, \quad (9.4)$$

где S_a — себестоимость единицы массы аналогичного изделия, руб.; Q_{np} — масса вновь спроектированного изделия, кг.

Масса нового изделия может быть определена следующим образом. Вначале устанавливается масса спроектированных изделий, деталей и сборочных единиц изделия, затем с помощью коэффициентов использования материалов рассчитывается масса отдельных конструктивных элементов, а потом всего изделия (Q_{np}):

$$Q_{np} = \left(\sum_1^{n_{к.э.}} Q_{к.э.} / a_m \right) + \sum_1^{N_{к.н.}} n_k Q_k, \quad (9.5)$$

где $Q_{к.э.}$ — масса конструктивных элементов изделия, кг; a_m — коэффициент использования материалов; $n_{к.э.}$ — количество конструктивных элементов изделия, шт.; n_k — количество комплектующих изделий определенного типа, шт.; Q_k — вес комплектующего изделия данного типа, кг; $N_{к.н.}$ — количество наименований комплектующих изделий.

Для электрических машин общая масса (Q_{np}) может быть определена по формуле

$$Q_{np} = (Q_a 100 / Y_a), \quad (9.6)$$

где Q_a — масса активных материалов спроектированной машины, кг; Y_a — удельный вес активных материалов в общей массе аналогичных электрических машин, %.

Балловый метод. Этот метод состоит в том, что на основе экспертных оценок или технико-экономических расчетов значимости параметров изделий для потребителей каждому параметру присваивается балловая оценка улучшения параметра на единицу. Цена (Π) определяется по формуле

$$\Pi = \Pi_b + C \sum_{i=1}^n B_i (x_i - x_i^b), \quad (9.7)$$

где Π_b — цена базового изделия, руб.; C — стоимостная оценка одного балла; i — номер параметра; n — количество учитываемых параметров; B_i — балловая оценка улучшения i -го параметра на единицу; x_i — величина i -го параметра изделия; x_i^b — величина i -го параметра базового изделия.

Расчет себестоимости по калькуляционным статьям затрат. Себестоимость изделия по этому методу определяется по следующим статьям затрат: сырье и материалы; покупные комплектующие изделия, полуфабрикаты

и услуги кооперированных предприятий; возвратные отходы (вычитаются); топливо и энергия на технологические цели; основная заработка плата производственных рабочих; дополнительная заработка плата производственных рабочих; отчисления на социальное страхование; расходы на подготовку и освоение производства новых видов изделий; износ инструментов и приспособлений целевого назначения и прочие специальные расходы; расходы на содержание и эксплуатацию оборудования; цеховые и общезаводские расходы; потери от брака; прочие производственные и внепроизводственные расходы. Рассмотрим методы расчета отдельных статей затрат.

В статью «Сыре и материалы» включаются затраты: на сырье и материалы, которые входят в состав вырабатываемой продукции или являются необходимыми компонентами для ее изготовления; на покупные изделия общепромышленного назначения (арматура, шарикоподшипники, метизы и т. п.); на вспомогательные материалы, используемые для технологических целей, например материалы для формовки, травления, закалки, сварки, хромирования, никелирования. Затраты по этой статье включаются в себестоимость отдельных изделий прямым путем. Затраты на вспомогательные материалы для технологических целей относят на себестоимость изделия прямым путем или пропорционально сметным ставкам, рассчитанным на основе норм расхода и стоимости этих материалов. При большой сложности расчетов эти затраты включаются в расходы на содержание и эксплуатацию оборудования.

Стоимость сырья и материалов определяется на основании норм расхода каждого вида материалов и прейскурантных цен за вычетом стоимости отходов, которые также определяются по прейскурантам.

Под возвратными отходами производства понимаются остатки сырья, материалов или полуфабрикатов, утратившие полностью или частично потребительные свойства исходного материала и не используемые по прямому назначению. В электропромышленности в условиях массового и крупносерийного производства средние размеры реализуемых возвратных отходов на отдельные группы материалов колеблются в пределах: по черным металлам 15—25%, по цветным металлам 10—20, по пластическим массам 10—15, по проводам и кабелям 3—5%. Для серийного и единичного производства к указанным величинам может быть применен коэффициент, равный 1,2—1,5. Размер возвратных отходов зависит от степени прогрессивности применяемого технологического процесса и определяется исходя из конкретных условий проектирования.

Норма расхода материала на ту или иную деталь H_{pac} рассчитывается по формуле

$$H_{pac} = Q + H_{omx}, \quad (9.8)$$

где Q — масса детали в соответствии с чертежом, кг; H_{omx} — планируемые отходы, кг.

Результаты расчетов вносятся в табл. 9.1.

В стоимости материалов учитываются транспортно-заготовительные расходы, которые на предприятиях электропромышленности устанавливаются на уровне 5 – 7% от стоимости материалов.

Расходы по статье «Покупные комплектующие изделия, полуфабрикаты и услуги кооперированных предприятий» определяются в соответствии с ведомостью покупных изделий, требующих дополнительных затрат труда на их сборку и обработку при укомплектовании выпускаемой продукции, и действующих оптовых цен на них. Транспортно-заготовительные расходы в этом случае составляют 2 – 4% от стоимости покупных изделий и полуфабрикатов.

Таблица 9.1
Расчет стоимости материалов

№ п. п.	Мате- риал	Марка мате- риала, ГОСТ	Единица изме- рения	Цена единицы, руб.	Норма расхода, кг	Сумма, руб.	Возвратные отходы			Общие затраты, руб.
							Мас- са, кг	Цена еди- ницы, руб.	Сум- ма, руб.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Итого

В статью «Топливо и энергия на технологические цели» включаются затраты на все виды топлива и энергии, расходуемые в производстве. На большинстве предприятий электротехнической промышленности эти затраты относят на расходы по содержанию и эксплуатации оборудования.

В статье «Основная заработная плата производственных рабочих» планируется и учитывается основная заработная плата, как производственных рабочих, так и инженерно-технических работников, непосредственно связанных с изготовлением продукции. В ее состав включаются: оплата по сдельным расценкам и оплата повременщикам по тарифным ставкам (окладам); доплаты до часового фонда; по прогрессивно-премиальным системам, за работу в ночное время, неосвобожденным бригадирам, за обучение учеников, доплаты по районным коэффициентам и т. п. Доплаты до часового фонда включаются в себестоимость косвенным путем — в процентах к прямой заработной плате. Этот процент определяется как отношение суммы всех доплат до часового фонда к фонду прямой заработной платы по плановым или фактическим данным предприятия и составляет 10—12%.

Затраты по статье «Основная заработная плата производственных рабочих» LO рассчитываются на основании данных о трудоемкости работ, часовых тарифных ставок и коэффициента доплат до часового фонда:

$$L_o = \sum_{i=1}^{n_{pot}} T L_i k_i , \quad (9.9)$$

где $n_{раб}$ — количество видов работ при изготовлении изделия; T — расчетная трудоемкость данного вида работ, нормо-ч; L_T — часовая тарифная ставка с учетом разряда выполненных работ, руб.; k_u — коэффициент, учитывающий доплаты до часовогого фонда. Исходные данные и результаты расчетов вносятся в табл. 9.2.

В ряде случаев новые изделия изготавливаются на экспериментальных участках техниками, рабочими-повременщиками.

Таблица 9.2
Расчет основной заработной платы производственных рабочих

№ п.п.	Виды работ	Трудоемкость работ, нормо-ч	Разряд работ	Часовая тарифная ставка, руб.	Коэффициент, учитающий до- платы до часового фонда	Основная заработка плата, руб.
1	2	3	4	5	6	7

Итого

Основную заработную плату ($L_{o,n}$) в этих случаях можно определить так:

$$L_{o,n} = L_m t_\phi / n_{\partial n} t_{cm}, \quad (9.10)$$

где L_m — месячный оклад или месячная тарифная ставка работников, руб.; t_ϕ — фактически необходимое время на изготовление изделия (или выполнение определенного вида работ), ч; $n_{\partial n}$ — среднее количество рабочих дней в месяце; t_{cm} — средняя продолжительность рабочего дня, ч. В статье «Дополнительная заработка производственных рабочих» планируются и учитываются следующие выплаты: оплата очередных и дополнительных отпусков, льготных часов подросткам, перерывов в работе кормящих матерей, времени, связанного с выполнением общественных и государственных обязанностей, компенсации за неиспользованный отпуск, вознаграждения за выслугу лет. Дополнительная заработка производственных рабочих определяется в процентах от основной, ориентировочно коэффициент дополнительной заработной платы может быть принят в пределах 1,09–1,11.

Статья «Отчисления на социальное страхование» рассчитывается с учетом установленных тарифов для соответствующих отраслей (в электротехнической промышленности — 1,14). В статью включаются отчисления по установленным нормам от суммы основной и дополнительной заработной платы производственных рабочих, а также от суммы премий, вошедших в заработную плату за время отпусков, отнесенных на фонд материального поощрения.

Общая величина заработной платы (основной и дополнительной) с начислениями (L_H) определяется по формуле

$$L_H = L_0 k_{Д.З} k_{СТ}, \quad (9.11)$$

или

$$L_H = L_{0,П} k_{Д.З} k_{СТ},$$

где $k_{Д.З}$ — коэффициент, учитывающий дополнительную заработную плату; $k_{СТ}$ — коэффициент, определяющий размер отчислений на социальное страхование.

Статья «Расходы на подготовку и освоение производства» включает: расходы на комплексное опробование вновь вводимых в действие предприятий, цехов, агрегатов; затраты на освоение производства новых изделий; отчисления в фонды освоения новой техники и премирования за ее создание и освоение. В себестоимость продукции они включаются в случае, если источником их покрытия являются расходы будущих периодов. Рассчитанные по смете затраты на освоение новых видов продукции включаются в плановую себестоимость путем их распределения на трехгодичный выпуск после окончания периода освоения.

В статью «Износ инструментов и приспособлений целевого назначения и прочие специальные расходы» включается погашение затрат на изготовление, приобретение и ремонт специальных инструментов и приспособлений, которые могут быть использованы только при производстве определенных изделий. К специальным инструментам и приспособлениям целевого назначения относятся: модели, штампы, пресс-формы, также различный специальный инструмент (режущий, мерительный, вспомогательный) и приспособления независимо от их стоимости. На данную статью относятся также прочие специальные расходы, возникающие при производстве определенных видов изделий: на содержание специальных конструкторских и технических служб, лабораторий, оплату экспертиз, технический контроль и т. д., они полностью включаются в себестоимость конкретных видов изделий.

В статье «Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования» отражаются затраты на содержание, амортизацию и текущий ремонт оборудования, цехового транспорта, рабочих мест, а также амортизация, износ и затраты на восстановление специальных инструментов и приспособлений. До последнего времени они относились на себестоимость единицы изделия пропорционально основной заработной плате производственных рабочих (без доплат по сделано-премиальной системе оплаты труда). Однако, как показала практика, эти расходы не только зависят от заработной платы производственных рабочих, а скорее обратно пропорциональны ей. Поэтому наиболее правильным является распределение расходов на содержание и эксплуатацию оборудования с помощью смесевых ставок, рассчитываемых

методом коэффициенто-машино-часов работы оборудования. При этом исходными показателями являются расходы на час работы оборудования и ее продолжительность при изготовлении единицы соответствующего вида продукции. Так как состав оборудования на предприятиях не однороден, то для расчета сметных ставок все оборудованис группируется по технологическому назначению и величине затрат на содержание и эксплуатацию за 1 ч работы.

По каждой группе оборудования определяются характерные для нее расходы: амортизационные отчисления рассчитываются исходя из балансовой стоимости оборудования и установленных норм амортизации; расходы на обслуживание и ремонт определяются на основании норм расхода вспомогательных материалов, запасных частей, заработной платы ремонтного персонала; затраты на электроэнергию находятся исходя из установленной мощности агрегатов, коэффициента спроса и стоимости 1 кВт · ч электроэнергии; затраты на инструмент — по нормам расхода на 1 ч работы оборудования.

Нормативная величина расходов на 1 ч работы одной из групп оборудования принимается условно за единицу. По отношению к ней определяются коэффициенты приведения по остальным группам оборудования. Затем рассчитывают общее количество приведенных машино-часов путем суммирования результатов умножения коэффициентов приведения по группам оборудования на количество машино-часов работы соответствующей группы. Общая величина расходов на содержание и эксплуатацию оборудования делится на общее количество приведенных машино-часов и получается плановая себестоимость одного приведенного машино-часа. Умножив плановую себестоимость одного приведенного машино-часа на количество приведенных машино-часов на единицу изделия, найдем сметную сумму расходов на содержание и эксплуатацию оборудования, которая включается в плановую себестоимость соответствующего изделия.

Статья «Цеховые расходы» в большинстве случаев относится на себестоимость отдельных электрических машин, электроприводов и аппаратов пропорционально основной заработной плате производственных рабочих. Она включает в себя заработную плату цехового персонала; амортизацию зданий и сооружений цеха; затраты на содержание и текущий ремонт зданий, сооружений и инвентаря общепроизводственного назначения, на проведение опытов, исследований и т. д.

Затраты по статье «Общезаводские расходы» связаны с организацией производства в целом и его управлением. В нее входят: заработка плата персонала заведующего; расходы на командировки и перемещения; конторские, типографские, почтово-телеграфные, телефонные расходы; амортизация, содержание и текущий ремонт зданий, сооружений и инвентаря общезаводского назначения; расходы на подготовку кадров, организованный набор рабочей силы; расходы на охрану предприятия; налоги, сборы, отчисления и др. Эти расходы относятся на себестоимость единицы изделия пропорционально основной заработной плате производственных рабочих.

Статья «Потери от брака» включает в себя расходы, связанные с устранением брака.

Статья «Прочие производственные расходы» в электротехнической промышленности включает затраты по стандартизации и отчисления на централизованную техническую пропаганду, на гарантийное обслуживание и ремонт изделий, другие расходы, не относящиеся ни к одной из указанных выше статей затрат. Эти расходы прямо включаются на себестоимость соответствующих изделий.

По статье «Внепроизводственные расходы» учитываются только затраты предприятия по реализации продукции. Они устанавливаются в процентах от заводской (производственной) себестоимости. Их величина может колебаться в пределах от 3 до 7 % на разных предприятиях электротехнической промышленности.

Полная себестоимость данного изделия представляет собой сумму вышеперечисленных расходов.

Оптовая цена (I_0) определяется по формуле

$$I_0 = S_n k_p, \quad (9.12)$$

где S_n — полная себестоимость изделия, руб.; k_p — коэффициент рентабельности, учитывающий прибыль и принимаемый в электротехнической промышленности и приборостроении на уровне 1,12—1,15.

Затраты на приобретение нового изделия потребителем принимаются в размере оптовой цены предприятия.

Расходы на транспортировку, монтаж и наладку электрических машин, электроприводов, аппаратов определяются укрупненно на уровне 10—20% от стоимости изделия или рассчитываются на основании тарифов, ценников и прейскурантов на транспортировку и проведение монтажно-наладочных работ.

Затраты на проектирование и подготовку производства новой конструкции учитываются путем выполнения конкретных расчетов на основании методических положений, принятых в гл. 8.

Сопряженные затраты включают в себя расходы по организации эксплуатации нового электроизделия (приобретение нового оборудования, создание или перестройка производственных площадей и т. п.).

Затраты на выполнение оборотных средств должны быть добавлены к общей сумме капитальных вложений, если внедрение нового изделия вызывает их увеличение, или должны вычитаться, если в результате применения новой техники оборотные средства снижаются. Так, например, при эксплуатации электрического привода требуются запасные элементы системы управления приводом для замены отказавших в процессе эксплуатации. Повышение надежности позволяет уменьшить комплект запасных элементов и тем самым снизить потребность в оборотных средствах.

Расчет эксплуатационных расходов электроизделий. При определении экономической эффективности новых изделий необходимо установить размер

расходов на эксплуатацию этих изделий в сфере потребления. Эксплуатационные расходы включают в себя статьи затрат: расходы на электроэнергию, заработную плату обслуживающего персонала, амортизационные отчисления, затраты на ремонт, расходы на материалы, связанные с эксплуатацией изделия. Расчеты отдельных статей эксплуатационных расходов ведутся по следующим формулам.

Расходы на питание электроэнергии двигателей постоянного тока ($S_{э,с}$):

$$S_{э,с} = P_n F_{изд} \mathcal{L}_э . \quad (9.13)$$

Для батарейного питания ($S_{э,б}$):

$$S_{э,б} = [\frac{U_{бi} i_i}{\Phi_i} + \dots + \frac{U_{бn} i_n}{\Phi_n}] F_{изд} , \quad (9.14)$$

где P_n — потребляемая мощность изделия, кВт; $F_{изд}$ — число часов работы изделия в год, ч; $\mathcal{L}_э$ — цена 1 кВт·ч электроэнергии, руб.; $U_{бi}$ — цена батарей, руб.; i_1, \dots, i_n — потребляемый ток, А; Φ_1, \dots, Φ_n — емкость батарей, А·ч.

Заработка плата обслуживающего персонала (L):

$$L = PL_T F_0 \cdot 1,2 , \quad (9.15)$$

где P — количество операторов, обслуживающих изделие, чел.; L_T — часовая тарифная ставка оператора, руб.; F_0 — фонд времени работы оператора в год, ч; 1,2 — коэффициент, учитывающий доплаты, дополнительную заработную плату и отчисления на социальное страхование.

Амортизационные отчисления ($A_{ам}$):

$$A_{ам} = K(\alpha/100) = k/T , \quad (9.16)$$

где K — капитальные вложения на изделие, руб.; α — процент амортизационных отчислений в год; T — полное расчетное число лет работы изделия, лет.

Затраты на ремонт (Z_p):

$$Z_p = [\frac{S_1 \Pi_1}{T_1} + \dots + \frac{S_n \Pi_n}{T_n}] F_{изд} + L_i , \quad (9.17)$$

где S_1, \dots, S_n — стоимость однотипных сменяемых элементов, руб.; Π_1, \dots, Π_n — количество однотипных сменяемых элементов, шт./год; T_1, \dots, T_n — средний срок службы деталей данного типа, ч; $F_{изд}$ — продолжительность работы изделия в год, ч; L_i — заработка плата рабочих на проведение ремонтных работ в соответствии с нормативами системы ППР.

Результаты расчетов сводятся в табл. 9.3.

Расходы на материалы, связанные с эксплуатацией изделия, включают стоимость таких материалов, как бумага или пленка для самозаписывающих приборов, магнитная лента, трансформаторное масло и др.

Таблица 9.3
Эксплуатационные расходы на изделие

Статьи затрат	Сумма затрат, руб.
Расходы на электроэнергию	
Заработка плата обслуживающего персонала	
Амортизационные отчисления	
Расходы на ремонт	
Расходы на материалы	
Итого	

Особое место при расчете эксплуатационных расходов электроизделий занимает определение стоимости потерь электроэнергии. Они складываются из капитальных затрат на строительство электростанций, выработку и транспортировку электрической энергии. Эти затраты зависят от величины потерь электроизделий и от конкретных условий их эксплуатации. Методика расчета потерь электроэнергии для различных видов электроаппаратуры несколько различна. Ниже предлагается расчет потерь электроэнергии для высоковольтных электродвигателей. Стоимость 1 кВт активных потерь в электродвигателе (U_3) определяется по формуле

$$U_3 = k_p \lambda (78,3 k_m + 0,092 k_3 F_v), \quad (9.18)$$

где k_p — коэффициент, соответствующий доле работающих электродвигателей без учета резервных; 78,3 — величина, учитывающая удельные капитальные вложения в энергосистему, а также ежегодные амортизационные отчисления и расходы на заработную плату персонала энергосистемы, руб./кВт; k_m — коэффициент участия мощности электродвигателя в максимуме нагрузки энергосистемы; 0,092 — величина, учитывающая удельные капитальные вложения в топливную базу, транспорт, стоимость топлива на выработку 1 кВт·ч, отпущенного с шин электростанции, руб./кВт·ч; k_3 — коэффициент средней загрузки электродвигателя по мощности; F_v — число часов работы электродвигателя за год, ч; А, — коэффициент, учитывающий дополнительные потери в сетях и линиях от электростанции до электродвигателя:

$$\lambda = 1/(1-2 p_v H \cos \varphi), \quad (9.19)$$

где p_s — средние удельные потери мощности на 1 кВт передаваемой электроэнергии в пределах одной ступени трансформации; H — число ступеней трансформации от генератора до электродвигателя; $\cos\phi$ — коэффициент мощности, передаваемой по линии электроэнергии.

При работе электрических машин в сетях с коэффициентом мощности 0,90—0,95 удельные потери в каждой ступени трансформации составляют 3—5%, а число ступеней трансформации для высоковольтных электродвигателей составляет 2—3, низковольтных 3—4; p_s — иногда принимается равным 4%; $\cos\phi = 0,92$, тогда для высоковольтных электродвигателей $\lambda = 1,23$, а для низковольтных $\lambda = 1,36$.

Общая величина затрат на покрытие потерь находится в прямой зависимости от энергетических показателей электродвигателя, в частности от коэффициента полезного действия.

Величина затрат на покрытие потерь электроэнергии для синхронных электродвигателей (S_s) определяется по формуле

$$S_s = U_s P_n \frac{1 - \eta_n}{\eta_n}, \quad (9.20)$$

где U_s — удельная стоимость 1 кВт потерь с учетом режима работы машины на срок эксплуатации 5 лет и приведенная к году изготовления электрической машины, руб./кВт; P_n — номинальная мощность электрической машины, кВт; η_n — номинальный КПД.

Большое значение имеет коэффициент мощности, поскольку снижение $\cos\phi$ может вызвать увеличение потерь в сетях или потребность в установлении дополнительных компенсационных устройств.

Существенное значение при экономической оценке энергетических показателей и выборе рационального варианта электрической машины, а также при расчете экономической эффективности внедрения новых электрических машин имеют затраты, связанные с потреблением асинхронным электродвигателем реактивной мощности. Она рассчитывается как стоимость компенсации потребляемой мощности до так называемого «нейтрального» $\cos\phi_0$, в качестве которого может быть принят $\cos\phi = 0,92$. При расчете возможны два варианта. В первом — компенсация должна осуществляться специальным компенсирующим устройством — конденсаторными батареями:

$$S'_p = k_p k_y (1,38 k_y + \Delta p_y U_s), \quad (9.21)$$

где S'_p — стоимость компенсации 1 квар электродвигателя, руб./квар; k_y — удельная стоимость компенсирующих устройств (для статических конденсаторных батарей напряжением 6 000 В $k_y = 5$ руб./квар, напряжением 380 В $k_y = 9$ руб./квар); 1,38 — коэффициент, учитывающий, кроме удельной стоимости компенсационных устройств, ежегодные амортизационные отчисления, расходы на их ремонт и обслуживание, условно оцениваемые в долях от k_y ; Δp_y —

удельные потери активной мощности в компенсирующем устройстве, для конденсаторных батарей напряжением 6 000 В $\Delta p_r = 0,002 \text{ кВт/квар}$, а напряжением 380 В $\Delta p_r = 0,004 \text{ кВт/квар}$; k_x — коэффициент, учитывающий долю электродвигателей, снижение или повышение $\cos\phi$ которых вызывает изменение затрат при эксплуатации (может изменяться в пределах от 0 до 1,0); U_s — удельная стоимость 1 кВт потерь для конденсаторных батарей при $k_p=1,0$, $k_3=1,0$, $k_m=1,0$ и числе часов, соответствующем числу часов работы электродвигателя (руб/кВт): при $t = 4000$ и $S_g=1,23$ $U_s=142$; при $t = 4 000$ и $S_g=1,35$, $U_s=155$.

Во втором случае компенсационные устройства не применяются, тогда снижение или повышение потребляемой асинхронными электродвигателями реактивной энергии будет вызывать изменение нагрузки сетей и потерь в них. Тогда затраты будут определяться так:

$$s_p'' = k_x p_r U_s, \quad (9.22)$$

где s_p'' — удельная стоимость 1 кварт реактивной мощности электродвигателя, руб./квар; p_r — удельный прирост, потерь на 1 кварт дополнительной реактивной мощности, кВт/квар; U_s — удельная стоимость 1 кВт потерь для электродвигателя, учитывающая действующие значения k_p , k_3 , λ , F , руб./кВт.

Удельный прирост потерь, 1 кварт дополнительной реактивной мощности составляет

$$P_r = \eta P_n H \lambda_n \cos\phi. \quad (9.23)$$

Принимаем усредненные значения P_n , H , $\cos\phi$, тогда для низковольтных электродвигателей $p_r = 0,11 \text{ кВт/квар}$, а для высоковольтных $p_r = 0,079 \text{ кВт/квар}$.

Далее рассчитывается приведенный КПД:

$$\eta_{np} = \eta_n / [1 + \frac{S_p}{U_s} (\operatorname{tg}\phi_n - \operatorname{tg}\phi_0)], \quad (9.24)$$

где η_{np} — приведенный КПД асинхронного электродвигателя, представляющий собой экономический эквивалент, учитывающий как активные потери в электродвигателе, так и затраты, связанные с потреблением реактивной мощности, отнесенные к стоимости 1 кВт потерь; η_n — номинальный КПД электрического двигателя; $\operatorname{tg}\phi_n$ — соответствует номинальному $\cos\phi_n$ электродвигателя; $\operatorname{tg}\phi_0$ — соответствует «нейтральному» $\cos\phi_0$, при принятом значении $\cos\phi_0 = 0,92$, $\operatorname{tg}\phi_0 = 0,426$.

Общая стоимость затрат на покрытие потерь электроэнергии для асинхронных электродвигателей (S_g^P) с учетом потребления ими реактивной энергии определяется по формуле

$$S_g^P = U_s P_n \frac{1 - \eta_{np}}{\eta_{np}}. \quad (9.25)$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В условиях рыночных отношений центр экономической деятельности должен находиться в основном звене всей экономики – на предприятии, где производится необходимая обществу продукция. В свою очередь эффективность любого производства, позволяющая стабильно функционировать предприятию, в значительной степени зависит от компетентности и знаний руководителей, специалистов и всего персонала в целом.

Новая ситуация требует большого количества искривленно мыслящих и соответственно подготовленных специалистов, способных успешно работать в условиях рыночной экономики.

Теоретический материал данного пособия и его тщательная проработка позволяет студентам, изучающим курс «Экономика и организация производства электроприводов», овладеть знаниями области стоимостного инжиниринга – метода, представляющего широкие возможности для создания и освоения новой конкурентоспособной техники.

После изучения курса студенты будут иметь представление об основах проектирования, расчета электротехнических систем, освоят методы принятия важнейших инженерно-экономических решений, а также методы и средства воздействия на экономику производства с целью экономии затрат для достижения наилучшего качества продукции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ Р 50369 – 92. Электроприводы. Термины и определения. – М.: Изд – во стандартов, 1993.
2. Состояние и перспективы развития регулирования электроприводов / М. Г. Юньков, Д. Б. Изосимов и др.// Электротехника. –1994. –№7.
3. Современный электропривод: Состояние, прогресс, тенденции / Л. Х. Дацковский, А. В. Бирюков и др. // Электротехника. – 1994. – №7.
4. Ильинский, Н. Ф. Общий курс электропривода / Н. Ф. Ильинский, В. Ф. Козаченко. – М.: Энергоатомиздат, 1992.
5. Ковчин, С. А. Теория электропривода / С. А. Ковчин, Ю. А. Сабинин.- СПб.: Энергоатомиздат, 1994.
6. Бут, Д. А. Электромеханика сегодня и завтра / Д. А. Бут // Электричество. – 1995. – №1, 2.
7. Свечарник,Д. В. Электрические машины непроизводственного привода. Безредукторный электропривод / Д. В. Свечарник. – М.: Энергоатомиздат, 1988.
8. The World of Variable – Speed Drives. Siemens, 1994.
9. Новейшая техника регулируемых электроприводов переменного и постоянного тока PPS 200 целлюлозно-бумажной промышленности: Материал семинара АВВ «Электропривод 2000». Петрозаводск, 21 – 22 марта 1995. – Петрозаводск, 1995.
10. Астафьев, В. Е. Экономика электротехнического производства / В. Е. Астафьев, К. Т. Джурabaев, А. И. Яковлев. – М.: Высшая школа, 1989.
11. Экономика для технических вузов / под ред. А. П. Ковалева и М. П. Павлова. Ростов – на – Дону: Феникс , 2001.
12. Экономика предприятий / под ред. А. С. Пелиха. – Ростов – на – Дону, Феникс , 2002.
13. Эргономика / под ред. В. В. Адамчука. – М.: Юнити, 1999.
14. Канц, А. Л. Крупноблочные комплектные устройства для управления электроприводами / А. Л. Канц, П. И. Ясвен. – М.: Энергия, 1971.
15. Орлов , П. И. Основы конструирования. Справочно-методическое пособие:в 3 т. / П. И. Орлов. – М.: Машиностроение, 1977.
16. Соколов,А. К. Основы САПР в энергетике и электротехнике: учебное пособие / А. К. Соколов, В. Н. Бурченко. – Иваново: ИВТУ, 1980.
17. Справочник по проектированию электропривода, силовых и осветительных устройств / под ред. Е. С. Мовсесова, А. М. Храмушкина. – М.: Энергия, 1974.
18. Справочник по проектированию автоматизированного электропривода и систем управления технологическими процессами / под ред. В. И. Круповича, Ю. Г. Барыбина, М. Л. Самовера. – М.: Энергоатомиздат, 1982.
19. Справочник по средствам автоматики / под ред. А.Э.Низе, И.В.Антика. – М.: Энергоатомиздат, 1983.
20. Функционально-стоимостный анализ в электротехнической промышленности / под ред. М. Г. Карпунина. – М.: Энергоатомиздат, 1984.
21. Яковенко,В. С. Расчет и конструирование элементов электропривода / В. С. Яковенко, С. С. Арсенюк, В. М. Царик. – М.: Энергоатомиздат, 1987.