

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Кубанский государственный аграрный университет  
имени И.Т. Трубилина»

В. Г. Сазыкин

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Книга 1. Организация проектирования

Учебное пособие  
по направлению подготовки  
13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»,  
направленность «Электроснабжение»  
по программе бакалавриата

Краснодар  
2019

**УДК 621.311.1:338.436.33(075)**

**ББК 31.19**

**С14**

**Рецензенты:**

**И. И. Надтока** – д-р техн. наук, профессор  
Южно-Российский государственный  
политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова;

**П. В. Яцинин** – П. В. Яцинин – директор филиала  
«ЭлектрогазПроект» ДООАО «Электрогаз»  
ОАО «Газпром», канд. техн. наук

**Сазыкин В. Г.**

**С14** Проектирование систем электроснабжения. Кн. 1. Организация проектирования : учебн. пособие / В. Г. Сазыкин; КубГАУ им. И.Т. Трубилина. – Краснодар, 2019. – 248 с.

Соответствует программе дисциплины «Проектирование систем электроснабжения» по направлению 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», направленность «Электроснабжение» по программе бакалавриата для обучающихся всех форм обучения.

Предназначено для аудиторной и внеаудиторной самостоятельной работы при изучении отдельных глав, тем или вопросов лекционного курса; подготовке к очередным лекциям и практическим занятиям; выполнении индивидуальных заданий, курсовых, выпускных квалификационных работ; подготовке к индивидуальному собеседованию с преподавателем, к экзамену; участию в научно-исследовательской работе.

Рекомендовано в качестве учебного пособия учебно-методической комиссией факультета энергетики Кубанского государственного аграрного университета имени И.Т. Трубилина. Протокол № 3 от 20.11.2019.

**УДК 621.311.1:338.436.33(075)**

**ББК 31.19**

© Сазыкин В. Г., 2019

© ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина», 2019

## ■ ВВЕДЕНИЕ

---

*Система электроснабжения (СЭС)* является составной частью электрохозяйства предприятия и осуществляет обеспечение внутризаводских потребителей электрической энергией. Изучение научных основ построения СЭС, методик формирования величин расчетной нагрузки на различных уровнях, выбор типа и параметров электротехнического оборудования, анализ и синтез схем электрических сетей, компенсация реактивной мощности и ряд других важных вопросов осуществляется в дисциплине «Проектирование систем электроснабжения». Учебное пособие направлено на формирование у обучающихся систематических знаний по проблемам проектирования СЭС в рамках изучаемой дисциплины. Проектная деятельность объектов электросетевого хозяйства основана на требованиях профессионального стандарта 16.047 «Специалист в области проектирования систем электроснабжения объектов капитального строительства».

После получения технологических сведений о составе проектируемого объекта и плана размещения его производственных цехов и основного оборудования проектирование СЭС продолжает описание энергохозяйства. Учебные задачи решаются через курсовое и дипломное проектирование на завершающих этапах обучения с целью выявления у обучающихся способности самостоятельно решать конкретные практические и актуальные задачи на основе полученных знаний.

Учебное пособие «Проектирование систем электроснабжения» состоит из трех книг: «Организация проектирования», «Проектирование электрических нагрузок систем электроснабжения» и «Принципы технологического проектирования». В первой книге подробно рассмотрена происшедшая диверсификация и новые требования к современному проектированию как к инвестиционному процессу. В то же время уделено достаточно внимания оставшимся неизменным принципам функционирования и развития систем электроснабжения.

## ■ СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

---

- АД – асинхронный двигатель  
АЧР – автоматическая частотная разгрузка  
АВР – автоматическое включение резерва  
ВЛ – воздушная линия  
ВГ – высшая гармоника  
ВЭР – вторичный энергетический ресурс  
ГПП – главная понизительная подстанция  
ДРИ – дуговая (лампа) ртутная с добавками йодидов металлов  
ДРА – дуговая (лампа) ртутная люминесцентная  
ЕСКД – Единая система конструкторской документации  
З – затраты  
КЭ – качество электроэнергии  
ИРМ – источник реактивной мощности  
ИЭО – изношенное электрооборудование  
КЗ – короткое замыкание  
КЛ – кабельная линия  
КРМ – компенсация реактивной мощности  
КТП – комплектная трансформаторная подстанция  
ЛПР – лицо, принимающее решение  
ЛЭП – линия электропередачи  
НАВД – натриевая лампа высокого давления  
ОС – основное средство  
ОЛМ – On-line Monitoring  
ПКЭ – показатель качества электроэнергии  
ППР – плановый предупредительный ремонт  
ПОФ – производственный основной фонд  
ПУЭ – Правила устройства электроустановок  
Р – результат  
РП – распределительная подстанция  
РПН – регулирование под нагрузкой  
РУ – распределительное устройство  
САПР – система автоматизированного проектирования  
Система БСНН – система безопасного сверхнизкого напряжения  
Система ЗСНН – заземленная цепь системы БСНН  
Система ФСНН – функциональная система безопасного сверхнизкого напряжения  
СМ – синхронная машина

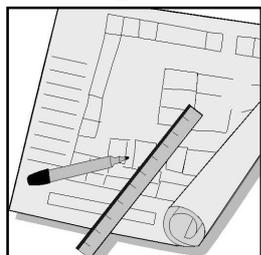
СНиП – строительные нормы и правила  
СРР – структура разбиения работ  
СЭО – состояние электрооборудования  
СТОИР – система технического обслуживания и ремонта  
СЭС – система электроснабжения  
ТО – техническое обслуживание  
ТОР – техническое обслуживание и ремонт  
ТЭО – технико-экономическое обоснование  
ТЭР – технико-экономический расчет  
ТЭС – тепловая электростанция  
ТП – трансформаторная подстанция  
УР – уровень  
ФКУ – фильтрокомпенсирующее устройство  
ФСУ – фильтросимметрирующее устройство  
ЧДД – чистый дисконтированный доход  
ЦТП – цеховая трансформаторная подстанция  
ЭГТ – электрогериатрия  
ЭМП – электромагнитная помеха  
ЭМС – электромагнитная совместимость  
ЭО – электрооборудование  
ЭП – электроприемник  
ЭС – экспертная система  
CAD – Computer Aided Design  
CALS – Computer-Aided Acquisition and Logistics Support  
CAM – Computer Aided Management  
CASE – Computer Aided Software/System Engineering  
DFD – Data Flow Diagrams  
IDEF – Integrated Definition Function Modeling  
ISO – Международная организация по стандартизации  
SA – Structured Analysis  
SADT – Structured Analysis Design Technique

# Глава 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

---

## 1.1. Стандартное проектирование. Основные определения

### Проектирование и проект



Разработка, создание и строительство, модернизация и реконструкция промышленных предприятий, начиная от отдельных элементов и заканчивая сложными системами, является объектом инвестиционной деятельности и производится на основе технических проектов. Рассмотрим основные термины, связанные с инвестиционной и проектной частью инженерной деятельности [7, 12, 26, 36, 41, 43–45].

**Инвестиции** – это денежные средства, целевые банковские вклады, паи, акции, ценные бумаги, кредиты, имущество или имущественные права, вкладываемые в объекты деятельности с целью получения прибыли (дохода) и достижения положительного экономического и социального эффекта.

**Субъектами инвестиционной деятельности** являются инвесторы, заказчики, исполнители работ, пользователи объектов инвестиционной деятельности, поставщики, а также другие участники инвестиционного процесса. Субъектами инвестиционной деятельности могут быть физические и юридические лица, в том числе иностранные, а также государства и межгосударственные организации.

**Инвестор** – основной субъект инвестиционной деятельности, который осуществляет вложение собственных, заемных или привлеченных средств в форме инвестиций и обеспечивает их целевое использование.

**Проект** (в общей трактовке) – задача с определенными исходными данными и требуемыми результатами и целями, обуславливающими способ ее решения, например строительство объекта, формирование портфеля инвестиций, программа научно-исследовательских работ, реконструкция предприятия, создание новой организации, разработка новой техники и технологии, развитие региона.

**Инвестиционный проект** представляет собой системно ограниченный и законченный комплекс мероприятий, документов и работ, финансовым результатом которого является прибыль (доход), а материально-вещественным результатом –

новые или реконструируемые основные фонды объектов, или приобретение и использование финансовых инструментов или нематериальных активов с последующим получением дохода.

Если в качестве результатов реализации проекта выступают некоторые физические объекты, здания, сооружения, производственные комплексы, то это называется **реальным проектом** – системой, сформулированной в рамках целей проекта, создаваемой или модернизируемой для реализации физических объектов, технологических процессов, технической и организационной документации для них, материальных, финансовых, трудовых и иных ресурсов, а также управленческих решений и мероприятий их выполнения.

В традиционном определении **технического проекта** подразумевается документально оформленный план сооружения или конструкции.

**Проектирование** – это сложный процесс создания описания нового или модернизируемого объекта на основе технического задания. Под описанием, например системы электроснабжения (СЭС) предприятия понимается описание заданных технических характеристик, включая взаимодействие между отдельными составными частями и элементами СЭС, а также взаимодействие СЭС проектируемого объекта с энергосистемой. **Проектирование СЭС** – это разработка технической документации, обеспечивающей создание и развитие СЭС, а также при необходимости – реконструкцию и перевооружение.

### **Проектный цикл**

Промежуток времени между моментом появления проекта и моментом его ликвидации называется **проектным циклом** или **жизненным циклом проекта**. Жизненный цикл проекта является исходным понятием для исследования проблем финансирования работ по проекту и принятия соответствующих решений.

Начало проекта связано с началом его реализации и началом вложения денежных средств в его выполнение.

Окончанием существования проекта может быть: ввод в действие объектов, начало их эксплуатации и использования результатов выполнения проекта; перевод персонала, выполнявшего проект, на другую работу; достижение проектом заданных результатов; прекращение финансирования проекта; начало работ по внесению в проект серьезных изменений, не предусмотренных первоначальным замыслом (модернизация); вывод объектов проекта из эксплуатации.

Обычно факт начала работ над проектом и факт его ликвидации оформляются официальными документами.

Проектирование – это комплекс работ, разделяющийся во времени на *стадии*. Каждая стадия делится на более мелкие *структурные единицы (фазы)*: этапы, проектные процедуры и проектные операции.

**Этап проектирования** включает в себя формирование всех описаний объекта, относящихся к одному или нескольким иерархическим уровням. Например, в проектировании СЭС выделяются этапы проектирования электроснабжения силового оборудования и электрического освещения.

**Проектная процедура** – часть этапа, выполнение которого заканчивается проектным решением. Каждая проектная процедура решает определенную задачу проектирования, например расчет электрических нагрузок, компенсация реактивной мощности или выбор установок для аварийного освещения.

**Проектная операция** – более мелкая составная часть, входящая в состав проектной процедуры, например расчет электрических нагрузок, присоединенных к электрическому щиту напряжением 0,38 кВ, или выполнение схемы электрических соединений распределительного пункта.

Универсального подхода к разделению процесса реализации проекта на фазы не существует. Решая для себя такую задачу, участники проекта должны руководствоваться своей ролью в проекте, своим опытом и конкретными условиями выполнения проекта. Поэтому на практике деление проекта на фазы может быть самым разнообразным для выявления некоторых важных контрольных точек – «вех», во время прохождения которых просматривается дополнительная информация и оцениваются возможные направления развития проекта.

*Стандартное проектирование* включает следующие стадии: 1) предынвестиционные (предпроектные) исследования; 2) техническое задание; 3) техническое предложение; 4) эскизный проект; 5) технический (рабочий) проект. За проектированием следуют стадии: 1) изготовления; 2) отладки и испытаний; 3) ввода в действие.

В крупных проектах количество фаз и этапов их реализации может быть увеличено. Выделение дополнительных этапов в крупных проектах связано не только с большой продолжительностью строительства этих объектов (10–15 лет), но и с необходимостью более тщательного согласования действий организаций-участников проекта.

Примерное содержание фаз жизненного цикла проекта.

*1. Начальная предынвестиционная фаза:*

а) предынвестиционные исследования: изучение прогнозов и направлений развития страны (региона, города); формирование инвестиционного замысла; подготовка ходатайства (декларации) о намерениях; предварительное согласование инвестиционного замысла; составление и регистрация **оферт** (*предложений о заключении договора*) от **оферентов** (*лиц, приславших или принявших предложение*); разработка обоснования инвестиций, оценка жизнеспособности проекта; выбор и предварительное согласование места размещения объекта; экологическое обоснование; экспертиза; предварительное инвестиционное решение; разработка предварительного плана-проекта;

б) разработка проектно-сметной документации, планирование проекта и подготовка к строительству: разработка плана проектно-изыскательских работ; задание на разработку проекта *технико-экономического обоснования* (ТЭО); согласование, экспертиза и утверждение проекта ТЭО строительства; выдача задания на проектирование; разработка, согласование и утверждение рабочей документации; принятие окончательного решения об инвестировании; отвод земли под строительство; разрешение на строительство; задание на разработку проекта производства работ; разработка плана-проекта.

*2. Инвестиционная (строительная) фаза:*

а) проведение торгов и заключение контрактов; организация закупок и поставок, подготовительные работы: тендеры на проектно-изыскательские работы и заключение контрактов; тендеры на поставку оборудования и заключение контрактов; тендеры на подрядные работы и заключение контрактов; тендеры на услуги консультантов и заключение контрактов; разработка планов (графиков) поставки ресурсов; подготовительные работы к строительству;

б) строительно-монтажные работы: разработка оперативного плана строительства; разработка графиков работы машин; выполнение строительно-монтажных работ; мониторинг и контроль; корректировка плана проекта оперативного плана строительства (управление изменениями); оплата выполненных работ и поставок;

в) завершение строительной фазы проекта: пусконаладочные работы; сдача-приемка объекта; закрытие контракта; демобилизация ресурсов; анализ результатов.

3. *Эксплуатационная фаза*: эксплуатация, ремонт; развитие производства; закрытие проекта (вывод из эксплуатации, демонтаж оборудования, модернизация – начало нового проекта).

Вся проектная деятельность осуществляется взаимозависимо во времени и пространстве. Однако обеспечить однозначное распределение фаз и этапов выполнения проекта в логической и временной последовательности крайне затруднительно. Связанные с этим проблемы решаются с помощью опыта, знаний и искусства специалистов, работающих над проектом. Таким образом, **проект** – это совокупность проектных документов в соответствии с установленным перечнем, в котором представлен результат проектирования по фазам жизненного цикла. В процесс проектирования вовлекаются различные участники.

#### **Участники проекта**

**Участники проекта** – основной элемент его структуры, так как именно они обеспечивают реализацию проектного замысла.

В зависимости от типа проекта в его реализации могут принимать участие от одной до нескольких десятков – сотен организаций. У каждой из них свои функции, степень участия в проекте и мера ответственности за выполнение. Все эти организации, в зависимости от выполняемых ими функций, принято объединять в конкретные группы (категории) участников проекта.

Главный участник – **заказчик** – будущий владелец и пользователь результатов проекта. В качестве заказчика может выступать как физическое, так и юридическое лицо. При этом заказчиком может быть как одна, так и несколько организаций, объединивших свои усилия, интересы и капиталы для реализации проекта и использования его результатов.

*Заказчиками-застройщиками* могут быть инвесторы, а также иные физические и юридические лица, уполномоченные инвесторами осуществлять реализацию инвестиционных проектов.

Важная роль принадлежит **инвестору** – стороне, вкладывающей средства в проект. В некоторых случаях это одно лицо с заказчиком. Если инвестор и заказчик – не одно и то же лицо, инвестор заключает договор с заказчиком, контролирует выполнение контрактов и осуществляет расчеты с другими участниками проекта.

*Инвесторами* в Российской Федерации могут быть: органы, уполномоченные управлять государственным и муниципальным имуществом; организации и предприятия, предпринимательские объединения, общественные организации и другие юриди-

ческие лица всех форм собственности; международные организации, иностранные юридические лица; физические лица – граждане Российской Федерации и иностранные граждане.

*Проектно-сметную документацию разрабатывают специализированные проектные организации, обобщенно называемые **проектировщиком**. При этом ответственной за выполнение всего комплекса этих работ обычно является одна организация, называемая **генеральным проектировщиком**.*

*Материально-техническое обеспечение проекта (закупки и поставки) обеспечивают организации-поставщики, которые объединены под названием **поставщик** или **генеральный поставщик**.*

**Подрядчик** (генеральный подрядчик, субподрядчик) – юридическое лицо, несущее ответственность за выполнение работ в соответствии с контрактом.

Особенности рыночной экономики и методы управления проектами дополнили состав участников **консультантами** – фирмами и специалистами, привлекаемыми на контрактных условиях для оказания консультационных услуг другим участникам проекта по всем вопросам его реализации.

Особое место в осуществлении проекта занимает **руководитель проекта** (в принятой на Западе терминологии **project manager** или **менеджер проекта**) – юридическое лицо, которому заказчик (инвестор или другой участник проекта) делегируют полномочия по руководству работами по проекту: планированию, контролю и координации работ участников проекта. Конкретный состав полномочий руководителя проекта (проект-менеджера, менеджера проекта) определяется контрактом с заказчиком. В настоящее время используются два последних термина, поскольку понятия «менеджмент» и «менеджер» являются международными. Кроме того, эти понятия используются не только в деловой лексике, но и как обозначение новых учебных специальностей.

Под руководством менеджера проекта работает **команда проекта** – специфическая организационная структура, возглавляемая руководителем проекта и создаваемая на период осуществления проекта с целью эффективного достижения его целей. Состав и функции команды проекта зависят от масштабов, сложности и других характеристик проекта.

В наукоемких проектах часто присутствует **лицензиар** – юридическое или физическое лицо – обладатель лицензий и «ноу-хау», используемых в проекте. Лицензиар предоставляет право

использования в проекте необходимых научно-технических достижений, обычно на коммерческих условиях.

Одним из основных инвесторов, обеспечивающих финансирование проекта, является **банк**, в обязанности которого входит непрерывное обеспечение проекта денежными средствами, а также кредитование генподрядчика для расчетов с субподрядчиками, если у заказчика нет необходимых средств.

### **Стадии проектирования**

В связи с тем, что на начальной предынвестиционной фазе определяется эффективность проекта, *предынвестиционным исследованиям* уделяют значительное внимание. Этот этап выполняется заказчиком (инвестором) и специальными группами.

После формирования определенного числа альтернативных идей проекта *специалист-аналитик* проекта должен выполнить предварительную экспертизу и исключить из дальнейшего рассмотрения заведомо неприемлемые.

*Цели и задачи проекта* должны быть четко сформулированы, так как только при этом условии может быть проработан следующий шаг – *формирование основных характеристик проекта*. К числу таких характеристик можно отнести: наличие альтернативных технических решений; спрос на продукцию проекта; продолжительность проекта, в том числе его инвестиционной фазы; оценку уровня базовых, текущих и прогнозных цен на продукцию или услуги по проекту; перспективы экспорта продукции проекта; сложность проекта; исходно-разрешительную документацию; инвестиционный климат в районе реализации проекта; соотношение затрат и результатов проекта.

Предварительный анализ осуществимости проекта производится, например, на основе экспертной оценки вариантов инвестиционных решений. Данная методика может применяться как для предварительного отбора наиболее перспективных вариантов осуществления проекта, так и для предварительного определения осуществимости проекта. Если проект достоин дальнейшего рассмотрения, определяют состав сведений, которые потребуются для его разработки, включая: детальный маркетинг; инженерно-геологические изыскания; оценку окружающей среды и местных источников сырья; социально-культурную характеристику населения.

В процессе формирования *инвестиционного замысла проекта* должны быть решены следующие вопросы: цель и объект инвестирования, место (район) размещения; продукция проекта

– характеристика и объем выпуска; срок окупаемости; доходность проекта; назначение, мощность и основные характеристики объекта инвестирования; предполагаемые источники в сфере финансирования.

Замысел инвестора реализуется в форме *декларации о намерениях*, а также задания (исходных данных) на разработку предпроектных обоснований инвестиций в строительство. Эти документы подготавливаются, помимо заказчика (инвестора), консультантами в области управления проектами, а также экспертами по специальным вопросам. Одновременно подготавливается ходатайство о предварительном согласовании места размещения объекта. Этап, помимо инвестора (заказчика), подготавливается по договору проектным институтом, заинтересованными юридическими и физическими лицами, которые определяются заказчиком, а также специалистами из консалтинговой (консультационной) фирмы.

После предварительного согласования ходатайства-декларации о намерениях заказчик (инвестор) принимает решение о разработке *обоснований инвестиций*. Документ разрабатывается с учетом обязательных требований государственных органов и заинтересованных организаций в объеме, достаточном для принятия заказчиком (инвестором) решения о целесообразности дальнейшего инвестирования и о разработке проектной документации, получения от соответствующего органа исполнительной власти предварительного согласования *места размещения объекта* (акта выбора участка). Обоснования подлежат *экспертизе* в установленном порядке.

*Предварительное инвестиционное решение* принимается на основании результатов предпроектных обоснований и предварительного согласования места размещения объекта. Исполнитель этапа – инвестор (заказчик).

*Предварительный план проекта* включает план проектно-изыскательских работ и предварительный план реализации проекта в целом, что дает возможность: оценить длительность, структуру и состав необходимых исполнителей; рассчитать предварительный план финансирования проекта и его предварительную смету. Этап выполняется инвестором (заказчиком) с привлечением необходимых экспертов – в том числе в области управления проектами.

Окончательным итогом предынвестиционных исследований является *задание на разработку ТЭО проекта строительства*. В ТЭО определяются основные решения – технологические, объ-

емно-планировочные, конструктивные, природоохранные; достоверно оценивается экологическая, санитарно-эпидемиологическая и эксплуатационная безопасность проекта, а также его экономическая эффективность и социальные последствия. Разработка ТЭО осуществляется юридическими и физическими лицами (проектировщиками), получившими в установленном порядке лицензию на выполнение соответствующих видов проектных работ на основании договора (контракта) с заказчиком.

Проектная документация разрабатывается преимущественно на конкурсной основе. Для выбора лучшего предложения со стороны проектировщиков заказчик проводит конкурс (тендер, торги) на проектную разработку. Подготовка тендерной документации осуществляется организацией, имеющей на это право (лицензию). Тендер на проектирование объекта может проводиться на часть проектной документации: ТЭО, эскизный проект, рабочую документацию, весь объем проектной документации. Для организации и проведения тендера на проектные работы создается временная комиссия – *тендерный комитет*. В состав тендерного комитета кроме представителя заказчика входят на договорных условиях эксперты по специальным вопросам. В обязанности тендерного комитета входит объявление тендера, организация подготовки и распространения среди участников тендера (соисполнителей) тендерной документации, организация и проведение тендера, рассмотрение предложений соискателей и их оценка. Выбранный разработчик проекта готовит техническое предложение.

*Техническое предложение* разрабатывается на основе технического задания разработчиком во взаимодействии с заказчиком и углубляет содержание некоторых разделов технического задания, включает новые разделы возможных вариантов, уточняет работы на следующих стадиях, создает задания и требования к их выполнению. Техническое предложение утверждается заказчиком для того, чтобы остальные стадии проектирования выполнялись исполнителями самостоятельно без заказчика.

Техническое предложение разрабатывается с целью выявления дополнительных или уточненных требований к объекту (технических характеристик, показателей качества и др.), которые не могли быть указаны в техническом задании, и это целесообразно сделать на основе предварительной конструкторской проработки и анализа различных вариантов объекта.

При разработке технического предложения, в частности, проводятся следующие работы:

а) выявление вариантов возможных решений, установление особенностей вариантов (принципов действия, размещения функциональных составных частей), их конструкторскую проработку. Глубина такой проработки должна быть достаточной для сравнительной оценки рассматриваемых вариантов;

б) проверка соответствия вариантов требованиям техники безопасности, надежности, экологичности, *электромагнитной совместимости* (ЭМС) и др.;

в) сравнительная оценка рассматриваемых вариантов проводится по показателям качества объекта, например, надежности, экономическим, эстетическим, эргономическим. Сопоставление вариантов может проводиться также по показателям технологичности (ориентировочной удельной трудоемкости изготовления, ориентировочной удельной материалоемкости и др.), стандартизации и унификации. При этом следует учитывать конструктивные и эксплуатационные особенности разрабатываемого и существующих объектов, тенденции и перспективы развития отечественной и зарубежной техники в данной области, вопросы метрологического обеспечения разрабатываемого изделия (возможности выбора методов и средств измерения);

г) выбор оптимального варианта (вариантов) объекта, обоснование выбора; установление требований к объекту (технических характеристик, показателей качества и др.) и к последующей стадии разработки объекта (необходимые работы, варианты возможных решений, которые следует рассмотреть на последующей стадии и др.).

За техническим предложением следует эскизное проектирование.

*Эскизное проектирование* вырабатывает концепцию проектирования и начинает детальную проработку объекта. Выбирается окончательный проектный вариант и уточняются его технико-экономические показатели, порядок дальнейшей разработки и сроки для исполнителей. Составляются задания на разработку и изготовление отдельных элементов.

Эскизный проект разрабатывают с целью установления принципиальных решений, дающих общее представление о принципе работы объекта, когда это целесообразно сделать до разработки технического проекта или рабочей документации. На стадии эскизного проекта не повторяют работы, приведен-

ные на стадии технического предложения, если они не могут дать дополнительных данных.

При разработке эскизного проекта проводятся, в частности, следующие работы:

а) выполнение вариантов возможных решений, установление особенностей вариантов (характеристики вариантов составных частей и т. п.) и их конструкторская проработка. Глубина такой проработки должна быть достаточной для сопоставления рассматриваемых вариантов;

б) разработка и обоснование технических решений, направленных на обеспечение показателей надежности, установленных техническим заданием и техническим предложением;

в) оценка объекта на технологичность и правильность выбора средств и методов контроля, испытаний, анализа, измерений;

г) оценка объекта по показателям стандартизации и унификации;

д) проверка соответствия вариантов требованиям техники безопасности, надежности, экологичности, производственной санитарии, ЭМС и др.;

е) сравнительная оценка рассматриваемых вариантов, вопросы метрологического обеспечения разрабатываемого объекта, возможности выбора методов и средств измерения. Сравнение проводят по показателям качества объекта: назначения, надежности, технологичности, стандартизации и унификации, экономическим, эстетическим, эргономическим. При этом следует учитывать конструктивные и эксплуатационные особенности разрабатываемого и существующих объектов, тенденции и перспективы развития отечественной и зарубежной техники в данной области;

ж) выбор оптимального варианта (вариантов) объекта и обоснование выбора; принятие принципиальных решений; подтверждение или уточнение предъявляемых к объекту требований (технических характеристик, показателей качества и др.), установленных техническим заданием и техническим предложением, и определение технико-экономических характеристик и показателей, не установленных техническим заданием и техническим предложением;

з) составление перечня работ, которые следует провести на последующей стадии разработки, в дополнение или уточнение работ, предусмотренных техническим заданием и техническим предложением;

*Техническое (рабочее) проектирование* продолжает и завершает детальную проработку, уточняются технико-экономические показатели проекта. Оформляются пояснительная записка, конструкторские чертежи, принципиальные и монтажные схемы, таблицы, спецификации и др. Технический проект утверждает заказчик.

Технический проект разрабатывают с целью выявления окончательных технических решений, дающих полное представление об объекте, когда это целесообразно сделать до разработки рабочей документации. При необходимости технический проект может предусматривать разработку вариантов отдельных составных частей объекта.

При разработке технического проекта могут быть использованы отдельные документы, разработанные на предыдущих стадиях.

При разработке технического проекта, в частности, проводятся следующие работы:

а) разработка конструктивных решений объекта и его основных составных частей;

б) выполнение необходимых расчетов, в том числе подтверждающих технико-экономические показатели, установленные техническим заданием;

в) выполнение необходимых принципиальных схем, схем соединений и др.;

г) разработка и обоснование технических решений, обеспечивающих показатели надежности, установленные техническим заданием и предшествующими стадиями разработки;

д) анализ конструкции объекта на технологичность с учетом отзывов предприятий-изготовителей производства в части обеспечений технологичности в условиях данного конкретного производства, в том числе по использованию имеющегося на предприятии оборудования, а также учета в данном проекте требований нормативно-технической документации, действующей на предприятии-изготовителе; выявление необходимого для производства изделий нового оборудования (обоснование разработки или приобретения); разработка метрологического обеспечения (выбор методов и средств измерения);

е) разработка, изготовление и испытание макетов;

ж) оценка объекта в отношении его соответствия требованиям экономики, технической эстетики;

з) оценка возможности монтажа объекта на месте его применения;

и) оценка эксплуатационных данных объекта (взаимозаменяемости, удобства обслуживания, ремонтпригодности, устойчивости против воздействия внешней среды, возможности быстрого устранения отказов, контроля качества работы изделия, обеспеченность средствами контроля технического состояния и др.);

к) окончательное оформление заявок на разработку и изготовление новых изделий (в том числе средств измерения) и материалов, применяемых в разрабатываемом объекте;

л) проведение мероприятий по обеспечению заданного в техническом задании уровня стандартизации и унификации объекта;

м) проверка объекта на патентную чистоту и конкурентоспособность, оформление заявок на изобретения;

о) согласование габаритных, установочных и присоединительных размеров с заказчиком или основным потребителем;

п) оценка технического уровня и качества объекта;

р) разработка чертежей сборочных единиц и деталей, если это вызывается необходимостью ускорения выдачи задания на разработку специализированного оборудования для их изготовления;

с) проверка соответствия применяемых решений требованиям техники безопасности, надежности, экологичности, электромагнитной совместимости и др.;

т) составление перечня работ, которые следует провести на стадии разработки рабочей документации, в дополнение и (или) уточнение работ, предусмотренных техническим заданием, техническим предложением и эскизным проектом.

Рабочая документация для строительства предприятий, зданий и сооружений разрабатывается в соответствии с государственными стандартами системы проектной документации для строительства и уточняется заказчиком и проектировщиком в договоре (контракте) на проектирование.

Проекты, независимо от источников финансирования, форм собственности и принадлежности, подлежат государственной экспертизе.

### **Завершение проекта и пусконаладочные работы**

В завершение строительной фазы проекта осуществляются пусконаладочные работы и сдача-приемка объекта.

К *пусконаладочным работам* относится комплекс мероприятий и работ, выполняемых в период подготовки и проведения индивидуальных испытаний и комплексного опробования

оборудования. При этом под **оборудованием** подразумевается вся технологическая система объекта, т.е. комплекс всех видов оборудования, трубопроводов, сооружений и устройств, обеспечивающих выпуск первой партии продукции или обеспечения услуг, предусмотренных проектом. Период индивидуальных испытаний включает проведение монтажных и пусконаладочных работ с целью подготовки отдельных машин, устройств, агрегатов и сооружений к их приемке рабочей комиссией для комплексного опробования. До начала индивидуальных испытаний осуществляются пуско-наладочные работы по электротехническим устройствам, автоматизированным системам управления, санитарно-техническому и силовому оборудованию.

Приемку законченных строительством объектов от исполнителя работ (генерального подрядчика) может производить как заказчик, так и любое другое уполномоченное инвестором лицо. Заказчик вправе привлекать к приемке пользователя объекта (эксплуатирующую организацию), авторов проекта, специализированные фирмы, страховые общества и других юридических и физических лиц, создавая в необходимых случаях приемочные (рабочие) комиссии. Приемка объектов производственного назначения, строительство которых производилось за счет средств федерального бюджета или льготного кредитования, осуществляется с учетом отраслевых особенностей, устанавливаемых министерствами Российской Федерации и другими органами центральной исполнительной власти по согласованию с Минстроем России, включая приемку объектов в эксплуатацию государственными приемочными комиссиями. Объекты подобного рода подлежат приемке только в том случае, когда они подготовлены к эксплуатации: укомплектованы эксплуатационными кадрами, обеспечены энергоресурсами, сырьем и др.; на них устранены недоделки и начат выпуск продукции или оказание услуг в объеме, предусмотренном договором подряда. Объекты могут быть приняты в целом «под ключ», или по мере завершения отдельных очередей, пусковых комплексов, зданий и сооружений в объеме, предусмотренном в договоре подряда на строительство.

Вся документация, прилагаемая к акту приемки законченного строительством объекта, после окончания работы приемочной комиссии должна быть передана заказчику (исполнителю).

Заказчик, исполнитель работ, проектная организация и другие участники инвестиционного процесса в установленном порядке несут ответственность за нарушение требований законодательства, техники безопасности, строительных, санитарных и

других норм, а также за ущерб, который может нанести объект правам и интересам граждан, юридических лиц и государства.

### **Качество проекта**

**Качество** (*неотъемлемый элемент проекта в целом, а не некая самостоятельная функция управления*) – это то, что требует потребитель, а не изготовитель.

Современная концепция управления качеством опирается на следующие положения:

- ответственность за качество должна быть адресной;
- для реального повышения качества нужны новые технологии;
- повысить качество можно только усилиями всех работников проекта (предприятия);
- контролировать процесс всегда эффективнее, чем результат (продукцию);
- политика в области качества должна быть частью общей политики проекта (предприятия).

На этих принципах основана *комплексная система управления качеством*, которая за рубежом называется Total Quality Management. Комплексная система управления качеством предназначена для обеспечения соответствия качества продукции проекта требованиям *строительных норм и правил* (СНиП), технических условий потребителей и действует на всех фазах проектного цикла. В управлении качеством проекта участвуют все организации, службы и подразделения, входящие в состав участников проекта. Управление качеством проекта имеет следующие функции:

- планирование качества продукции проекта и его отдельных элементов;
- создание команды проекта, включая подготовку кадров и организацию трудовой деятельности;
- подготовка строительства и обеспечение необходимой для заданного уровня качества квалификации подрядных организаций;
- разработка системы материально-технического обеспечения;
- контроль и текущую оценку достигнутого уровня качества, включая входной, операционный и приемочный контроль технологических процессов и производственных операций, а также проведение инспекционного контроля;

- информационное обеспечение, включая систему сбора, обработки и передачи информации между уровнями управления проектом;

- метрологическое и геодезическое обеспечение технологических процессов;

- правовое обеспечение управления качеством проекта.

Выбор норм и стандартов является основополагающим этапом организации системы управления качеством любого проекта. Это связано с тем, что выбор системы производственного контроля и обеспечения качества (а следовательно, и затрат на ее осуществление) непосредственно зависит от так называемого бенчмарка – «эталона сравнения», роль которого выполняют нормы и стандарты. Подобный выбор осуществляется итеративно, по мере продвижения проекта от идеи к рабочей документации. Это вызвано объективной необходимостью уточнения «образа» проекта в процессе подготовки к началу его инвестиционной фазы. При этом необходимо последовательно решить четыре задачи:

- 1) установить оптимальный, с точки зрения заказчика, уровень критериальных требований к потребительским свойствам продукции проекта;

- 2) выбрать конкретный набор норм и стандартов, отвечающих выявленным требованиям к качеству;

- 3) выбрать оптимальную по затратам технологию обеспечения качественных параметров проекта;

- 4) решить, какую систему контроля качества следует использовать на всех фазах и структурных уровнях управления проектом.

Все работы по обеспечению качества основаны на использовании серии стандартов ISO 9000 – стандартов *Международной организации по стандартизации (ISO)*.

Новая Российская система строительных норм «Система нормативных документов в строительстве. Основные положения» (СНиП 10.01–93) содержит:

- федеральные нормативные документы (строительные нормы и правила, рекомендательные нормативные документы, а также государственные стандарты Российской Федерации);

- административно-территориальные нормативные документы (территориальные строительные нормы);

- производственно-отраслевые нормативные документы (строительно-технологические нормы и нормативные документы)

по стандартизации, стандарты предприятий, объединений и научно-технических обществ и технические условия).

Отличительной чертой вновь разрабатываемых нормативных документов является переход к новым методическим принципам, которые находят все большее распространение в практике строительного нормирования и стандартизации технически развитых зарубежных стран. В отличие от традиционно сложившегося так называемого «описательного» или «предписывающего» подхода, когда в нормативных документах приводится подробное описание конструкции, методов расчета, применяемых материалов и др., вновь создаваемые строительные нормы и стандарты должны содержать, в первую очередь, эксплуатационные характеристики изделий, основанные на требованиях потребителя, т.е. цели, которые должны быть достигнуты, но не методы их достижения.

Предполагается, что нормативные документы будут постепенно изменяться; так, в них не будет предписываться, как проектировать и строить, а будут лишь устанавливаться требования, которые должны быть удовлетворены. Обязательными должны быть только требования по обеспечению безопасности жизни и здоровья граждан, охраны окружающей природной среды, надежности и долговечности возводимых зданий и сооружений, совместимости и взаимозаменяемости продукции и применяемых в строительстве технических решений.

### ***Вопросы для самостоятельной подготовки***

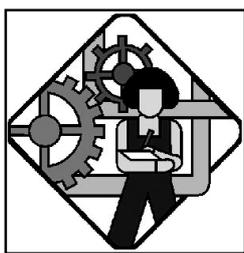
---

1. Что является объектом инвестиционной деятельности и осуществляется на основе технических проектов?
2. Что относится к инвестициям?
3. Что является субъектом инвестиционной деятельности?
4. Что представляет собой инвестиционный, реальный и технический проект?
5. Что является проектированием и что такое проектирование СЭС?
6. Что называется проектным циклом?
7. Как проектирование разделяется во времени?
8. Что включает этап проектирования, проектная процедура, операция?
9. Какие стадии включает стандартное проектирование?
10. Что включает начальная прединвестиционная фаза?

11. Что входит в инвестиционную (строительную) фазу?
12. В чем особенности эксплуатационной фазы проекта?
13. Кто входит в состав участников проекта?
14. Каковы особенности стадий проектирования?
15. В чем особенность технико-экономического обоснования проекта?
16. Как осуществляется конкурс проектов?
17. Каковы основные особенности разработки технического предложения?
18. Как разрабатывается эскизный проект?
19. Как осуществляется техническое проектирование?
20. Как осуществляется завершение проекта и выполняются пусконаладочные работы?
21. Какие принципы входят в концепцию управления качеством?
22. Какие функции имеет управление качеством проекта?
22. Какие задачи решаются при уточнении «образа» проекта?
23. На каких нормативных документах основано обеспечение качества проекта?
24. Какие требования предъявляются к разработке новых нормативных документов по обеспечению качества проекта?

## **1.2. Основы управления инвестиционными проектами**

### **Сущность управления инвестиционными проектами**



Важной областью в организации проектно-изыскательских работ является управление динамикой проектных работ и документов, требующих многочисленных пересмотров и уточнений в течение жизненного цикла проекта [1, 5, 7, 8, 22, 41, 44].

**Управление инвестиционными проектами** – это деятельность по планированию, организации, координации, мотивации и контролю на протяжении жизненного цикла проекта путем применения системы современных методов и техники управления, которая имеет целью обеспечение наиболее эффективной реализации определенных в инвестиционном проекте результатов по составу и объему работ, стоимости, качеству и удовлетворению участников инвестиционного проекта.

Планирование проектных работ обеспечивает руководству и участникам проекта понимание поставленных целей проекта и работ, которые должны быть выполнены. Это является основой для *управления проектами* – получения и назначения необходимых ресурсов, распределения работ между участниками проекта и для организации выполняемых работ. **Управление проектами** – искусство руководства и координации людских и материальных ресурсов на протяжении жизненного цикла проекта путем применения системы современных методов и техники управления для достижения определенных в проекте результатов по составу и объему работ, стоимости, времени, качеству и удовлетворению участников проекта. Управление проектами позволяет: определить цели проекта и провести его обоснование; выявить структуру проекта и подцели, основные этапы работы, которые предстоит выполнить; определить необходимые объемы и источники финансирования; подобрать исполнителей – в частности, через процедуры торгов и конкурсов; подготовить и заключить контракты; определить сроки выполнения проекта, составить график его реализации, рассчитать необходимые ресурсы; рассчитать смету и бюджет проекта; планировать и учитывать риски; обеспечить контроль над ходом выполнения проекта.

*Цели организации эффективного управления проектом включают:*

- *обеспечение взаимодействия*, для которого необходимо: установить взаимодействие между менеджером проекта и функциональным руководством; обеспечить правила формального взаимодействия между участниками проекта. Линейные менеджеры должны обеспечивать проект ресурсами в соответствии с его жизненным циклом таким образом, чтобы менеджер проекта мог быть уверенным в доступности необходимых ресурсов; ответственность ключевых исполнителей за выполнение задач проекта должна быть согласована на основе матрицы ответственности; для обеспечения эффективного взаимодействия должно быть четко определено: кто должен принимать то или иное решение; кто выполняет ту или иную работу; кто несет ответственность за те или иные управленческие функции; кто получает ту или иную информацию;

- *разделение ролей и ответственности*. В рамках проекта взаимодействуют различные организации и отдельные исполнители: внутренние и внешние пользователи результатов проекта; внутренние и внешние поставщики ресурсов; внутренние функ-

циональные отделы, например планово-экономический, бухгалтерия и т.д.;

- *обеспечение гибкости использования ресурсов.* Проекты выполняются нередко постоянной командой исполнителей, которая работает в рамках проекта от начала и до конца. В таком случае менеджер проекта ограничен в возможности регулировать количество ресурсов в зависимости от стадии жизненного цикла и объема работ, не может привлечь наиболее квалифицированных специалистов для специфических видов работ, поэтому организация проекта должна позволять привлекать различные ресурсы на разных стадиях проекта в соответствии со следующими тремя принципами: обеспечивать наиболее квалифицированных для данного вида работ специалистов; привлекать исполнителей в команду проекта только на период, когда их квалификация необходима; обеспечивать точное описание задания для привлекаемых специалистов.

**Окружение проекта.** Проект имеет ряд свойств, которые необходимо учитывать, так как это помогает методически правильно организовать работу по его реализации:

- *проект возникает, существует и развивается в определенном окружении, называемом **внешней средой**;*

- состав проекта не остается неизменным в процессе его реализации и развития, в нем могут появляться новые объекты и из его состава могут удаляться некоторые элементы;

- проект, как и всякая система, может быть разделен на элементы, при этом между выделяемыми элементами должны определяться и поддерживаться определенные связи.

Разделение всей сферы деятельности, в которой появляется и развивается проект, на собственно «проект» и «внешнюю среду» в определенной степени условно. Причины этого заключаются в следующем. Проект не является жестким стабильным образованием: его элементы в процессе реализации могут менять свое местоположение, переходя в состав проекта из внешней среды и обратно, могут использоваться как в его составе, так и вне его, например специалисты, одновременно работающие как над реализацией конкретного проекта, так и над решением некоторых других проблем или над выполнением какого-то другого проекта.

В практике планирования обычно подлежат изучению три аспекта окружения проекта: «политический» – отношение федеральных и местных властей к проекту; территориальный, включающий изучение конкурентных предложений на рынке анало-

гичной продукции; экологический, связанный с необходимостью обеспечения экологической безопасности проекта.

### **Структуризация проекта**

Структуризация сводится к разбивке проекта на иерархические подсистемы и компоненты, чтобы проектом можно было эффективно управлять.

В терминах управления проектами их **структура** представляет собой «дерево» ориентированных на продукт компонентов, представленных оборудованием, работами, услугами и информацией, полученными в результате реализации проекта.

**Структура проекта** – это организация связей и отношений между ее элементами. Инвестиционные проекты, как правило, имеют иерархическую, переменную структуру, которая формируется применительно к конкретным условиям функционирования. Структура проекта призвана определить продукцию, которую необходимо разработать или произвести и связывает элементы работы, которые предстоит выполнить, – как между собой, так и с конечной целью проекта. Кроме того, процесс структуризации проекта является неотъемлемой частью общего процесса планирования проекта и определения его целей, а также подготовки сводного (генерального) плана проекта и матрицы распределения ответственности и обязанностей.

К основным задачам структуризации проекта обычно относят: разбивку проекта на поддающиеся управлению блоки; распределение ответственности за различные элементы проекта и увязку работ со структурой организации (ресурсами); точную оценку необходимых затрат – средств, времени и материальных ресурсов; создание единой базы для планирования, составление смет и контроля над затратами; увязку работ по проекту с системой ведения бухгалтерских счетов в компании; переход от общих, не всегда конкретно выражаемых, целей к определенным знаниям, выполняемым подразделениями компании; определение комплексов работ и подрядов.

Процесс структуризации проекта может быть представлен в виде следующей последовательности действий:

1. *Определение проекта* – должны быть определены характер, цели и содержание проекта, а также все конечные продукты проекта с их точными характеристиками. В данной ситуации полезно использовать иерархию целей, показывающую полную цепь конечных результатов и/или средств их достижения.

2. *Уровень детализации* – необходимо обдумать различные уровни детализации планов и количество уровней элементов в структуре разбивки проекта.

3. *Структура процесса* – должна быть подготовлена схема жизненного цикла проекта.

4. *Организационная структура* – организационная схема проекта должна охватывать все группы или отдельных лиц, которые будут работать на проект, включая заинтересованных в проекте из его внешнего окружения.

5. *Структура продукта* – это схема разбивки по подсистемам или компонентам, включая машины и оборудование, программное и информационное обеспечение, услуги, а также, если это важно, территориальное распределение.

### **Система отчетности и контроля**

На основе проделанных шагов строится так называемая матрица распределения ответственности, которая «приписывает» каждому пакету работ конкретных исполнителей.

Для структуризации проекта используют ряд специальных моделей: дерево целей; дерево решений; дерево работ; структурную схему организации; матрицу ответственности; сетевую модель; структуру потребляемых ресурсов; структуру затрат.

При этом методы структуризации проекта принципиально сводятся к двум:

- *нисходящая структуризация* – определяются общие задачи, на основе которых далее осуществляется детализация уровней проекта;

- *восходящая структуризация* – определяются частные задачи, а затем происходит их обобщение.

Рассмотрим более подробное описание специальных моделей.

**Дерево целей** – это графы и схемы, показывающие, как генеральная цель проекта разбивается на подцели следующего уровня (**дерево** – это связанный граф, выражающий соподчинение и взаимосвязи элементов; в данном случае такими элементами являются цели и подцели). Представление целей начинается с верхнего уровня, дальше они последовательно разукрупняются. При этом основным правилом разукрупнения целей является полнота: каждая цель верхнего уровня должна быть представлена в виде подцелей следующего уровня исчерпывающим образом.

**Дерево решений** – графы и схемы, отражающие структуру задачи оптимизации многошагового процесса. Ветви дерева

отображают различные события, которые могут иметь место, а узлы (вершины) – точки, в которых возникает необходимость выбора. Причем узлы различны – в одних выбор осуществляет сам менеджер проекта из некоторого набора альтернатив, в других выбор от него не зависит. В таких случаях менеджер проекта может осуществлять оценку вероятности того или иного ее «решения».

**Дерево работ.** На каждой стадии планирования необходимо разделить работы по проекту на части. Например, на стадии технического проектирования основные части проекта, как правило, очевидны. В дальнейшем, когда станет известно больше деталей, эти части могут быть расчленены на соответствующие разделы. Наконец, могут быть определены подразделы и отдельные группы – пакеты работ. Эта *процедура* называется **структурой разбиения работ** (СРР). Такое дерево является средством расчленения большого, сложного проекта на его компоненты или на составляющие проекта. По мере получения дополнительной информации на последующих стадиях проектирования разработчик может добавить новые уровни к дереву работ проекта. *Нижний уровень дерева соответствует пакетам работ, которые являются также самостоятельной финансовой единицей.* Пакет должен иметь отдельную смету, бюджет и отчет о расходах. Выделение пакетов работ представляет большое удобство при разработке сетевого графика проекта. Гораздо легче планировать отдельные пакеты и затем собирать сетевой график проекта из фрагментов, чем разрабатывать сетевой график в целом без дерева работ проекта. Кроме того, СРР служит и другой важной цели – разработке структурной схемы для административного управления проектом. Таким образом, разделение проекта на пакеты работ удовлетворяет двум задачам: планирования и оперативного управления. Поэтому одновременно с СРР необходимо развивать организационно-административное дерево и увязывать его структурные единицы с пакетами работ.

**Структурная схема организации.** Для обеспечения эффективного управления проектом при разработке плана необходимо: учесть в плане все разделы, этапы и работы проекта; учесть в плане все организации, участвующие в проекте; обеспечить действенность управления путем распределения ответственности. Первое требование может быть удовлетворено разбивкой проекта на пакеты работ с помощью СРР. Для выполнения последних двух требований разработчик должен указать, ка-

кая организация ответственна за каждый пакет или уровень дерева работ. Другими словами, разработчик должен четко определить уровни и объемы ответственности в организационной структуре. В этой схеме менеджер проекта находится на ее верхнем уровне, а на более низких уровнях последовательно располагаются отделы, требуемые для функционального управления работами. Эти уровни иногда соответствуют уровням СРР. Например, электротехнический отдел будет ответственным за пакет работ «Линии электропередачи».

**Матрица ответственности** – связывает пакеты работ с организациями-исполнителями на основе структуры разбиения работ и структурной схемы организации. В матрице определяются основные исполнители по пакетам работ.

**Сетевые модели.** По мере продвижения работы над проектом создаются деревья СРР и структурной схемы организации, то есть выделяются пакеты работ с назначенными для них исполнителями, что дает возможность подготавливать сетевой график узловых событий. Наконец, становится возможным разработать детальные сетевые графики, соответствующие узловым событиям и целям. *Поскольку эти сетевые графики представляют не проект в целом, а его отдельные пакеты работ, они называются **сетевыми блоками** или **подсетями**.* Если работа по нескольким взаимозависимым пакетам осуществляется одновременно, причем для каждого из них требуется разработать отдельное расписание, то каждый пакет представляется отдельной подсетью. Подсеть может составлять часть сетевого графика либо быть автономной. Расчленение сетевого графика на подсети позволяет персоналу, ответственному за проект, концентрироваться на своих собственных работах. Каждый руководитель на своем уровне может вести работу независимо от других в соответствии со своей подсетью, что освобождает его от необходимости иметь дело с полным сетевым графиком. Для руководства разделение проекта на подсети обеспечивает возможность эффективного контроля и управления наиболее важными подсетями.

**Структура потребляемых ресурсов.** Для анализа средств, которые необходимы для достижения целей и подцелей проекта, осуществляется структуризация ресурсов различных типов. Иерархически построенный граф фиксирует необходимые на каждом уровне ресурсы для реализации проекта.

**Структура затрат.** Методика структуризации затрат аналогична используемой в процессе разработки структуры потребляемых ресурсов.

### **Администрирование проекта**

Широко используемый на Западе институт *администраторов проекта* предполагает, что администратор проекта снимает с менеджеров проекта административную тяжесть (но не ответственность), связанную с использованием на практике системы управления проектами. Подсчитано, что плановая и отчетно-учетная службы, находящиеся в ведении администратора проекта, дают возможность менеджеру проекта дополнительно уделять от 20 до 50% времени его непосредственной деятельности по управлению проектами. Квалифицированный администратор в состоянии оказать поддержку (в плановых и учетных делах) нескольким десяткам участников проекта, которые могут работать на одном или различных проектах. При этом администратор проекта использует современные средства и приемы управления проектами для предоставления руководителям проектов административных услуг в области планирования, составления графиков, отслеживания хода исполнения и отчетности; обеспечивает взаимопомощь и наилучшее использование ресурсов проекта; обеспечивает менеджеров проектов и компаний, выполняющих проект, компактной информацией, допускающей возможность контроля над проектами, ресурсами и приоритетами.

Для того чтобы решать эти задачи, администратор должен уметь: выявлять проекты, нуждающиеся в администрировании; проводить структурно подготовленные интервью с менеджерами и участниками проектов; готовить сбалансированные по ресурсам планы, отвечающие целям руководства; разрабатывать процесс сбора информации о ходе работ по проекту; составлять отчеты о состоянии проекта, которые дают возможность руководителям проекта, его участникам и руководителям компаний придерживаться намеченных графиков.

Администратор проекта, в силу специфики своей деятельности, равноправен с менеджерами проектов, но неподотчетен им. По этой же причине он должен поддерживать рабочие отношения с менеджерами и участниками проекта всех уровней. Показателем успешности администрирования является удовлетворенность руководителей компаний состоянием (степенью детализации, частотой) отчетности.

Несмотря на очевидные преимущества административного руководства проектами, возникает ряд опасностей, которых сле-

дует избегать: слишком много времени уходит на оценку и решения; осуществляется нисходящее планирование; план прорабатывается недостаточно детально, поскольку менеджер проекта знает лучше все «болевы́е точки» проекта.

### **Функции менеджера проекта**

На всех этапах разработки проектной документации руководящая роль принадлежит менеджеру проекта, который в ходе проектирования выполняет следующие функции: контроль соответствия объема и сроков выполненных работ необходимому минимуму, предусмотренному контрактом; подбор и привлечение к проекту ведущих специалистов по инженерным дисциплинам, координация их деятельности; определение рациональных сроков начала работ, с тем, чтобы избежать преждевременного их выполнения; корректировку численности занятых работников; контроль над внесением изменений в проект; контроль над факторами, условиями и документами, которые могут увеличить стоимость работ; проверку соблюдения последовательности и приоритетов, выбранных в процессе планирования работ; обеспечение предпочтительного выбора стандартных материалов и оборудования в максимально возможном числе ситуаций, обеспечение минимальной номенклатуры применяемых изделий; подготовку и реализацию соглашения с лицензиаром; подготовку и контроль по соблюдению плана проектных работ, увязанного с общим планом проекта; разработку, совместно с заказчиком, задания на проектирование.

В зависимости от масштаба и сложности проекта функции менеджера на этапе проектирования могут быть возложены как на менеджера всего проекта, так и на специально назначенного проект-менеджера, работающего в команде под руководством главного менеджера.

Различают следующие варианты схем управления проектами:

**«Основная» система.** Менеджер проекта – представитель, «агент» заказчика – финансовой ответственности за принимаемые решения не несет. Им может быть любая фирма-участник проекта. В этом случае менеджер проекта отвечает за координацию и управление ходом разработки и реализации проекта, в контрактных отношениях с другими участниками проекта (кроме заказчика) не состоит. Объективность менеджера является его преимуществом, а риск за выполнение проекта, лежащий на заказчике, является недостатком.

**Система «расширенного управления».** Менеджер проекта принимает ответственность за проект в пределах фиксированной сметной цены. Менеджер обеспечивает управление и координацию процессов проекта по соглашениям между ним и участниками проекта также в пределах фиксированной цены. Им может быть подрядная, консалтинговая или инжиниринговая фирма. Консалтинговая фирма управляет проектом, координирует поставки и работы по инжинирингу. Риск возлагается на подрядчика.

**Система «под ключ».** Менеджер проекта – проектно-строительная фирма, с которой заказчик заключает контракт «под ключ» с объявленной стоимостью проекта.

Организационные формы проектных фирм весьма разнообразны и могут быть сведены к следующим типам:

– проектно-строительные фирмы, осуществляющие весь комплекс работ по проектированию, комплектации, строительству и вводу объектов в эксплуатацию;

• проектные институты, осуществляющие весь комплекс работ по проектированию объектов, включая все виды инженерных и архитектурных задач, а нередко и задачи по планировке районов застройки. Обычно такие институты специализируются по отраслевому признаку;

• проектные институты, специализированные по технологическому (функциональному) признаку;

• вычислительные центры (фирмы), специализирующиеся на подготовке проектной документации на машинных носителях – смет, чертежей, календарных планов;

• консультационные (консалтинговые) фирмы, оказывающие весьма широкий спектр услуг – экономические обоснования, расчеты стоимости проектов, информация, консультации по специальным вопросам.

Функциональные обязанности проектных фирм можно разделить на 2 части:

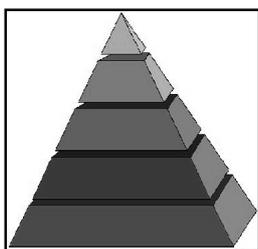
1) *типовые*, к которым относятся: эскизное проектирование, рабочее проектирование, разработка смет, авторский надзор;

2) *дополнительные*, включающие: подготовку к торгам и помощь в их проведении, проектный анализ, разработку обоснований инвестиций и ТЭО, участие в управлении проектом, подготовку финансирования.

## **Вопросы для самостоятельной подготовки**

1. Какая деятельность относится к управлению инвестиционными проектами?
2. В чем состоит особенность планирования проектных работ?
3. На что направлено управление инвестиционными проектами?
4. Каковы цели и особенности организации управления проектом?
5. Какие свойства проекта необходимо учитывать для организации работы по его реализации?
6. Что относится к внешней среде проекта?
7. Как осуществляется структуризация проекта?
8. Что относится к основным задачам структуризации проекта?
9. Какова последовательность действий при структуризации проекта?
10. Каково назначение матрицы распределения ответственности?
11. Какие модели используются при структуризации проекта?
12. Какие методы осуществляют структуризацию проекта?
13. В чем особенности дерева целей, дерева решений и дерева работ?
14. Какая процедура называется структурой разбиения работ?
15. Что включает пакет работ и каковы его цели?
16. В чем особенности сетевых моделей и какова их структура?
17. Как осуществляется администрирование проекта?
18. Каковы основные функции менеджера проекта?
19. Каковы варианты схем управления проектами?
20. Каковы функциональные обязанности проектных фирм?

### **1.3. Основные принципы проектирования систем электроснабжения**



В основе проектирования систем электроснабжения лежит блочно-иерархический подход [1, 2, 6, 16, 22, 38–40] – СЭС разделяется на иерархические уровни (рис. 1.1). На высшем уровне (электрическая система или

энергосистема) используется представление с наименьшей степенью детализации, отражающее только общие черты и особенности проектируемой СЭС (электропотребление, присоединенная мощность, уровни напряжения и категории надежности). На следующих уровнях степень детальной проработки возрастает. При этом СЭС рассматривается отдельными блоками (источники питания, линии электропередачи, преобразователи и потребители). Это позволяет на каждом уровне решить как последовательно, так и параллельно задачи меньшей сложности в соответствии с имеющимися методиками и средствами проектирования.

На каждом иерархическом уровне даются собственные представления о системе, подсистеме и элементах. То, что на более высоком уровне называется элементом или подсистемой, на низшем уровне является системой.

В проектировании СЭС выделяются *главные принципы*: декомпозиции, иерархичности, многоэтапности, нисходящего и восходящего проектирования, итерационности. Рассмотрим более подробно каждый из основных принципов проектирования.

**Принцип декомпозиции** (блочности) предполагает разделение СЭС на основные части с целью их отдельного проектирования при условии согласования принимаемых решений. Например разделение СЭС на *линии электропередач* (ЛЭП), *трансформаторные подстанции* (ТП), распределительные устройства, электроприемники, релейную защиту, автоматику и др.

На таких уровнях всегда имеются группы задач, связанных с проектированием электрических схем, конструкцией, технологией монтажа и эксплуатации. Эти группы задач называются *функциональными, конструкторскими и технологическими аспектами проектирования*.

*Функциональный аспект* отображает основные принципы функционирования СЭС (выработка – передача – преобразование – потребление электрической энергии).

*Конструкторский аспект* реализует результаты функционального проектирования, определяет геометрические характеристики элементов СЭС и их взаимное расположение. Например, разработка монтажных схем, конструкторских чертежей ТП, шкафов, панелей и т. п. Конструирование, в отличие от проектирования, направлено на разработку новых конструкций, изделий, элементов.

*Технологический аспект* связан с реализацией результатов конструкторского проектирования, т. е. с описанием методов и

средств изготовления элементов, последовательностью их доставки, монтажа, испытаний.

**Принцип иерархичности** предполагает рассмотрение систем электроснабжения по *уровням* (УР) с целью последовательного наращивания сложности описания СЭС в сочетании с декомпозицией, например, разделение системы электроснабжения (рис. 1.1) при расчете электрических нагрузок по *функциональному принципу*:

- 1УР – отдельный электроприемник, электроустановка с многодвигательным приводом или другой группой электроприемников, связанных технологически или территориально и образующих единое изделие с паспортной мощностью, питающийся по одной линии;

- 2УР – щиты распределительные напряжением до 1 кВ переменного тока и до 1,5 кВ постоянного тока, щиты управления, шкафы силовые, вводно-распределительные устройства, шинные выводы, сборки, магистрали;

- 3УР – щит низкого напряжения трансформаторной подстанции 6–10/0,4–0,69 кВ или трансформатор с учетом потерь электроэнергии в нем;

- 4УР – шины *распределительной подстанции* (РП) 6–10 кВ или нагрузка РП в целом;

- 5УР – шины *главной понизительной подстанции* (ГПП), подстанции глубокого ввода, опорной подстанции района;

- 6УР – граница раздела балансовой принадлежности крупного предприятия и энергосистемы.

**Многоэтапность** заключается в разделении проектирования на стадии, этапы, проектные процедуры и операции (см. тему 1.1).

**Нисходящее проектирование** (сверху вниз) предполагает первоначальное решение задач более высоких иерархических уровней. Этот принцип используется в условиях, когда элементы СЭС еще не определены.

**Восходящее проектирование** (снизу вверх) основано на первоначальном решении задач низших иерархических уровней. Элементы подсистемы электроснабжения проектируются раньше электрической системы и их функциональные возможности определяют и ограничивают возможности системы.

**Принцип итерационности** направлен на выработку рациональных проектных решений. На практике происходит сочетание нисходящего и восходящего многоэтапного проектирова-

ния с возвращением (итерацией) к иерархическим уровням и этапам для уточнения принятых решений.

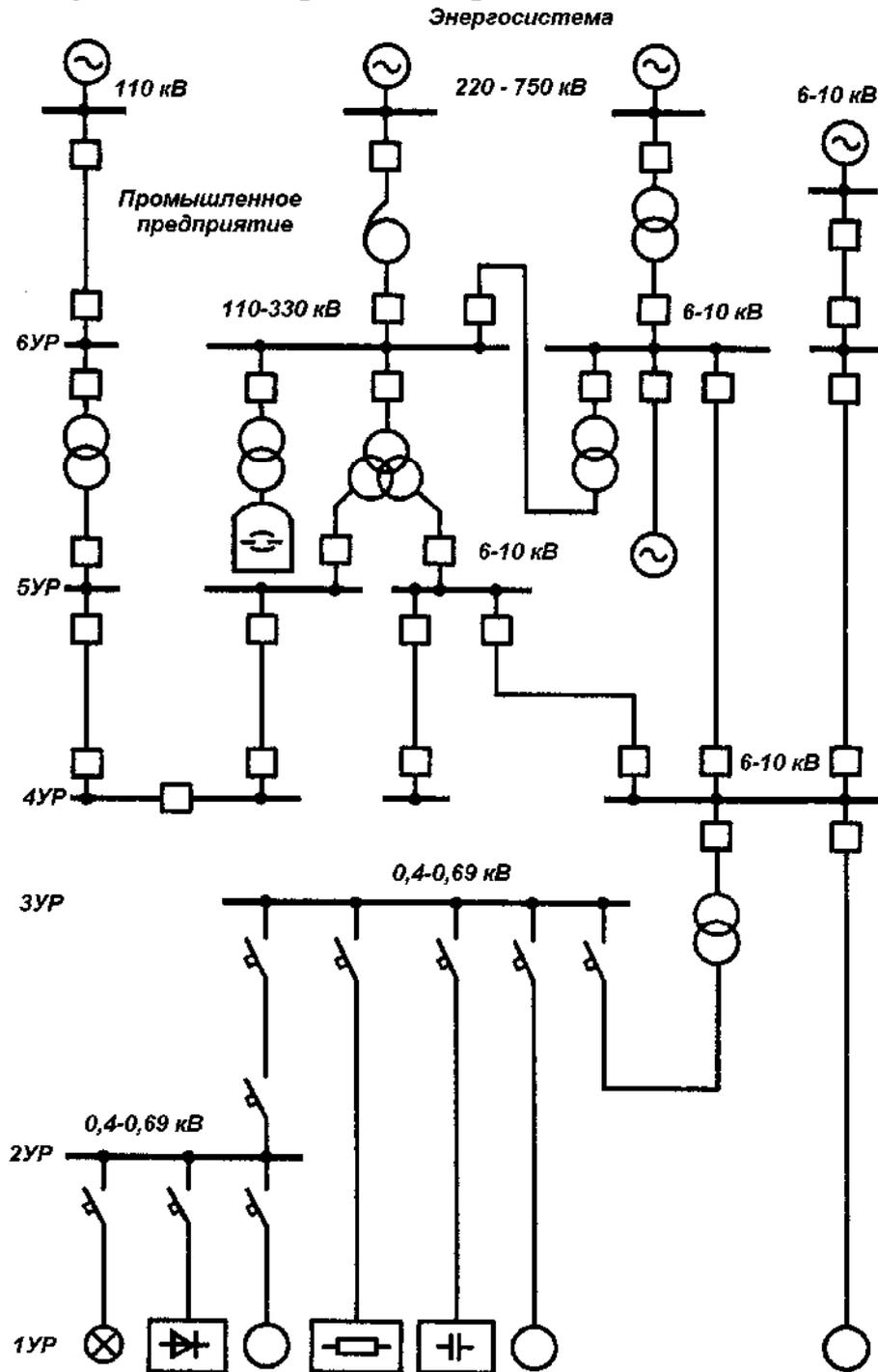


Рисунок 1.1 – Иерархия уровней-подсистем СЭС

Дальнейшими путями повышения эффективности и рационализации проектирования являются типизация, унификация, оптимизация и автоматизация.

*Типизация* проектных решений применяется при неоднократном их использовании. Это уменьшает объем и сроки проектирования, а также сокращает трудовые ресурсы.

*Унификация* методологии проектирования направлена на разработку методов и методик эффективного проектирования объектов соответствующей группы или класса. Например, при расчете электрических нагрузок используется метод упорядоченных диаграмм.

*Оптимизация* предполагает принятие таких решений, которые в наибольшей мере приближаются к критериальным, например, определение числа, мощности и мест установки компенсирующих устройств или выбор сечения проводов и жил кабельных линий.

*Автоматизация* позволяет получить максимальный эффект от рассмотренных путей совершенствования проектирования. При автоматизированном проектировании все или отдельные проектные операции выполняются совместно человеком и ЭВМ в интерактивном (диалоговом) режиме. Комплекс средств автоматизации проектирования, взаимосвязанных с необходимыми подразделениями проектной организации или коллективом специалистов, получил название *системы автоматизированного проектирования* (САПР).

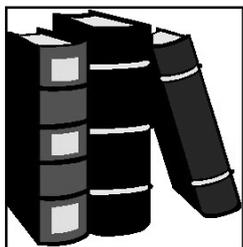
### ***Вопросы для самостоятельной подготовки***

---

1. Какой подход заложен в основу проектирования систем электроснабжения?
2. Какие главные принципы выделяются при проектировании систем электроснабжения?
3. В чем сущность принципа декомпозиции?
4. Какие группы задач относятся к функциональному, конструкторскому и технологическому аспектам проектирования?
5. В чем сущность принципа иерархичности?
6. Какими особенностями обладает каждый уровень систем электроснабжения?
7. В чем заключается свойство многоэтапности проектирования систем электроснабжения?
8. Что предполагает нисходящее и восходящее проектирование систем электроснабжения?
9. На чем основан принцип итерационности проектирования систем электроснабжения?

10. Какие пути используются для повышения эффективности и рационализации проектирования СЭС?

#### **1.4. Технологические основы проектирования систем электроснабжения**



Перед проектированием, строительством или реконструкцией предприятия после получения положительного решения от органа местного самоуправления по поводу ходатайства (декларации) о намерениях и рассмотрения условий размещения площадки (трассы) для строительства объекта заказчик (инвестор) принимает решение о разработке технико-экономического обоснования. Состав исходной информации определяется в зависимости от вида и масштабов планируемой деятельности объекта, количества и видов используемых ресурсов, вовлекаемых в хозяйственный оборот, особенностей экологической ситуации и др. [1, 2, 12, 22, 26, 29, 36–41, 51].

Для систем электроснабжения ТЭО специально не разрабатывается, но СЭС является составной частью ТЭО предприятия и охватывает пять начальных стадий стандартного проектирования (см. тему 1.1).

На основе типизации и унификации проектных решений с целью сокращения сроков и затрат проводится проектирование в одну стадию (одностадийное), результатом которого является создание только технического проекта. Создание одностадийного технического проекта базируется на типовых проектных схемах и конструкторских решениях. Однако в силу упрощенности многих аспектов проектирования одностадийные технические проекты далеки от оптимальных. Поэтому для получения более достоверных проектных решений используют проектирование СЭС в две стадии (двустадийное) – технический проект и рабочие чертежи, сметная документация, ведомости объемов строительных и монтажных работ, ведомости потребности в материалах по видам работ, сборники спецификаций оборудования, опросные листы и габаритные чертежи на различные виды и модели оборудования, проектно-сметная документация на строительство зданий и сооружений пускового комплекса, исходные требования на разработку конструкторской документации для оборудования индивидуального изготовления. Краткая пояснительная записка технического проекта СЭС предприятия, проектируемого на ос-

нове типовых решений, содержит 30–50 страниц следующего примерного состава [1, 2, 22]:

- 1) описание источников питания предприятия;
- 2) генеральный (ситуационный) план предприятия;
- 3) эскиз схемы электрических сетей напряжением 110 кВ и выше;
- 4) расчет электрических нагрузок (состав, характер мощности, категории надежности);
- 5) определение числа и мощности трансформаторов на ГПП, решение вопросов, связанных с распределительными пунктами;
- 6) конструктивные решения распределительных устройств;
- 7) выбор вариантов воздушных и кабельных линий (КЛ) напряжением 6–10 кВ;
- 8) план размещения цеховых трансформаторных подстанций;
- 9) ориентировочная потребность и перечень кабельной продукции;
- 10) технико-экономическая часть;
- 11) заказные спецификации на типовое и специальное электрооборудование;
- 12) сводные сметы.

Разработка рабочих чертежей может вестись поэтапно в соответствии с очередностью строительства на основе спецификаций технического проекта. На базе рабочих чертежей составляются сводные спецификации и сметы. Объем и содержание чертежей определяется инструкциями о составе и оформлении электротехнических чертежей для строительства.

Пакет рабочих чертежей СЭС состоит из следующих разделов:

1. Принципиальные схемы и планы размещения подстанций, трассы ВЛ и КЛ с пояснительными записками и спецификациями электрооборудования.
2. Задания в виде чертежей на изготовление и компоновку электрооборудования на заводах.
3. Задания в виде чертежей на строительство и установку крупного электрооборудования (размещение подстанций и распределительных устройств, фундаменты, кабельные каналы и др.).
4. Схемы электрических соединений (электромонтажные чертежи и спецификации на оборудование) и материалы, необходимые для монтажа электрооборудования.
5. Сметы затрат на сооружение СЭС.

Рассмотренный на основе ТЭО проект электрической части предприятия состоит из разделов: электроснабжение, электрооборудование предприятия и наиболее крупных его цехов, электропривод, электроосвещение, электротехнология и другие специальные вопросы, эксплуатация и электроремонт.

Раздел электроснабжения содержит, как правило, следующие вопросы и информацию: исходные данные, характеристику схемы электроснабжения, перечень потребителей электрической энергии и электрические нагрузки, источники электроснабжения, баланс электрической энергии и мощности, выбор напряжения питающей и распределительной сети, конструктивное выполнение подстанций напряжением 35 кВ и выше, конструктивное выполнение *распределительных устройств* (РУ) и РП напряжением 6–10 кВ, описание сложного электропривода, мероприятия по обеспечению требуемых показателей качества электроэнергии, компенсацию реактивной мощности, расчет токов *короткого замыкания* (КЗ), компенсацию емкостных токов КЗ на землю, релейную защиту, автоматику и телемеханику СЭС, учет и контроль расхода электрической энергии, мероприятия по регулированию мощности, рабочее и защитное заземление, молниезащиту, внутреннее и наружное электрическое освещение, технико-экономические показатели, технические условия присоединения к энергосистеме, заключение и приложения.

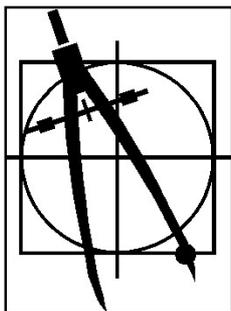
### **Вопросы для самостоятельной подготовки**

1. Когда принимается решение о разработке технико-экономического обоснования? Какие предварительные условия необходимо выполнить?
2. Каковы особенности ТЭО по отношению к системам электроснабжения?
3. Каковы особенности одностадийного и двухстадийного проектирования систем электроснабжения?
4. Каков примерный состав пояснительной записки технического проекта систем электроснабжения?
5. Какова последовательность разработки рабочих чертежей систем электроснабжения?
6. Из каких разделов состоит пакет рабочих чертежей систем электроснабжения?

7. Из каких разделов состоит проект электрической части предприятия?

8. Что входит в проектируемый раздел «Электроснабжение предприятия»?

### **1.5. Требования, предъявляемые к проектам систем электроснабжения**



Основными определяющими факторами при проектировании систем электроснабжения являются характеристики источников питания и потребителей электроэнергии. Подключение СЭС промышленных предприятий к сетям энергосистем производится в соответствии с техническими условиями на присоединение, выдаваемыми энергоснабжающей организацией. К СЭС предъявляются требования бесперебойности электроснабжения с учетом возможности обеспечения резервирования в технологической части проекта, экологичности, экономической эффективности, электробезопасности и электромагнитной совместимости.

К проектам систем электроснабжения предъявляются следующие основные требования [1, 2, 4, 5–7, 10, 11, 14, 25, 28, 41]:

- использование общепринятых, специальных понятий и терминов в соответствии с *Единой системой конструкторской документации (ЕСКД)*, ГОСТами и *Правилами устройства электроустановок (ПУЭ)*;

- выполнение пояснительной записки и чертежей в соответствии с ЕСКД и действующими стандартами, а также нормативными документами, изложенными в перечне действующих нормалей и альбомов типовых чертежей элементов и узлов промышленных электроустановок, обязательных для применения в проектах согласно инструктивным указаниям по проектированию электрических установок, соответствие правилам выполнения рабочей документации электроснабжения предприятий, зданий, сооружений;

- краткость, четкость и логичность изложения принятых решений;

- согласование принимаемых решений с проектировщиками смежных специальностей. Например, составление электрической части проекта возможно лишь с учетом требований и особенностей технологической, строительной и санитарно-

технической части. Кроме того, в проектной практике осуществляется разделение СЭС предприятия на внешнее электроснабжение (электрические сети энергосистемы до приемных пунктов электроэнергии на предприятии) и внутреннее электроснабжение (от приемных пунктов до потребителей предприятия). Так как разработка проектов внешнего и внутреннего электроснабжения ведется, как правило, различными организациями и в разные сроки, при разработке проекта СЭС предприятия должно проводиться взаимное согласование в части определения независимых источников питания, продолжительности перерывов электроснабжения при различных нарушениях в сетях энергосистемы, времени действия релейной защиты и автоматики;

- отступления от нормативных требований и рекомендаций должны быть обоснованы.

Схемы электроснабжения промышленных предприятий разрабатываются с учетом следующих принципов:

- максимальное приближение источников питания к потребителям электрической энергии;

- минимально возможное число ступеней трансформации и распределения электроэнергии на каждом уровне СЭС;

- распределение электроэнергии осуществляется по магистральным схемам. В обоснованных случаях применяются радиальные схемы;

- обеспечение требуемого уровня надежности и резервирования при минимальном количестве электрооборудования и проводников на уровнях схем электроснабжения и электрических соединений подстанций;

- выполнение схем по блочному принципу с учетом технологической схемы предприятия. Электроснабжение параллельных технологических линий осуществляется от разных секций шин подстанций: взаимосвязанные технологические агрегаты питаются от одной секции шин;

- электроснабжение вторичных цепей не нарушается при любых переключениях питания силовых цепей параллельных технологических потоков;

- при резервировании питания проводится секционирование шин во всех звеньях системы распределения электроэнергии, включая шины низшего напряжения ЦТП;

- все элементы электрической сети, как правило, находятся под нагрузкой. Наличие резервных неработающих элементов сети должно быть обосновано;

- в системах внешнего электроснабжения применяется раздельная работа питающих линий, подстанций и трансформаторов. В обоснованных случаях, по согласованию с энергоснабжающей организацией, допускается параллельная работа элементов СЭС;

- выбор мощности трансформаторов и сечений проводников производится с учетом компенсации реактивной мощности;

- совпадение планового ремонта и аварии или наложение аварии на аварию учитывается только для электроприемников особой группы в составе 1 категории и при технико-экономическом обосновании для электроприемников 1 категории производств со сложным непрерывным длительно восстанавливаемым технологическим процессом;

- в часы максимума нагрузки энергосистемы или в периоды режимных ограничений в подаче электроэнергии, в послеаварийных или ремонтных режимах на промышленном предприятии предусматривается возможность централизованного отключения электроприемников, отнесенных к 3 категории по надежности электроснабжения. Совместно с заказчиком рассматривается возможность отключения или частичной разгрузки крупных электроприемников. Обосновывается экономическая целесообразность дополнительной установки крупных технологических агрегатов, отключаемых системой *автоматической частотной разгрузки* (АЧР) или в часы максимума нагрузки энергосистемы;

- выбор типа, мощности и расположения подстанций определяется значением и характером электрических нагрузок, размещением их на генеральном (ситуационном) плане предприятия. При этом учитывается также очередность сооружения, архитектурно-строительные и эксплуатационные требования, расположение технологического оборудования, условия окружающей среды, требования взрывопожарной и экологической безопасности. Сооружение последующих очередей строительства не должно приводить к нарушению или снижению надежности электроснабжения действующих производств;

- система электроснабжения обеспечивает возможность роста потребления электроэнергии предприятием без коренной реконструкции спроектированной СЭС.

Схемы электрических соединений трансформаторных и распределительных подстанций выбираются исходя из общей схемы электроснабжения предприятия и должны удовлетворять следующим требованиям:

- обеспечение надежности электроснабжения потребителей и перетока мощности по магистральным связям в нормальном и в послеаварийном режимах;

- учет перспективы развития, возможность поэтапного расширения, учет потребности в электроэнергии сторонних близлежащих потребителей во избежание нерациональных затрат на их локальное электроснабжение;

- при росте электрической нагрузки увеличение мощности подстанции производится путем замены трансформаторов более мощными, что должно быть предусмотрено при проектировании строительной части подстанции. Установка дополнительных трансформаторов на действующей подстанции требует технико-экономического обоснования;

- подстанции проектируются с учетом их эксплуатации без постоянного дежурного персонала с широким применением элементов автоматизации, противоаварийной автоматики, сигнализации, телеуправления и телерегулирования;

- обеспечение возможности проведения ремонтных и эксплуатационных работ на отдельных элементах схемы без отключения соседних присоединений;

- при обслуживании подстанций персоналом разных организаций разрабатываются мероприятия, обеспечивающие доступ персонала каждой организации только в обслуживаемые им помещения и к обслуживаемому им оборудованию;

В технологической части к проектам СЭС предъявляются следующие требования:

- в объектах электроснабжения, как правило, применяются комплектные крупноблочные электротехнические устройства;

- схемные и конструктивные решения в максимальной степени унифицированы;

- предусматриваются мероприятия, обеспечивающие возможность ведения электромонтажных работ промышленными методами;

- выполняются требования технологии процесса и удобства эксплуатации электроустановок, например, размещение проектируемого оборудования не должно затруднять проходы, проезд транспорта;

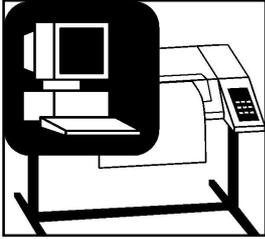
- прокладка токопроводов, электропроводок и кабелей, размещение ЦТП, пультов управления, кнопочных станций, крепление электрических аппаратов на строительных конструкциях, использование технологических эстакад возможно на основе требований технологов в строительной части;

- конструктивное исполнение и внешний вид электрической сети, направление трасс, размещение электрооборудования соответствуют требованиям технической эстетики;
- не используется снятое с производства электрооборудование; не рекомендуется также использовать нетиповое или несерийное электрооборудование, выпускаемое по специальным заказам;
- экономичность проектных решений, как правило, оценивается двумя критериями: выбором наиболее экономичного варианта в результате ТЭО и целесообразной величиной резерва. ТЭО осуществляется на основе инструкций по определению экономической эффективности инвестиций в строительство. Завышение резервирования электроустановок усложняет схемы и условия эксплуатации, что может привести к снижению надежности электроснабжения. Резерв СЭС рекомендуется получать за счет увеличения пропускной способности ЛЭП и электрооборудования, разработки оптимальных схемных и режимных вариантов решений.

### **Вопросы для самостоятельной подготовки**

1. Что относится к определяющим факторам при проектировании систем электроснабжения?
2. Какие основные требования предъявляются к проектам систем электроснабжения?
3. С учетом каких принципов разрабатываются схемы систем электроснабжения?
4. Исходя из каких требований выбираются схемы электрических соединений трансформаторных и распределительных подстанций?
5. Какие требования предъявляются к проектам систем электроснабжения в технологической части?
6. Как реализуются основные схемные и конструктивные решения?
7. Как оценивается экономичность проектных решений?
8. Какими способами рекомендуется повышать резерв систем электроснабжения?

## 1.6. Автоматизация проектных работ



В последние годы ведущие проектные фирмы осуществляли переход от компьютеризации отдельных, наиболее трудоемких, видов работ к системам автоматизированного проектирования, охватывающим весь процесс создания проекта. Вместе с тем созданию (или приобретению) САПР должен предшествовать тщательный экономический анализ. Опыт показывает, что для мелких и средних фирм выгоднее воспользоваться услугами сторонних специалистов, нежели создавать собственную систему со штатом специалистов. К другим основным вопросам, которые надлежит решить при внедрении САПР, относятся [2, 22, 37, 49]:

- адаптация организационной структуры фирмы к требованиям САПР, суть которой состоит в организации информационных потоков таким образом, чтобы избежать дублирования (или отсутствия) данных у различных участников процесса проектирования;
- выбор программных средств и вычислительной техники с учетом того, что их обновление происходит каждые 5–6 лет;
- решение вопроса о структуре используемого в системе банка данных. В общем случае в состав данных включают сведения об удельных расходах материалов, стоимости, компоновочных решениях, технологии, сроках строительства, а также о нормативах и типовых конструктивных решениях.

В качестве САПР, эффективно работающих во многих странах мира, используются мощные универсальные системы с элементами искусственного интеллекта типа CAD/CAM (Computer Aided Design / Computer Aided Management), представляющие собой интегрированные автоматизированные системы для конструирования, проектирования, анализа и управления проектами. Система AutoCAD, входящая в САПР, которая нашла широкое распространение на российском рынке, позволяет выполнить работу в более короткие сроки. Ее пользователи завершают выполнение чертежей в два-три раза быстрее, чем при традиционных методах. В последние годы все более широкое применение получают экспертные системы, представляющие собой новый этап роста интеллектуальности автоматизированных систем, развитых до такого уровня, при котором из множества фактов и данных создается возможность появления новой ин-

формации, аналогично тому, как это делает человек. САПР также широко использует системы проектного моделирования.

### **Проектное моделирование**

Одним из основных требований, предъявляемых к сложному проекту, является обеспечение наглядности и очевидности или в современной терминологии «прозрачности» предмета проектирования посредством его адекватного, лаконичного и удобного описания. Проект является представлением-описанием системного предмета в виде *сети процессов*, определяющих его миссию-функцию, т.к. каждая система создается для определенного функционирования. Адекватное описание сети процессов обычно выполняется с помощью процедуры *моделирования* – создания описания системы как совокупности взаимодействующих компонентов и взаимосвязей между ними. Особенно актуальной стала задача моделирования в период развития САПР по линии создания и интенсивного использования CASE (Computer Aided Software/System Engineering) и CALS (Computer-Aided Acquisition and Logistics Support) технологий.

Моделирование предполагает наличие набора средств и правил – языка описания объекта [2, 27, 37, 48, 49]:

- вербальную модель – описание на естественном языке, хотя язык не всегда обеспечивает необходимую прозрачность и точность описываемого объекта;
- математическую модель – описание с помощью математических средств и правил;
- графическую модель – описание объекта с помощью средств и правил графического изображения – чертежей.

При этом нет четких границ между типами языков описания и соответствующими им моделями. Каждая модель использует методы и средства других моделей. Например, математическая модель содержит словесное сопровождение от вербальной модели и поясняющие схемы, рисунки, диаграммы – элементы графической модели.

Описание предмета проектирования должно отражать не только отдельные иерархические процессы, но также взаимосвязи и взаимодействия между процессами. Иерархические процессы вместе с взаимосвязями и взаимодействиями представляют собой сеть проектных процессов. Описание сети проектных процессов, составляющих проектную деятельность, – это сложная организационно-техническая задача, для решения которой требуются специальные методы и средства.

С точки зрения системного анализа в моделях проектирования сложных систем выделяются:

1) *объект моделирования* – процесс проектирования (направление деятельности, предметная область САПР);

2) *субъект моделирования* – проектируемая система (предмет суждения, система – носитель свойств).

В этом контексте отдельно рассматривается моделирование процесса проектирования и модель проектируемого предмета.

### **Моделирование процесса проектирования**

В процессе создания сложного проекта имеется ряд особенностей:

1) многие проекты создаются большими коллективами на протяжении ряда лет;

2) требуется эффективное управление отдельными частями проектов, поскольку каждая рабочая группа создает свою часть работы без учета других частей проекта, разрабатываемых остальными рабочими группами;

3) внесение изменений на более поздних этапах становится все более и более трудоемким и дорогостоящим. Изменения на этапе реализации проекта в десятки раз дороже изменений, вносимых на этапе проектирования. Поэтому особенно важна оптимизация проектных решений на ранних стадиях проектирования.

Для руководства проектом назначается менеджер проекта, на которого возложены следующие обязанности (см. тему 1.3):

- определение цели, задачи и результата проекта;
- участие в разработке детального плана проекта;
- определение состава работ, необходимых для подготовки, проработки и внедрения проекта;
- определение ответственных лиц, которые будут участвовать в процессах проработки и внедрения проекта;
- составление цепочки взаимосвязей между участниками команды проекта;
- документирование функциональной зависимости между работами;
- обеспечение своевременного сбора, накопления, распространения, хранения и последующего использования проектной информации;
- анализ возможного влияния отклонений в выполненных объемах работ на ход реализации проекта в целом;
- ряд других обязанностей по техническому руководству проектными работами.

Даже этот краткий перечень функций свидетельствует о необходимости создания модели проектирования, которая начинается с описания процессов, определяющих миссию, и продолжается до достижения необходимой степени ее функциональной прозрачности.

### **Моделирование предмета проектирования**

Модель сети процессов должна решить вопросы функциональной структуры проектных процессов, их взаимодействия друг с другом, кроме того, необходимы сценарии и алгоритмы, реализующие методику проектирования.

Модель является некоторым толкованием системы. Поэтому субъектом моделирования служит сама система, связанная с окружающей средой в определенных границах. Модель, упрощая описание, ограничивает и свой субъект. Модель устанавливает что входит в систему и что лежит за ее пределами. Ограничивая субъект, модель помогает сконцентрировать внимание на описываемом предмете и позволяет избежать включения других субъектов.

Трудности, связанные с описанием сложных систем, объясняются тем, что эти системы слишком велики для того, чтобы можно было просто перечислить все их компоненты. С другой стороны, они могут быть упрощены за счет обобщающих предположений, представляя сложные системы с помощью функциональных моделей. **Функциональная модель** отображает функциональную структуру предмета, производимые им действия и связи между этими действиями.

Функциональная модель охватывает все стадии жизненного цикла как самой продукции (предмета проектирования), так и организационной деятельности (процесса проектирования). Следовательно, функциональное моделирование может быть успешно использовано в описании объекта и субъекта проектирования. Для этого модель должна строиться как модель делового процесса.

**Деловой процесс** – это совокупность процессов (операций, действий) и взаимодействий между ними, результатом (выходом) которой является продукция и/или услуги, поставляемые потребителям, а входами – материальные, информационные и трудовые ресурсы, поставляемые извне.

Функциональная модель позволяет представить общую картину делового процесса и его взаимосвязи с другими процессами, определить состав и полноту исполняемых функций, распределить обязанности между сотрудниками, выявить ненуж-

ные документы и дублирующие функции с помощью специальных методов.

### **Метод структурно-аналитической технологии проектирования**

Метод SADT (Structured Analysis Design Technique) был разработан сотрудниками Массачусетского технологического института Д. Маркой, К. МакГоуэном и Д. Россом в начале 60-х гг. и является методом моделирования систем [24]: М моделирует С, если М отвечает на вопросы относительно С. Под *системой* понимается совокупность объектов и связей между ними. Каждая система имеет границу, поведение и сущность. *Граница* отделяет рассматриваемую систему от других. *Поведение* является совокупностью реакций системы на внешние воздействия. *Сущностью* системы является цель ее функционирования.

Целями метода SADT являются:

- оптимизация проектных решений, принимаемых на ранних стадия проектирования сложных систем;
- обеспечение итерационного взаимодействия «заказчик – разработчик» в процессе проектирования системы.

Проектирование любой системы проходит через ряд обязательных фаз:

- *анализ* – установление того, что система должна делать;
- *декомпозиция* – детализация системы на подсистемы и их разработка;
- *реализация* – практическое создание подсистем;
- *объединение* – интеграция подсистем в единую систему;
- *установка* – введение системы в опытную эксплуатацию;
- *эксплуатация* – использование системы.

Метод SADT в функциональном подходе основной структурной единицей модели использует SA-блок (Structured Analysis), представляющий собой абстракцию функции системы (рис. 1.2).

Функция системы рассматривается с *точки зрения* – позиции человека или объекта, с которой рассматривается система в действии.

Метод SADT заложен в стандарты IDEF0–3 (Integrated Definition Function Modeling), предназначенные для функционального моделирования, которые приняты в качестве федеральных стандартов США [54].

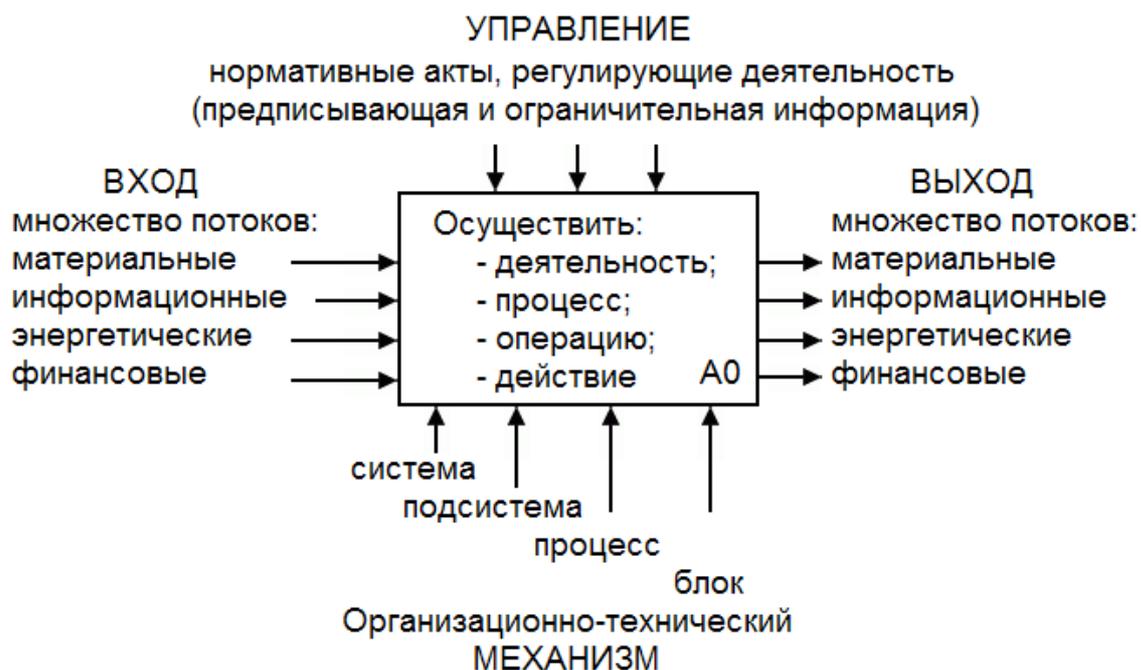


Рисунок 1.2 – Мета модель, контекстная диаграмма

### Стандарт IDEF0

Использование метода SADT в виде стандарта IDEF0 закреплено в качестве рекомендаций Госстандарта России Р50.1.028–2001 «Методология функционального моделирования» [27]. В основу стандарта IDEF0 включены три базовых позиции:

1) *принцип функциональной декомпозиции* – любая функция может быть декомпозирована (детализирована, разбита) на более простые функции;

2) *принцип ограничения сложности* – количество блоков на диаграмме должно быть в пределах 2–6 (условие удобочитаемости);

3) *принцип контекста* – моделирование делового процесса начинается с построения контекстной диаграммы, на которой отображается только один блок – главная функция моделирующей системы, ограничивающая область границы моделирующей системы (регламентирует начальный этап построения модели).

IDEF0-диаграммы строятся при помощи блоков аналогично методу SADT. Каждый блок описывает какое-либо законченное действие (функцию).

Четыре стороны блока имеют разное назначение. Слева отображаются входные данные, справа – выходные данные, сверху – управление, снизу – механизм.

**Входные данные (вход)** – исходные ресурсы для описываемой блоком функции (исходная информация, материалы).

**Выходные данные** (выход) – результирующие ресурсы, полученные в результате выполнения описываемой блоком функции (выходная информация, обработанные исходные материалы).

**Управление** – это то, что воздействует на процесс выполнения описываемой блоком функции и позволяет влиять на результат выполнения действия (средства управления, датчики, нормативные документы).

**Механизм** – это то, посредством чего осуществляется данное действие (устройства, ответственные исполнители, программное обеспечение).

Взаимодействие между блоками отображается в виде дуг (стрелок). Иногда стороны блока называют направлениями, а стрелки – потоками. Стрелки можно подписывать. Подписи связываются с соответствующей стрелкой при помощи зигзага (молнии).

При декомпозиции (детализации) функции во вновь образуемой диаграмме отображаются все входящие и исходящие стрелки (дуги, потоки), связанные с разбиваемой функцией. Количество стрелок на любом уровне диаграммы и в любом направлении не ограничено. Диаграмма носит название разбиваемого блока (функции). Только название диаграммы-контекста совпадает с названием содержащейся в диаграмме функции.

В своей сущности диаграммы образуют дерево. Любая диаграмма выступает как диаграмма-контекст по отношению к диаграммам, расположенным ниже.

В рамках IDEF0-модели дуги в зависимости от их положения на диаграмме уже подразделены на четыре категории: входные, выходные, управления и механизма.

Дополнительно дуги могут быть классифицированы в зависимости от категории объектов, которые они представляют на диаграмме. К числу таких категорий могут относиться:

- материалы, сырье, продукция, ресурсы;
- информация, данные, записи качества, документы;
- распоряжения руководства, планы, графики; распорядительные документы;
- стандарты, нормативная документация;
- ответственные исполнители, проектировщики, сотрудники организации и т.д.

Документация, созданная в стандарте IDEF0, позволяет взглянуть на проект в целом и детально определить взаимосвязи

между его отдельными частями. Применение IDEF0 на практике позволяет:

- минимизировать словесное описание структуры и принципов функционирования;
- упорядочить коллективную работу;
- эффективно управлять отдельными частями проекта.

Стандарт IDEF0 для описания алгоритма не предназначен. IDEF0-диаграммы описывают действия, его структуру и связи между его отдельными элементами. Методика IDEF0 связана с функциональными аспектами и позволяет отвечать на вопросы: «что делает система», «как делает система», и «кто делает в системе».

### **Стандарт IDEF3**

Стандарт IDEF3 [24, 48, 49] регламентирует способ описания процессов с использованием структурированного метода, позволяющего менеджеру проекта представить положение вещей как упорядоченную последовательность событий с одновременным описанием объектов, имеющих непосредственное отношение к процессу. IDEF3 является технологией, хорошо приспособленной для сбора данных, требующихся для проведения структурного анализа системы. В отличие от большинства технологий моделирования деловых процессов, IDEF3 не имеет жестких синтаксических или семантических ограничений, делающих неудобным описание неполных или нечетких систем. В этом случае менеджер проекта будет избавлен от необходимости смешивать свои собственные предположения о функционировании системы с экспертными утверждениями в описании предметной области. IDEF3-методология дополняет моделирование с использованием стандарта IDEF0, распространяясь как путь построения моделей проектируемых систем для дальнейшего анализа имитационными методами при оценке эксплуатационных качеств разрабатываемой системы.

Основой модели IDEF3 служит так называемый сценарий делового процесса, который выделяет последовательность действий или подпроцессов анализируемой системы (рис. 1.3).

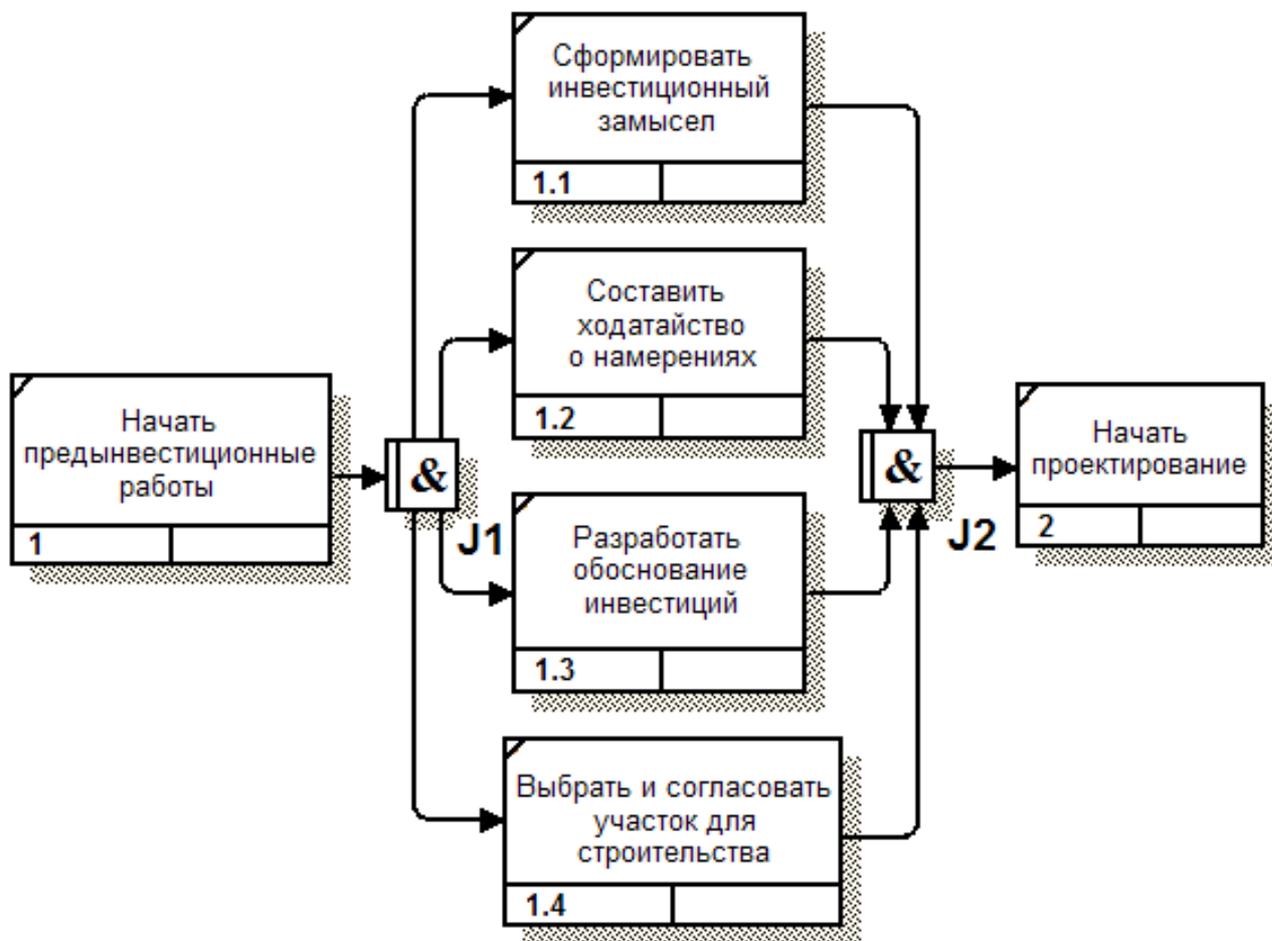


Рисунок 1.3 – IDEF3-диаграмма проектной деятельности

Поскольку сценарий определяет назначение и границы модели, то для подбора необходимого имени блоков применяются стандартные рекомендации по предпочтительному использованию глаголов и отглагольных существительных, например «рассчитать электрические нагрузки» или «применить высоковольтные вакуумные выключатели». Сценарий для большинства моделей должен быть документирован. Обычно это название набора должностных обязанностей человека, являющегося источником информации о моделируемом процессе. Также важным для менеджера проекта является понимание цели моделирования проекта – набора вопросов, ответами на которые будет служить сама модель в границах моделирования проекта (какие части системы войдут, а какие не будут отображены в модели).

В построении диаграммы кроме менеджера проекта принимают участие системный аналитик и один или несколько экспертов предметной области, представляющие описание процесса. Для экспертов предметной области, подготавливающих описание моделируемого процесса, должны быть документированы

границы моделирования, чтобы им была понятна необходимая глубина и полнота требуемого от них описания. IDEF3 реализуют поведенческое моделирование и детализируется ответ на вопрос: «как система это делает», например: «с помощью потоков данных».

### **Диаграммы потоков данных**

DFD (Data Flow Diagrams) [24, 48, 49] моделируют систему как набор действий, соединенных друг с другом стрелками. Диаграммы потоков данных могут содержать два новых типа объектов:

- объекты, собирающие и хранящие информацию, – хранилища данных и внешние сущности;
- объекты, моделирующие взаимодействие с теми частями системы (или другими системами), которые выходят за границы моделирования.

В отличие от стрелок в IDEF0, которые показывают отношения, стрелки в DFD изображают объекты, включая и данные, которые реально перемещаются от одного действия к другому. Это представление потока обеспечивает отражение в DFD-моделях таких физических характеристик системы, как движение объектов (потоки данных), хранение объектов (хранилища данных), источники и потребители объектов (внешние сущности).

В отличие от стандарта IDEF0, рассматривающего систему как множество взаимно пересекающихся действий, в названиях объектов DFD-диаграмм преобладают имена существительные. Контекстная DFD-диаграмма часто состоит из одного функционального блока и нескольких внешних сущностей. Функциональный блок на этой диаграмме обычно имеет имя, совпадающее с именем всей системы. Добавление на диаграмму внешних ссылок не изменяет фундаментального требования, что модель должна строиться с единственной точки зрения и иметь четко определенные цель и границы. Как и действия IDEF3, функциональные блоки DFD имеют входы и выходы, но не имеют управления и механизма исполнения, как IDEF0.

Функциональный блок DFD моделирует некоторую функцию, которая преобразует в терминах IDEF вход в выход. Стрелки описывают передвижение (поток) объектов от одной части системы к другой. Поскольку все стороны обозначающего функциональный блок DFD прямоугольника в отличие от IDEF0 равнозначны, стрелки могут начинаться и заканчиваться в любой части блока. В DFD также используются двунаправленные

стрелки, которые нужны для отображения взаимодействия между блоками (например, диалога типа «приказ – результат выполнения»).

Диаграммы DFD можно строить с использованием подхода, аналогичного структурному методу анализа и проектирования, применяемому в IDEF0. Вначале строится модель физической реализации типовой системы, которая используется в настоящее время. Затем создается логическая модель для моделирования основных требований новой проектируемой системы. После этого формируется логическая модель для отражения основных параметров разрабатываемой системы и создается новая физическая модель, реализующая логическую модель новой системы.

В настоящее время чаще применяется подход, использующий разделение событий, в котором для моделирования системы строится несколько моделей DFD. Вначале строится логическая модель, отображающая систему как набор действий и описывающая, что должна делать система. Затем строится модель окружения, описывающая систему как объект, отвечающий на события, порождаемые внешними сущностями. Такая модель обычно состоит из описания назначения системы, одной диаграммы контекстного уровня и списка событий. Контекстная диаграмма содержит один функциональный блок, представляющий систему в целом, и внешние сущности (окружения), с которыми система взаимодействует. На заключительном этапе создается модель поведения, показывающая, как система обрабатывает те или иные события. Эта модель начинается с единственной диаграммы с одним функциональным блоком на каждый ответ системы на событие, описанное в модели окружения. Поток применяется для соединения элементов диаграмм между собой и для проверки согласованности построенных моделей поведения и окружения.

Диаграммы потоков данных обеспечивают при проектировании удобный способ описания передаваемой информации как между частями моделируемой системы, так и между системой и внешним окружением при информационном обмене и документообороте (рис. 1.4).

Методология моделирования IDEF0–3 и DFD поддерживается компьютерными программами. Применение компьютерных программ на стадии описания процессов позволяет не только повысить эффективность решения этой задачи, но также использовать эти модели, интегрируя их в корпоративную информационную систему САПР. Специфика и отдельные детали методологии моделирования рассмотрены в [24, 48, 49]. Для опре-

деления поведения проектируемой системы используются другие виды моделирования: аналитическое, имитационное, комбинированное и др. [37].

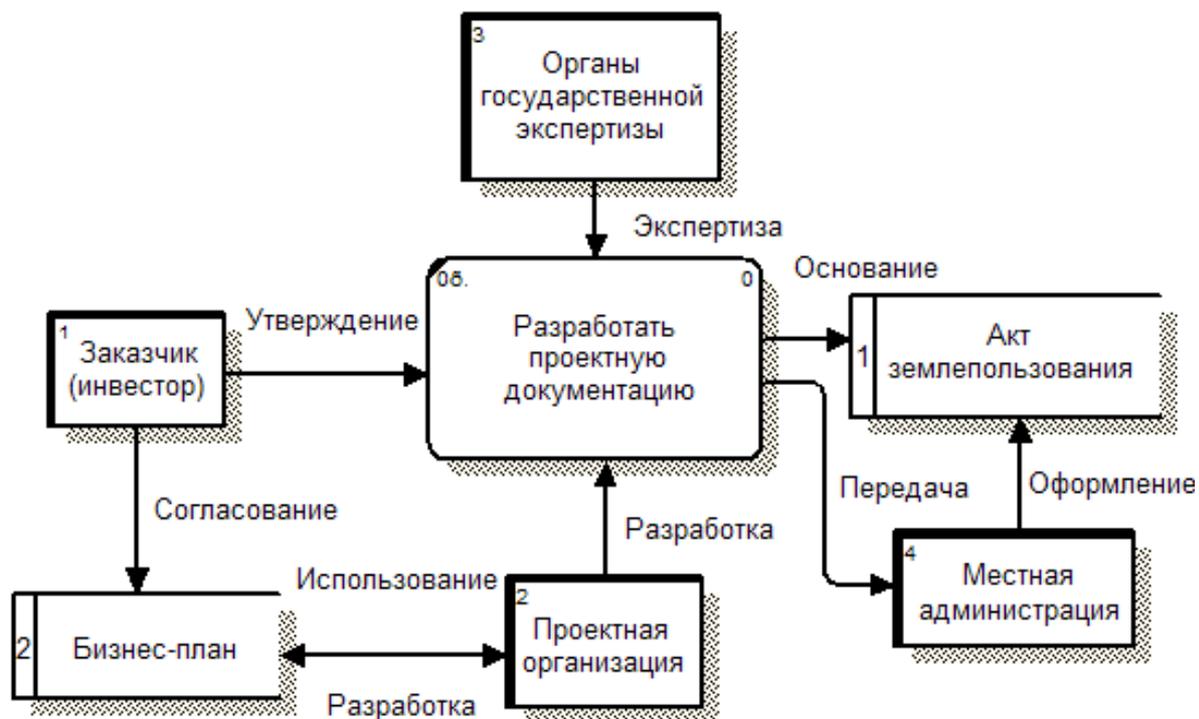


Рисунок 1.4 – DFD-диаграмма инвестиционного процесса на 4 этапе

### **Аналитическое моделирование**

Для аналитического моделирования характерно то, что процессы функционирования элементов системы записываются в виде некоторых функциональных соотношений или логических условий. Аналитическая модель может быть исследована следующими методами: а) аналитическим, когда стремятся получить в общем виде явные зависимости для искомых характеристик; б) численным, когда, не умея решать уравнений в общем виде, стремятся получить числовые результаты при конкретных начальных данных; в) качественным, когда, не имея решения в явном виде, можно найти некоторые свойства решения например, оценить устойчивость системы при электромеханическом переходном процессе [6].

Наиболее полное исследование процесса функционирования системы можно провести, если известны явные зависимости, связывающие искомые характеристики с начальными условиями, параметрами и переменными системы. Однако такие зави-

симости удастся получить только для сравнительно простых проектируемых систем. При усложнении систем исследование их аналитическим методом наталкивается на значительные трудности, которые часто бывают непреодолимыми. Поэтому, желая использовать аналитический метод, идут на существенное упрощение первоначальной модели, чтобы иметь возможность изучить хотя бы общие свойства системы. Такое исследование на упрощенной модели аналитическим методом помогает получить ориентировочные результаты для определения более точных оценок другими методами. *Численный метод* позволяет исследовать по сравнению с аналитическим методом более широкий класс систем, но при этом полученные решения носят частный характер, соответствующий конкретным параметрам режима, системы и состояния. В отдельных случаях проектировщика могут удовлетворить и те выводы, которые можно сделать при использовании *качественного метода* анализа математической модели. В настоящее время распространены методы компьютерной реализации исследования характеристик процесса функционирования сложных систем, для чего используются соответствующие моделирующие имитационные алгоритмы.

### **Имитационное моделирование**

При имитационном моделировании реализующий модель алгоритм воспроизводит процесс функционирования системы во времени, причем имитируются элементарные явления, составляющие процесс, с сохранением их логической структуры и последовательности протекания во времени, что позволяет по исходным данным получить сведения о состояниях процесса в определенные моменты времени, дающие возможность оценить характеристики системы. Основным преимуществом имитационного моделирования по сравнению с аналитическим является возможность решения более сложных задач. Имитационные модели позволяют достаточно просто учитывать такие факторы, как наличие дискретных и непрерывных элементов, нелинейные характеристики элементов системы, многочисленные случайные воздействия и др., которые часто создают трудности при аналитических исследованиях. В настоящее время имитационное моделирование, например с помощью программного комплекса LabVIEW [53], – наиболее эффективный метод исследования сложных систем, а часто и единственный практически доступный метод получения информации о поведении системы, особенно на этапе ее проектирования (рис 1.5).

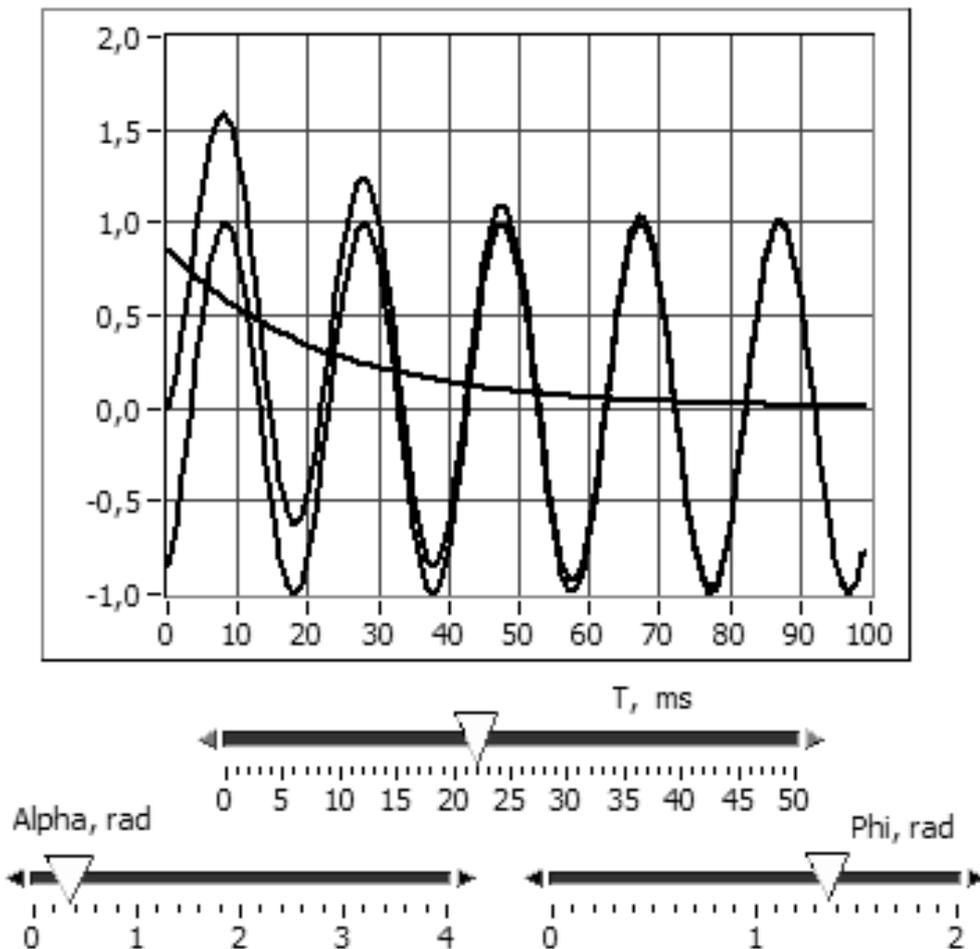


Рисунок 1.5 – LabVIEW-модель составляющих тока короткого замыкания

Метод имитационного моделирования позволяет решать задачи анализа сложных систем, включая задачи оценки: вариантов структуры системы, эффективности различных алгоритмов управления системой, влияния изменения различных параметров системы. Имитационное моделирование может быть положено также в основу функционального синтеза больших систем, когда требуется создать систему с заданными характеристиками при определенных ограничениях, которая является оптимальной по некоторым критериям оценки эффективности.

Комбинированное (аналитико-имитационное) моделирование при анализе и синтезе систем позволяет объединить достоинства аналитического и имитационного моделирования. При построении комбинированных моделей проводится предварительная декомпозиция процесса функционирования объекта на составляющие подпроцессы и для тех из них, для которых это возможно, используются аналитические модели, а для остальных

подпроцессов строятся имитационные и экспертные модели (рис. 1.6.) [32].



Рисунок 1.6 – Модель-заключение экспертной системы о режимах и состоянии силового трансформатора

### Комбинированное моделирование

Поскольку функциональные зависимости параметров электрооборудования сложны и для конкретного вида электрооборудования электрохозяйств, как правило, полностью математически не определены или неизвестны, то эффективно используется как информационная модель объекта, так и модель процесса управления объектом. Тогда диагностируемые режимы возможно интерпретировать уравнениями в нечетко-множественном виде. Такой комбинированный подход позволяет охватить качественно новые классы систем, которые не могут быть исследо-

ваны с использованием только аналитического и имитационного моделирования в отдельности.

В условиях рыночных взаимоотношений между энергосистемой и потребителем моделирование помогает находить оптимальные варианты технико-экономических решений, удовлетворяющих обе стороны. При проектировании систем электроснабжения значительную часть общего электропотребления можно компенсировать за счет повышения энергетической эффективности технологических процессов, проведения изменений условий производства, снижения материалоемкости, активной энергосберегающей политики. Маркетинговые модели в значительной степени содействуют решению этих задач.

Подводя итог, обратимся к проектированию систем электроснабжения как к формальному процессу преобразования исходного описания в полный пакет технической документации, содержащий необходимые сведения для сооружения и эксплуатации системы электроснабжения в заданных условиях.

*Информационная точка зрения* отражает процесс преобразования входной информации (о системах электроснабжения, о состоянии знаний в области электроснабжения, электропривода, электроники и др., об опыте проектирования аналогичных систем электроснабжения) в выходную информацию в виде проектно-конструкторской и технологической документации, выполненной в нужной форме и содержащей описание систем электроснабжения для последующей реализации (строительство, реконструкция, частичная модернизация).

Проектирование систем электроснабжения *с точки зрения теории принятия решений* представляется как процесс принятия проектно-конструкторских решений, направленных на получение удовлетворяющего техническое задание описания систем электроснабжения с заданной степенью детализации. Проектирование систем электроснабжения рассматривается и как реализация цикла управления в операциях анализа и синтеза, оценки и выработки управляющего воздействия.

### **Вопросы для самостоятельной подготовки**

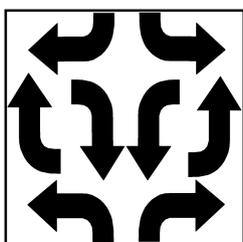
1. Какие основные вопросы надлежит разрешить при внедрении САПР?
2. Какие информационные системы используются в САПР?
3. Наличие какого набора средств и правил предполагает моделирование в сложных проектах?

4. Каким требованиям должно соответствовать описание предмета проектирования?
5. Что является объектом и субъектом моделирования?
6. Какие особенности имеет процесс создания сложного проекта?
7. Какие обязанности возлагаются на менеджера проекта?
8. Для решения каких вопросов создается модель сети процессов?
9. Какими свойствами обладает функциональная модель?
10. Какие цели преследует метод структурно-аналитической технологии проектирования?
11. Какие базовые принципы заложены в стандарт IDEF0?
12. Какое назначение имеют стороны блока IDEF0-диаграммы?
13. Какими преимуществами обладает проектная документация, созданная в стандарте IDEF0?
14. В чем особенности стандарта IDEF3?
15. Что является основой модели в стандарте IDEF3?
16. Как осуществляется моделирование с помощью диаграммы потоков данных? В чем отличие от стандарта IDEF3?
17. Какими особенностями обладает аналитическое моделирование?
18. Каковы преимущества имитационного моделирования по сравнению с аналитическим?
19. Какие операции проводятся при построении комбинированных моделей?
20. Каковы особенности проектирования систем электропитания с информационной точки зрения и в контексте теории принятия решений?

## Глава 2. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

---

### 2.1. Порядок проектирования системы электроснабжения



Организация проектирования систем электроснабжения по этапам жизненного цикла (см. тему 1.1) осуществляется в соответствии с технологическими правилами проектирования объектов строительства [41]. Расчет электрических нагрузок и электропотребления в этом случае

осуществляется нисходящим методом [2, 16, 22, 41] в восемь этапов.

*Первый этап.* Определение целей инвестирования, номенклатуры проектируемой к выпуску продукции (услуг), назначения и мощности объекта строительства, места размещения объекта инвестиций. В необходимых случаях используют материалы схем развития и размещения отраслей. На этом этапе от проектировщика СЭС важно получить заключение о возможности сооружения объекта по условиям обеспечения электроэнергией от энергосистемы: необходимость строительства или расширение электростанций, ЛЭП, системных и крупных районных подстанций. Для энергоемких объектов в случае получения отрицательного заключения дальнейшие стадии инвестиционного проекта становятся бессмысленными. Для менее энергоемких проектов возникает вопрос возможности использования собственных источников электроснабжения и мини-электростанций.

*Второй этап.* Инвестор с учетом принятых на предыдущем этапе положительных решений разрабатывает ходатайство (декларацию) о намерениях инвестирования. Местная администрация рассматривает указанные материалы и принимает решение о возможности сооружения объекта инвестиций. При положительном решении предлагаются варианты размещения объекта, выдаются предварительные технические условия на присоединение объекта к инженерным сетям и коммуникациям.

Выполнение проекта систем электроснабжения начинается с анализа исходных данных и категории надежности электроснабжения. Основой рационального решения комплекса технико-экономических вопросов проектирования СЭС предприятия является обоснованное определение ожидаемых электрических

нагрузок, при этом требуется решение вопросов о количестве и мощности ГПП и количестве питающих их ЛЭП.

*Третий этап.* Инвестор разрабатывает обоснование инвестиций в строительство. Материалы обоснования инвестиций подготавливаются на основании полученной информации и результатов предынвестиционных проработок.

Учитываются затраты на сооружения СЭС, которые, в свою очередь, зависят от решения вопросов по БУР и 5УР на предыдущих этапах. Значения электрических нагрузок обуславливают выбор элементов проектируемой СЭС. От правильной оценки ожидаемых нагрузок зависят инвестиционные затраты, расход цветного металла, потери электроэнергии и эксплуатационные расходы.

*Четвертый этап.* Разрабатывается проектная документация для строительства в составе технико-экономического обоснования (проекта или утверждаемой части рабочего проекта) строительства. Производится согласование, экспертиза и утверждение проектной документации.

Электрическая нагрузка характеризует потребление электроэнергии отдельными электроприемниками, группой электроприемников в цехе, цехами и предприятием в целом. При проектировании основными нагрузками являются: активная, реактивная и полная мощность.

*Пятый этап.* Разрабатывается рабочая документация для строительства.

Электрические расчетные нагрузки СЭС определяют: выбор числа и мощности силовых трансформаторов; мощность и места подключения компенсирующих устройств; условия выбора и проверки токоведущих элементов по условию допустимого нагрева; расчет потерь напряжения; проектирование средств защиты. Под *расчетной нагрузкой* понимают наибольшее значение мощности элементов СЭС, усредненное на интервале времени, за которое температура этих элементов достигает установившегося значения. Для графиков нагрузки, длительность цикла которых не превосходит трех постоянных времени нагрева элемента СЭС, расчетная мощность может быть принята равной *эффективной среднеквадратичной нагрузке*.

*Шестой этап.* Реализация инвестиционного проекта – возведение (строительство, комплектация, монтаж) объекта.

*Седьмой этап.* Эксплуатация объекта. Проектное сопровождение объекта должно решать задачи разработки проектов ин-

вестиционного ремонта, технического перевооружения, модернизации, реконструкции.

*Восьмой этап.* Подготовка проекта ликвидации, утилизации, перепрофилировании объекта, либо подготовка проекта строительства на этой площадке нового предприятия. В этом случае организация проектирования начинается с первого этапа.

В соответствии с указанным порядком проектного обеспечения строительства этапы с первого по третий инвестиционно-го процесса относятся к предынвестиционным (предпроектным) работам, этапы четвертый и пятый составляют собственно проектирование.

Удобно показать соответствие этапов проектирования определению электрических нагрузок и параметров электропотребления по уровням СЭС в виде табл. 2.1, в которой исключены этапы сооружения, эксплуатации и ликвидации объекта [16].

Таблица 2.1-Разработка (проектирование) уровня СЭС на соответствующем этапе инвестиционного проектирования

Наименование этапа	Уровень СЭС по рис. 1.1					
	1УР	2УР	3УР	4УР	5УР	6УР
<i>1 этап.</i> Определение места размещения объекта	-	-	-	-	-	+
<i>2 этап.</i> Технические условия на присоединение объекта к инженерным сетям	-	-	-	-	+	+
<i>3 этап.</i> Обоснования инвестиций в строительство	-	-	-	-	+	+
<i>4 этап.</i> Разрабатывается проектная документация в составе ТЭО, проекта	-	-	+	+	+	+
<i>5 этап.</i> Разрабатывается рабочая документация	+	+	+	+	+	-

На предынвестиционных стадиях в связи с отсутствием достаточной информации возникают проблемы определения расчетных нагрузок и параметров электропотребления. Применение нормативных методов расчета электрических нагрузок становится возможным только на стадии разработки рабочей документации, когда известен конкретный состав электроприемников 1УР и 2УР СЭС и уточняются решения по 3УР. На этапе технического проекта проектные решения, начиная с 3УР и выше, приходится принимать, не имея точной информации о перечне электроприемников; при этом доступно только описание технологического процесса с известной организационной структурой

производства (цеха, переделы, отделения, участки). На более ранних стадиях проектирования информации для принятия решения по БУР–4УР еще меньше – известно только укрупненное описание технологического процесса и объемы выпуска продукции.

В этом случае целесообразно использование данных об объектах-аналогах, существующих в отрасли, на основе: статистических методов регрессионного и кластерного анализа, распознавания образов, ценозологического подхода к анализу структуры системы электроснабжения [16, 22].

На четвертом этапе проектирования утвержденное ТЭО служит основанием для разработки рабочей документации и рабочих чертежей, которые выполняются электротехническими отделами проектных фирм (институтов). Структура выполнения рабочей документации основных заданий включает выдачу основного технологического задания, дополняемого впоследствии заданиями смежников, которые определяют специфику объекта. Последовательность работ проводится по разделам электроснабжения, силового электрооборудования и освещения, охватывая выполнение следующих заданий [22].

### **Электроснабжение**

1. Предварительное определение годового расхода электроэнергии и максимальных нагрузок по производствам.
2. Выбор напряжений питающей и распределительной сетей.
3. Определение распределения нагрузок по подстанциям.
4. Выбор местоположения источников питания системы электроснабжения, способов канализации электроэнергии, трасс, ограничений.
5. Расчет электрических нагрузок по ТП.
6. Расчет электрических нагрузок по РП, формирование схем РП, решение вопроса о необходимости промежуточных силовых трансформаций.
7. Расчет электрических нагрузок по предприятию, выбор количества и мощности трансформаторов ГПП, выбор количества ГПП.
8. Определение координат местоположения РП и ГПП на генплане.
9. Формирование схемы электрической сети.
10. Определение длин и выбор сечений кабелей.
11. Предварительный расчет токов КЗ.
12. Выбор токоограничивающих реакторов на вводе ГПП или РП.

13. Расчет остаточных напряжений в точках схемы при пуске электродвигателей.

14. Выбор пусковых реакторов по схемным условиям электрической сети отдельного электроприемника (двигателя или механизма).

15. Выбор марок кабелей, корректировка сечений кабелей по условию термической устойчивости.

16. Окончательный расчет токов КЗ.

17. Выбор основного оборудования СЭС.

18. Расчет самозапуска двигателей.

19. Расчет уровней напряжения в точках схемы при самозапуске.

20. Расчет уровней напряжения в точках схемы в нормальном, аварийном и послеаварийном режимах работы системы электроснабжения.

21. Определение границ действия устройств *регулирования под нагрузкой* (РПН) трансформаторов ГПП.

22. Определение показателей качества электроэнергии.

23. Разработка мероприятий по доведению показателей качества электроэнергии до нормируемых значений.

24. Предварительный расчет потерь мощности и электроэнергии в сетях предприятия.

25. Выбор средств и мест расположения компенсирующих устройств.

26. Окончательный расчет электрических нагрузок.

27. Расчет потерь мощности в элементах сети и их стоимости.

28. Определение стоимости электрооборудования и сетей, расчет инвестиционной составляющей электротехнической части.

29. Расчет ущерба от перерыва в электроснабжении и расчет приведенных затрат с учетом ущерба.

30. Расчет надежности системы электроснабжения.

31. Вычерчивание вариантов схем электроснабжения.

32. Техничко-экономическое сравнение вариантов схем и выбор схемы электроснабжения.

33. Разработка компоновок электрических помещений.

34. Вычерчивание чертежа строительного задания.

35. Формирование заданий смежным отделам.

36. Вычерчивание схемы электроснабжения принятого при сравнении варианта.

37. Расчет однофазного тока короткого замыкания на землю и выбор способа заземления нейтрали.

38. Выбор мощности, определение места установки и типа устройства компенсации емкостного тока на землю.

39. Расчет релейных защит сети и построение кривых селективности релейных защит.

40. Расчет параметров и выбор блоков питания оперативных цепей управления сигнализации, релейной защиты и автоматики.

41. Расчет параметров и выбор аккумуляторных батарей для питания оперативных цепей управления, сигнализации, релейной защиты и автоматики.

42. Выполнение расчетно-графической части проектов воздушных линий электропередачи.

43. Вычерчивание принципиальных и монтажных схем, питающих линий электропередачи.

44. Расчет заземляющих устройств.

45. Расчет параметров и выбор трансформаторов для собственных нужд ГПП.

46. Вычерчивание однолинейной схемы ГПП, РП, плана раскладки кабеля.

47. Выбор оптимального варианта расположения оборудования на ГПП, РП, ТП и вычерчивание чертежей установки оборудования.

48. Вычерчивание опросных листов на комплексные РУ, трансформаторы.

49. Расчет и построение молниезащиты объектов.

50. Формирование спецификаций, ведомостей, кабельных журналов.

51. Определение сметной стоимости строительства системы электроснабжения.

52. Составление пояснительной записки к проекту.

### ***Силовое электрооборудование и освещение***

1. Предварительный расчет электрических нагрузок.

2. Формирование вариантов расположения, количества и мощности *комплектной трансформаторной подстанции (КТП)*, щитов и шкафов низкого напряжения, способов канализации электроэнергии.

3. Техничко-экономическое сравнение вариантов электро-снабжения напряжением до 1 кВ.

4. Расчет надежности сети.

5. Выбор схемы питающей сети.

6. Выбор схемы распределительной сети.
7. Окончательный расчет электрических нагрузок.
8. Выбор типа КТП и заполнение опросного листа.
9. Расчет и выбор вариантов расположения компенсирующих устройств.
10. Выбор типа конденсаторных батарей.
11. Расчет показателей качества электроэнергии.
12. Расчет троллеев и вычерчивание троллейных линий.
13. Расчет и выбор шинопроводов.
14. Выбор распределительных пунктов, пусковой и защитной аппаратуры, проводов и кабелей.
15. Электротехнические расчеты по оптимизации питающей сети.
16. Предварительный расчет токов КЗ.
17. Проверка оборудования, приводов, кабелей и шин.
18. Формирование кабельного журнала.
19. Вычерчивание схем питающей и распределительной сетей и окончательный расчет токов КЗ.
20. Вычерчивание плана расположения оборудования.
21. Разводка труб и кабелей.
22. Составление трубозаготовительной ведомости и кабельного журнала.
23. Расчет и вычерчивание заземляющего устройства.
24. Расчет и вычерчивание молниезащитного устройства.
25. Проверка селективности действия защиты.
26. Разработка и вычерчивание принципиальных схем управления приводами.
27. Выбор блоков управления.
28. Компоновка общего вида силовых щитов.
29. Составление таблиц технических данных.
30. Разработка и вычерчивание соединения и подключений силовых щитов.
31. Формирование ведомостей *электрооборудования* (ЭО) и материалов.
32. Формирование ведомостей строительных и электромонтажных работ.
33. Формирование спецификаций оборудования и материалов по электрооборудованию.
34. Определение сметной стоимости силового ЭО.
35. Расчет фактического показателя дискомфорта.
36. Расчет уровня освещенности.
37. Определение количества и типов светильников.

38. Расчет количества и выбор типа светильников аварийного освещения.

39. Формирование чертежа размещения светильников на плане.

40. Определение типа, количества выключателей и штепсельных розеток.

41. Деление нагрузок освещения на группы.

42. Выбор защитных аппаратов групповой сети.

43. Определение сечений проводов и жил кабелей групповой сети по потерям напряжения.

44. Выбор типа группового щитка.

45. Расчет питающей сети электроосвещения.

46. Выполнение графической части электроосвещения.

47. Определение сметной стоимости электроосвещения.

48. Составление спецификаций и ведомостей по электрическому освещению.

Главный принцип подготовки рабочей документации – для каждого единичного устанавливаемого агрегата, требующего для своей работы электрическую энергию, необходимо создать все чертежи, обеспечивающие его привязку (установку) в трехмерном пространстве, место и способ подвода электрического питания. По рабочим чертежам должны быть понятны (определимы) электрические параметры установки (напряжение, мощность, режимы), где и как она расположена (включая доступ, проходы, возможность доставки, монтажа и демонтажа), откуда и как питается, чем и как защищается, каким образом осуществляется управление и надзор за ее состоянием.

Рабочие чертежи служат основанием для составления смет, называемых «Сметы к рабочим чертежам», которые служат для непосредственной оплаты поставляемого оборудования, комплектующих, проводниковой продукции и материалов, а также для оплаты работы строителей, монтажников, наладчиков.

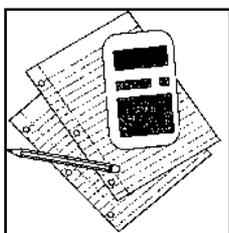
Система электроснабжения создается из готовых электродвигателей, силовых трансформаторов, выключателей, проводов, шин и кабелей. Знание конструкции электрооборудования нужно для правильного выбора и последующей эксплуатации изделия. От проектировщика требуется не конструирование нового изделия, а умение дать заключения по существующему электрооборудованию и сформулировать требования, которые улучшат функционирование систем электроснабжения. Проектирование – это итерационный процесс, связанный с большим объемом перерабатываемой информации, когда каждая итера-

ция направлена на уточнение принятых проектных решений. Наиболее эффективным является системный подход, обеспечивающий по минимальному объему исходной информации решение серии технологически связанных проектных задач.

### **Вопросы для самостоятельной подготовки**

1. Как осуществляется организация проектирования систем электроснабжения по этапам жизненного цикла?
2. Каково содержание этапов жизненного цикла проектов систем электроснабжения?
3. Какие этапы проектной деятельности относятся к прединвестиционному процессу, а какие – к собственно проектированию систем электроснабжения?
4. Как соотносятся этапы проектирования и параметры электропотребления по уровням систем электроснабжения?
5. Какие проблемы возникают на прединвестиционных стадиях при определении расчетных нагрузок и параметров электропотребления?
6. Какова последовательность проектных работ СЭС после утверждения технико-экономического обоснования?
7. Каков главный принцип подготовки рабочей документации для каждого единичного устанавливаемого агрегата?
8. Какую функцию выполняют сметы к рабочим чертежам систем электроснабжения?
9. Какой подход является наиболее эффективным при решении серии технологически связанных проектных задач.

### **2.2. Расчетные условия проектирования электрооборудования**



Электрооборудование систем электроснабжения начинает проектироваться на четвертом этапе жизненного цикла инвестиционного проекта и осуществляется в две стадии [7, 22, 28].

На *первой* *стадии* проводится предварительный выбор электрооборудования по параметрам продолжительных режимов, включая режимы допустимых перегрузок.

Выбор электрооборудования состоит в определении его типа, марки, сечения проводов и кабелей по условиям продолжитель-

ных режимов и проверке по условиям кратковременных утяжеленных режимов. Сравнение электрических аппаратов и проводников, а также другого электрооборудования производится на основе сформулированных для них расчетных условий и паспортных данных о параметрах и технико-экономических характеристиках выпускаемой номенклатуры.

Под *расчетными условиями* понимаются наиболее тяжелые, но достаточно вероятные, в которых может оказаться электрооборудование или проводник при различных режимах их работы в СЭС. **Расчетные условия** – это требования энергосистем и СЭС к параметрам электрооборудования в конкретной электрической сети.

Работа электрооборудования характеризуется четырьмя типовыми режимами: *нормальным, аварийным, послеаварийным и ремонтным*, при этом аварийный режим является *кратковременным*, а остальные – *продолжительными*.

На *второй стадии* проектирования проводится проверка предварительно выбранного электрооборудования по условиям кратковременных утяжеленных режимов, определяющим из которых является режим расчетного короткого замыкания.

По режиму КЗ электрооборудование проверяется на электродинамическую и термическую стойкость и невозгораемость, а коммутационные аппараты – на коммутационную способность и износостойкость. При этом предварительно нужно правильно определить расчетные условия КЗ и учитываемые параметры электрооборудования, выбрать метод расчета токов КЗ, оценить способы и средства ограничения токов короткого замыкания.

Аварийные режимы обычно кратковременны, но их условия могут оказаться крайне опасными для функционирования СЭС, поэтому электрооборудование обязательно проверяется по расчетным условиям аварийных режимов и в ряде случаев условия такой проверки оказываются определяющими.

Для каждого из типовых режимов характерны свои специфические расчетные условия, которые включают в себя: расчетную схему и продолжительность режима, расчетные условия окружающей среды, а также расчетные параметры режима.

*Расчетные условия нормального режима СЭС* включают: расчетную схему СЭС; расчетные условия окружающей среды (климатические условия – температура окружающей среды, ветровая нагрузка, возможность гололеда, агрессивность внешней среды, высота над уровнем моря); способ прокладки проводников (на воздухе, в земле, в воде); вид электроустановки (внут-

ренная или закрытая, наружная или открытая); исполнение электрооборудования (открытое, закрытое, защищенное); сведения о системе принудительного охлаждения; расчетные параметры режима (напряжение, ток, частота, показатели качества электроэнергии); значения расчетных перегрузок по различным параметрам режима.

В качестве *расчетных условий аварийных режимов* (КЗ различных видов, обрывы проводов, нарушение устойчивости параллельной работы и возникновение асинхронного хода частей электрической системы, сложные виды повреждений и т.п.) для выбора и проверки электрооборудования обычно устанавливается режим КЗ.

*Расчетные условия короткого замыкания* включают в себя: расчетную схему СЭС, расчетное место КЗ, расчетный вид КЗ, расчетную продолжительность КЗ.

На расчетной схеме, как правило, показываются все включенные в работу элементы СЭС. В отдельных случаях в качестве расчетной может оказаться схема, в которой тот или иной элемент отключен.

Расчетное место КЗ находится в схеме непосредственно с той стороны от выбираемого электрооборудования, в зависимости от того, какой случай КЗ определяет большее значение тока в токоведущей части сети. Расчетный вид КЗ принимается по условиям степени воздействия тока КЗ на электрооборудование. Расчетная продолжительность КЗ определяется в зависимости от назначения и цели расчета.

*Расчетные условия послеаварийного режима* включают расчетную схему электроустановки, расчетные параметры и продолжительность режима. Здесь учитывается отказ одного из основных элементов СЭС и не учитывается наложение отказов нескольких технологически жестко не связанных элементов СЭС. В отличие от ремонтного режима, который обычно заранее планируется и намечается на наиболее благоприятный для СЭС и энергосистемы период, послеаварийный режим может возникнуть в любое время года и суток, в том числе и в период наиболее напряженной работы.

Продолжительность послеаварийного режима, определяемая временем оперативных переключений в СЭС или временем аварийного ремонта, может существенно отличаться от продолжительности ремонтного режима, определяемой временем текущего или капитального ремонта.

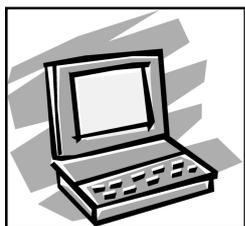
*Расчетные условия ремонтного режима СЭС* включают в себя расчетную схему электроустановки, а также расчетные параметры и продолжительность режима. При этом обычно учитывается вывод в ремонт только одного из основных элементов СЭС – источника питания, трансформатора, питающей линии. При оценке надежности работы СЭС наложение ремонтных, а также ремонтных и аварийных режимов отдельных элементов электроустановки рассматривается с учетом вероятности таких событий. Оценка допустимости работы конкретного электрооборудования при ремонтных режимах производится с учетом допустимых систематических и аварийных перегрузок этого электрооборудования.

### ***Вопросы для самостоятельной подготовки***

---

1. На каком этапе и каким образом начинается проектирование электрооборудования систем электроснабжения?
2. В чем состоит выбор электрооборудования систем электроснабжения?
3. Что понимается под расчетными условиями выбора электрооборудования систем электроснабжения?
4. Какими четырьмя типовыми режимами характеризуется работа электрооборудования СЭС?
5. Что включают расчетные условия нормального режима систем электроснабжения?
6. Что включают расчетные условия режима короткого замыкания в системе электроснабжения?
7. Что относится к расчетным условиям послеаварийного режима систем электроснабжения?
8. Чем характеризуются условия ремонтного режима систем электроснабжения?

### **2.3. Особенности инженерных расчетов в электроснабжении**



С появлением мощных вычислительных возможностей современных компьютеров в проектировании возникла неоправданная тенденция – проводить расчеты с максимальной точностью и разрабатывать для этого более сложные формулы и методы,

забывая о том, что такая точность для решения данной задачи часто совсем не нужна [6, 29].

Инженерные расчеты, в том числе и по электроснабжению, являются *приближенными*, точность которых определяется, в первую очередь, точностью исходных данных. Исходными данными расчетов могут быть номинальные паспортные данные электрооборудования или элементов электрической сети, нормативные величины и коэффициенты, данные различных измерений, эмпирические и теоретические коэффициенты, результаты предшествующих расчетов.

Точность номинальных паспортных данных электрооборудования, а также проводников, проводов, кабелей и шин определяется приведенными в справочных каталогах техническими условиями или допусками, находящимися обычно в пределах от  $\pm 2$  до  $\pm 5\%$ .

Относительно большие погрешности могут вноситься в расчет, когда в качестве исходных используют не *номинальные*, а некоторые *усредненные* данные: так, индуктивное сопротивление кабелей всех сечений напряжением 6–10 кВ часто принимают равным 0,08 мОм/м, хотя фактически эта величина находится округленно в пределах от 0,07 до 0,09 мОм/м. Погрешность, таким образом, составляет более  $\pm 12\%$ . Нормативные, опытные и другие расчетные коэффициенты задают обычно одной или двумя значащими цифрами, следовательно, они обладают погрешностью до 10%.

Таким образом, уже исходными данными в расчеты вносятся значительные погрешности и поэтому погрешность результата расчета оказывается, как правило, такой же. Это учитывается при выборе и разработке типовых методов расчета. В результате использования приближенных исходных данных и упрощенных способов расчета суммарная погрешность может находиться в пределах от  $\pm 5$  до  $\pm 10\%$ , причем не всегда удается установить и знак этой погрешности.

Цель расчета при проектировании СЭС, как правило, может заключаться в выборе стандартного электрооборудования или стандартных элементов электрической сети, в проверке выбранного оборудования на различные дополнительные условия, в определении показателей режима работы системы электроснабжения, в определении стоимости и сроков окупаемости электрооборудования.

При выборе стандартного электрооборудования или проводников необходимая точность расчета определяется следующими факторами:

а) интервалами стандартного ряда значений номинальных величин;

б) допустимой перегрузкой или другими допустимыми отклонениями от номинального режима;

в) допустимыми отклонениями номинальных величин;

г) коэффициентами запаса или коэффициентами перегрузки, заложенными в расчеты;

д) возможностями изменения параметров режимов при эксплуатации.

Номинальные значения параметров электрооборудования, выбираемого из стандартной серии, обычно представляют собой *геометрическую прогрессию* со знаменателем от 1,2 до 3. Для однозначного выбора ближайшего к результату расчета числа из этой прогрессии достаточно, чтобы погрешность расчета не превышала от  $\pm 5$  до  $\pm 30\%$ . Стандартный ряд номинальных мощностей силовых трансформаторов от 100 до 1000 кВ·А: 100, 160, 250, 400, 630, 1000 и 1600, 2500, 4000, 6300 и 10 000. Это геометрическая прогрессия со знаменателем 1,6. Следовательно, для однозначного выбора трансформатора могут использоваться расчеты с итоговой погрешностью  $\pm 12\%$ , при этом учитывается, что в случае предельной погрешности такого расчета трансформатор может выдержать перегрузку на 12% и перегрузка не выходит за пределы заложенного в расчет коэффициента запаса.

Подобные требования предъявляются и к выбору сечения проводов и жил кабелей из стандартного числового ряда 4, 6, 10, 16, 25, 35, 50, 70, 95, 120, 150, 185, 240, 300 мм<sup>2</sup>, близкого к геометрической прогрессии со знаменателем от 1,23 до 1,6. Допустимая погрешность расчета составляет  $\pm 5\%$ .

На основании приведенных решений можно заключить, что расчеты при проектировании систем электроснабжения достаточно проводить с точностью  $\pm 5\%$ , и в соответствии с этим следует записывать результаты расчетов с двумя-тремя *значащими цифрами*. Такой способ записи содержит в себе погрешность не более  $\pm 0,5\%$ . Большого числа значащих цифр записывать нет смысла, так как вероятности точности каждой из последующих цифр будут случайными. Если вычислительные средства выводят больше чисел, чем требуемые условия, то при окончательной записи результаты расчета округляются.

Подобный подход относится не только к техническим, но и к технико-экономическим расчетам.

### **Вопросы для самостоятельной подготовки**

1. Какие инженерные расчеты, в том числе и по электроснабжению, являются приближенными?
2. Чем определяется точность инженерных расчетов?
3. Какие исходные данные используются для расчетов систем электроснабжения?
4. Чем определяется точность номинальных паспортных данных электрооборудования?
5. В каких пределах в справочных каталогах технических условий находятся допуски номинальных паспортных данных электрооборудования?
6. В чем причина относительно больших погрешностей, вносимых в расчеты, какова погрешность результатов расчета?
8. Какова цель расчета при проектировании систем электроснабжения?
9. Какими факторами определяется точность расчета при выборе стандартного оборудования систем электроснабжения?
10. Чем обычно представляются номинальные значения параметров электрооборудования, выбираемого из стандартной серии?
11. Какова достаточная точность проводимых расчетов при проектировании систем электроснабжения?

### **2.4. Обеспечение надежности электроснабжения**



Свойство системы электроснабжения и ее электрооборудования сохранять во времени в установленных пределах все параметры, характеризующие способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования получило название **надежности**. Надежность СЭС определяется безотказностью, долговечностью, ремонтпригодностью, сохраняемостью входящего электрооборудования [22, 25, 38–40, 46].

**Безотказность** – непрерывное сохранение работоспособного состояния электрооборудования в течение некоторого времени или некоторой наработки.

**Долговечность** – сохранение работоспособного состояния электрооборудования до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

**Ремонтпригодность** – приспособленность электрооборудования к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов и повреждений, а также к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем проведения технического обслуживания и ремонта.

**Сохраняемость** – сохранение показателей безотказности, долговечности и ремонтпригодности электрооборудования в течение и после хранения и/или транспортирования.

Нарушение работоспособного состояния электрооборудования или СЭС называют **отказом**, например нарушение изоляции токоведущих частей, приводящие к КЗ и последующему автоматическому отключению этого элемента релейной защитой. После отказа элементов СЭС может потребоваться их наладка, ремонт, осмотр, замена защитных устройств и другие меры восстановления работоспособного состояния.

Для того чтобы обеспечить надежную работу проектируемых электроприемников (ЭП), в различных режимах необходимо правильно определить их режим и категорию.

В зависимости от длительности режимы нагрузки ЭП подразделяют на три группы:

1) *продолжительно неизменной или мало меняющейся нагрузки* – электрооборудование может работать продолжительное время без превышения температуры отдельных частей оборудования выше допустимой (электродвигатели компрессоров, насосов, вентиляторов);

2) *повторно-кратковременной нагрузки* – кратковременные рабочие периоды электрооборудования чередуются с кратковременными периодами отключения; кроме того, в этом режиме электрооборудование может работать с допустимой для него относительной продолжительностью включения неограниченное время (электродвигатели кранов, сварочные аппараты);

3) *кратковременной нагрузки* – электрооборудование может работать кратковременно, при этом период останова электрооборудования настолько длителен, что оно практически успевает охладиться до температуры окружающей среды (электродвига-

тели электроприводов вспомогательных механизмов металлорежущих станков, гидравлических затворов).

Определение *категории* электроприемника по обеспечению надежности электроснабжения производится согласно требованиям ПУЭ [25].

*Электроприемники 1 категории* – ЭП, перерыв электроснабжения которых может повлечь за собой: опасность для жизни людей, значительный ущерб народному хозяйству, повреждение дорогостоящего основного оборудования, массовый брак продукции, расстройство сложного технологического процесса, нарушение функционирования особо важных элементов коммунального хозяйства.

Из состава электроприемников 1 категории выделяется *особая группа ЭП*, бесперебойная работа которых необходима для безаварийного останова производства с целью предотвращения угрозы жизни людей, взрывов, пожаров и повреждения дорогостоящего основного оборудования.

*Электроприемники 2 категории* – ЭП, перерыв электроснабжения которых приводит к массовому недоотпуску продукции, массовым простоям рабочих, механизмов и транспорта, нарушению нормальной деятельности значительного количества городских и сельских жителей.

*Электроприемники 3 категории* – все остальные ЭП, не подходящие под определения 1 и 2 категорий.

При проектировании СЭС не следует допускать необоснованного отнесения ЭП к более высокой категории.

К электроприемникам 3 категории следует относить ЭП, работающие на склады, промежуточные накопители, выполняющие вспомогательные технологические операции, часть оборудования инженерного обеспечения здания. Перевод перечисленных электроприемников в категорию 2 приводит к необоснованному завышению не только мощностей устанавливаемых трансформаторов, но и к повышению требований к энергоснабжающей организации по обеспечению резервирования питания потребителей.

К электроприемникам 2 категории следует относить такое оборудование, без которого невозможно продолжение работы основного производства на время послеаварийного режима.

Электроприемники, отключение которых приводит к массовому недоотпуску продукции, нередко относят не к 2, а к 1 категории, объясняя это решение тем, что наносится «значительный ущерб народному хозяйству». Некоторая нечеткость форму-

лировок ПУЭ не может быть основанием для перевода ЭП крупного производства из 2 в 1 категорию. Понятие «значительный ущерб народному хозяйству» следует относить к группе производств, региону, отрасли, но не к одному предприятию.

При проектировании электроустановок имеют место случаи необоснованного отнесения систем управления некоторых производств к электроприемникам особой группы из состава ЭП 1 категории, хотя электроприемники самого производства относятся к 1 категории, что значительно повышает затраты на систему электроснабжения. При этом только некоторые информационные системы, не работающие в реальном масштабе времени, могут быть отнесены к ЭП особой группы.

Понятие «категория электроприемника по надежности электроснабжения» не следует относить к потребителю в целом, в том числе к цехам, участкам и корпусам. Это понятие правомерно только в отношении индивидуального ЭП. Для потребителя характерно лишь сочетание в различных пропорциях ЭП категорий 1, 2 и 3.

Надежность электроснабжения потребителя обеспечивается выполнением требуемой степени резервирования. Для продолжения работы основного производства в послеаварийном режиме необходима работа всех ЭП, отнесенных к 1 и 2 категориям, следовательно, питание этих ЭП должно резервироваться. Резервировать питание ЭП 3 категории не требуется. При проектировании следует для каждого потребителя определять требуемую степень резервирования, равную отношению электрической нагрузки ЭП, работа которых необходима для продолжения работы (ЭП 1 и 2 категорий), к суммарной электрической нагрузке потребителя.

Значение требуемой степени резервирования для промышленных предприятий может меняться от 1 до 0, от отсутствия ЭП 3 категории, когда должно быть обеспечено полное резервирование питания электрической нагрузки при нарушениях в системе электроснабжения, до отсутствия ЭП 1 и 2 категорий, когда резервирование питания нагрузки не требуется. Выбор элементов схемы электроснабжения, производимый, как правило, по данным послеаварийного режима, следует выполнять во всех случаях согласно требуемой степени резервирования с учетом перегрузочной способности устанавливаемого ЭО.

Надежность электроснабжения предприятия со сложным непрерывным технологическим процессом, требующим длительного времени на восстановление рабочего режима при наруше-

нии системы электроснабжения, определяется помимо требуемой степени резервирования длительностью перерыва питания при нарушениях в СЭС и ее сопоставлением с предельно допустимым временем перерыва электроснабжения, при котором возможно сохранение технологии данного производства. При невозможности обеспечения непрерывного технологического процесса необходимо осуществлять технологическое резервирование. Разработка проекта электроснабжения предприятия с непрерывным технологическим процессом должна производиться совместно с энергоснабжающей организацией, технологами и специалистами автоматики.

Основными источниками питания промышленных предприятий, как правило, являются электроустановки энергосистем (электростанции, подстанции, ЛЭП). При сооружении небольшого предприятия в районе, не имеющем связи с энергосистемой, источником питания является собственная автономная электростанция.

При централизованном электроснабжении на крупных промышленных предприятиях может предусматриваться сооружение собственного источника питания в связи с:

- значительной потребностью в паре и горячей воде для производственных целей;
- наличием на предприятии отходного топлива, газа и целесообразности его использования для электростанции;
- недостаточной мощностью энергосистемы;
- наличием повышенных требований к бесперебойности питания, когда собственный источник необходим для резервирования электроснабжения.

Электростанции, используемые в качестве собственных источников питания, должны быть электрически связаны с ближайшими электрическими сетями энергосистемы. Связь может осуществляться либо непосредственно на генеральном напряжении, либо на повышенном напряжении через трансформаторы связи. Пропускная способность линий и трансформаторов связи определяется следующими обстоятельствами:

- если вся нагрузка предприятия покрывается собственной электростанцией, то пропускная способность линий и трансформаторов связи с энергосистемой должна обеспечивать получение недостающей мощности при выходе из работы наиболее мощного генератора, а также обеспечить передачу избыточной мощности электростанции в энергосистему при всех возможных режимах;

- если мощность собственной электростанции недостаточна для покрытия всей нагрузки предприятия, то кроме соблюдения условий нормальной работы необходимо, чтобы при выходе из работы одного трансформатора связи оставшаяся мощность трансформаторов связи и генераторов собственной электростанции обеспечивала питание электроприемников 1 и 2 категорий.

Промышленное предприятие с электроприемниками 1 и 2 категорий должно обеспечиваться электроэнергией от двух независимых взаимно резервируемых источников питания. Выбор независимых источников питания осуществляет энергообеспечивающая организация, которая в технических условиях на присоединение указывает характеристики внешних источников питания.

На бесперебойность питания электроприемников при аварийном отключении одного из независимых источников питания влияет ряд факторов:

- установившееся значение напряжения на оставшемся источнике питания в послеаварийном режиме должно быть не менее  $0,9 U_{ном}$ ;

- при аварийном отключении одного из источников питания и действии релейной защиты и автоматики на оставшемся источнике питания может иметь место кратковременное снижение напряжения. Если значение провала напряжения и его длительность таковы, что вызывают отключение электроприемников на оставшемся источнике питания, то эти источники питания не могут считаться независимыми. Значение остаточного напряжения на резервирующем источнике питания при КЗ на резервируемом источнике питания должно быть не менее  $0,7 U_{ном}$ ;

- мощности независимых источников питания в послеаварийном режиме определяются исходя из требуемой степени резервирования системы электроснабжения предприятия.

Число независимых источников питания, обеспечивающих электроснабжение предприятия с электроприемниками 1 и 2 категорий, может быть принято в обоснованных случаях больше двух, например, при протяженных линиях, прокладываемых в неблагоприятных условиях, при недостаточной надежности одного из независимых источников питания.

Для электроснабжения электроприемников особой группы среди ЭП 1 категории должно предусматриваться дополнительное питание от третьего независимого источника питания. В качестве таких источников питания могут быть использованы соб-

ственные электростанции и электростанции энергосистем, в частности, шины генераторного напряжения, агрегаты бесперебойного питания и аккумуляторные батареи.

Назначение третьего независимого источника питания – обеспечить безаварийный останов производства. Завышение мощности третьего источника в целях его использования для продолжения работы производства при отключении двух основных независимых источников питания может быть допущено только при выполнении в проекте обосновывающего расчета.

Использование электростанции или ее отдельных генераторов в качестве третьего независимого источника питания для электроприемников особой группы возможно при условии принятия специальных мер, обеспечивающих сохранность этого источника при тяжелых системных авариях. К таким мерам относится применение устройства делительной автоматики на связях данного источника питания с энергосистемой и быстродействующих систем регулирования.

Схема электроснабжения электроприемников особой группы должна обеспечивать: постоянную готовность третьего независимого источника и автоматическое его включение при исчезновении напряжения на обоих основных источниках питания; перевод независимого источника в режим горячего резерва при выходе из работы одного из двух основных источников питания. В обоснованных случаях может быть допущено ручное включение третьего независимого источника питания.

Основными направлениями повышения надежности проектируемых СЭС являются:

1. Использование перегрузочной способности проектируемого электрооборудования. Для обеспечения надежного питания электроприемников при проектировании и эксплуатации систем цехового электроснабжения необходимо учитывать режимы кратковременных перегрузок электрооборудования на период от нескольких часов до нескольких суток. Эти режимы имеют место в результате повреждения или отключения электрооборудования (линий, трансформаторов, секций шин и др.) и должны предусматриваться заранее на стадиях проектирования, тогда в условиях эксплуатации надежность питания будет значительно повышена. Необходимость перегрузки электрооборудования возникает не только в послеаварийных ситуациях, но и для обеспечения возможной увеличивающейся электрической нагрузки предприятия и в частности отдельных цехов. В среднем для воздушных линий допускают перегрузку на 30–35%; для си-

ловых трансформаторов перегрузка может составлять 30–40% и более в зависимости от ее продолжительности.

2. Применение рационального резервирования в цеховых сетях за счет использования разных независимых источников питания с помощью перемычек, двойных «сквозных» магистралей. В цехах с непрерывным процессом производства применяют магистральные схемы с взаимным резервированием питания отдельных магистралей, когда можно вывести в ремонт один из трансформаторов, используя перегрузочную способность других, или обеспечить питание нескольких магистралей от одного трансформатора. Резервирование можно осуществить также за счет раздельной или параллельной работы линий и трансформаторов.

3. Применение нового, современного и модернизация действующего электрооборудования, а также его рациональная компоновка в цехах, отделениях и предприятию в целом. Правильный технически и экономически обоснованный выбор электрооборудования и схем электроснабжения осуществляется при реконструкции СЭС.

4. Использование радиальных схем питания по сравнению с магистральными обладают более высокой надежностью, но стоимость их выше стоимости магистральных схем. Радиальные схемы применяют для мощных электроприемников (компрессоров, насосов), а также в тех случаях, когда среда помещений не позволяет прокладывать шинопроводы во взрывоопасных, пожароопасных и с химически активной средой помещениях.

5. Проектирование СЭС с автоматикой и телемеханикой позволяет повысить не только надежность, но и безопасность систем электроснабжения, избежать ошибочных действий оперативного персонала. Для систем электроснабжения, питающих электроприемники, критичные к времени действия устройств *автоматического включения резерва (АВР)*, можно рекомендовать быстродействующие АВР, обеспечивающие устойчивость синхронной нагрузки.

6. Проектирование возможности самозапуска электродвигателей ответственных механизмов повышает устойчивость и надежность электроснабжения этих ЭП при кратковременных снижениях или исчезновении напряжения на источнике питания. Самозапуск этих электродвигателей необходим для обеспечения устойчивости технологических процессов непрерывных производств при аварийных ситуациях в системе электроснабжения, вызванных КЗ, отключением выключателя в цепи пита-

ния узла нагрузки и др. Двигатели, участвующие в самозапуске, при кратковременных перерывах питания от сети не отключаются.

В режиме самозапуска остаточное напряжение на шинах, от которых питаются электродвигатели, должно быть таким, чтобы вращающий момент электродвигателей был больше статического момента сопротивления механизмов. Поэтому в режиме самозапуска оставляют только двигатели ответственных механизмов. Электродвигатели, самозапуск которых недопустим по технике безопасности, отключаются защитой минимального напряжения.

7. Повышение надежности функционирования защиты и автоматики осуществляется за счет проектирования: простых схем (снижение насыщения сетей автоматической коммутационной аппаратурой, так как сами аппараты могут стать источником аварий), резервных защит, микропроцессорных устройств и систем. Опыт эксплуатации микропроцессорных устройств различного назначения, накопленный за рубежом, показывает следующие их преимущества перед традиционными устройствами: значительно меньшие трудозатраты на техобслуживание; лучшие показатели надежности; лучшие параметры срабатывания измерительных органов защиты и автоматики; меньшее потребление по цепям постоянного и переменного оперативного тока; повышенная надежность функционирования; меньшие трудозатраты на наладку и техобслуживание за счет высокой аппаратной надежности и автоматического контроля и диагностики; меньшие габариты и др. Высокая надежность микропроцессорных устройств и систем защиты и автоматики обеспечивается на основании: резервирования аппаратных средств, функций защиты и программного обеспечения; применения отказоустойчивых структур; непрерывной диагностики аппаратных средств и программного обеспечения; хранения информации, констант и программ в энергонезависимой памяти; анализа работы защиты и автоматики, возможного благодаря получению данных о месте КЗ, характере повреждения и параметрах аварийного режима.

8. Повышение статической и динамической устойчивости в СЭС путем: использования в проектах быстродействующих устройств защиты и автоматики; применения средств повышения качества электроэнергии (рациональным пофазным распределением однофазных нагрузок, применением симметрирующих устройств, увеличения число фаз выпрямления, отдельного пита-

ния приемников электроэнергии с нелинейной и линейной вольтамперной характеристикой от разных секций шин подстанций; применения фильтров высших гармоник); использования, где это возможно, вместо асинхронных двигателей – синхронных.

9. Применение специальной защиты КРУ 6–10 кВ. Опыт эксплуатации КРУ показывает, что практически любое двухфазное КЗ внутри ячейки перерастает в трехфазное и даже может привести к повреждению соседних шкафов. Решением проблемы предупреждения взрывов и пожара шкафов КРУ является оснащение их быстродействующими дуговыми защитами на микроэлектронной и микропроцессорной элементной базе.

10. Целесообразная компоновка электрооборудования, их размещение в цехах предприятий, обоснованная прокладка проводников. Так, для обеспечения надежной работы электроустановок необходимо выполнять прокладку проводников таким образом, чтобы повреждение в цепях одного агрегата не вызвало остановки других, работающих независимо. Поэтому в одной трубе или коробе, одном замкнутом канале строительной конструкции или одном лотке запрещается прокладывать цепи разных технологических агрегатов, не связанных единым технологическим процессом. Из этих же соображений запрещается совместная прокладка взаиморезервирующих цепей, цепей аварийного и рабочего освещения.

Кабели в неметаллической оболочке можно применять в помещениях всех видов и наружных установках в металлических гибких рукавах, стальных трубах (за исключением сырых и особо сырых помещений) и в неметаллических трубах и коробах, в замкнутых каналах строительных конструкций.

11. Учет технологической специфики работы электрооборудования. Например, работа основного технологического оборудования крупных насосных и компрессорных станций обеспечивается электроприводом с установками принудительной вентиляции, маслоснабжения, охлаждения и др. Взаимодействие и надежность каждого элемента из этих систем определяет общий уровень надежности проектируемого объекта.

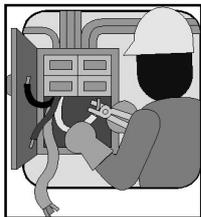
## **Вопросы для самостоятельной подготовки**

---

1. Что называется надежностью электроснабжения?
2. Чем определяется надежность электроснабжения?
3. Чем характеризуется безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость системы электроснабжения?
4. Как разделяются в зависимости от продолжительности режимы нагрузки электроприемников?
5. В чем различие между электроприемниками особой, первой, второй и третьей категории по обеспечению надежности?
6. Какими основными мероприятиями обеспечивается надежность электроснабжения потребителей?
7. Какова особенность разработки проекта электроснабжения предприятия с непрерывным технологическим процессом?
8. В чем состоит необходимость сооружения собственного источника питания для предприятия?
9. От каких обстоятельств зависит пропускная способность линий и трансформаторов?
10. Какие факторы влияют на бесперебойность питания электроприемников при аварийном отключении одного из независимых источников питания?
11. Каковы основные направления повышения надежности проектируемых СЭС?

## 2.5. Защитные меры электробезопасности

### Основные мероприятия



В процессе проектирования следует уделять особое внимание предотвращению появления отрицательного воздействия будущей системы электропитания на работающий персонал и окружающую среду. К опасным производственным факторам относят воздействия, которые в определенных условиях приводят к травме или другому внезапному резкому ухудшению состояния здоровья персонала или необратимым отрицательным воздействиям на окружающую среду. При проектировании защитных мероприятий пользуются следующей терминологией [11, 14, 17, 25].

**Безопасность системы электропитания** – свойство сохранять с некоторой вероятностью безопасное состояние при выполнении заданных функций в условиях, установленных нормативно-технической документацией.

**Безопасность** – отсутствие опасности, предупреждение опасности, следует рассматривать в трех аспектах: 1) как состояние, при котором отсутствуют факторы, опасные и вредные для людей и окружающей среды; 2) как свойство не допускать с некоторой вероятностью ситуации, опасные и вредные для людей и окружающей среды; 3) как систему мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей и окружающей среды от опасных и вредных производственных факторов.

**Электробезопасность** – система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества. Степень опасного и вредного воздействия на человека электрического тока, электрической дуги и электромагнитных полей зависит от следующих факторов:

- рода тока и величины напряжения и тока;
- частоты переменного электрического тока;
- пути протекания тока через тело человека;
- продолжительности воздействия электрического тока или электрического, магнитного или электромагнитного полей на человека;
- условий внешней природной и производственной среды;
- индивидуальных особенностей людей.

По применяемым мерам для обеспечения электробезопасности различают следующие виды электроустановок напряжением:

- 1) выше 1 кВ в сетях с эффективно заземленной нейтралью (с большими – более 500 А – токами замыкания на землю);
- 2) выше 1 кВ в сетях с изолированной нейтралью (с малыми токами замыкания на землю);
- 3) до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью;
- 4) до 1 кВ с изолированной нейтралью.

Электробезопасность обеспечивается: конструкцией электроустановок; техническими способами и средствами; организационными и техническими действиями (рис. 2.1).

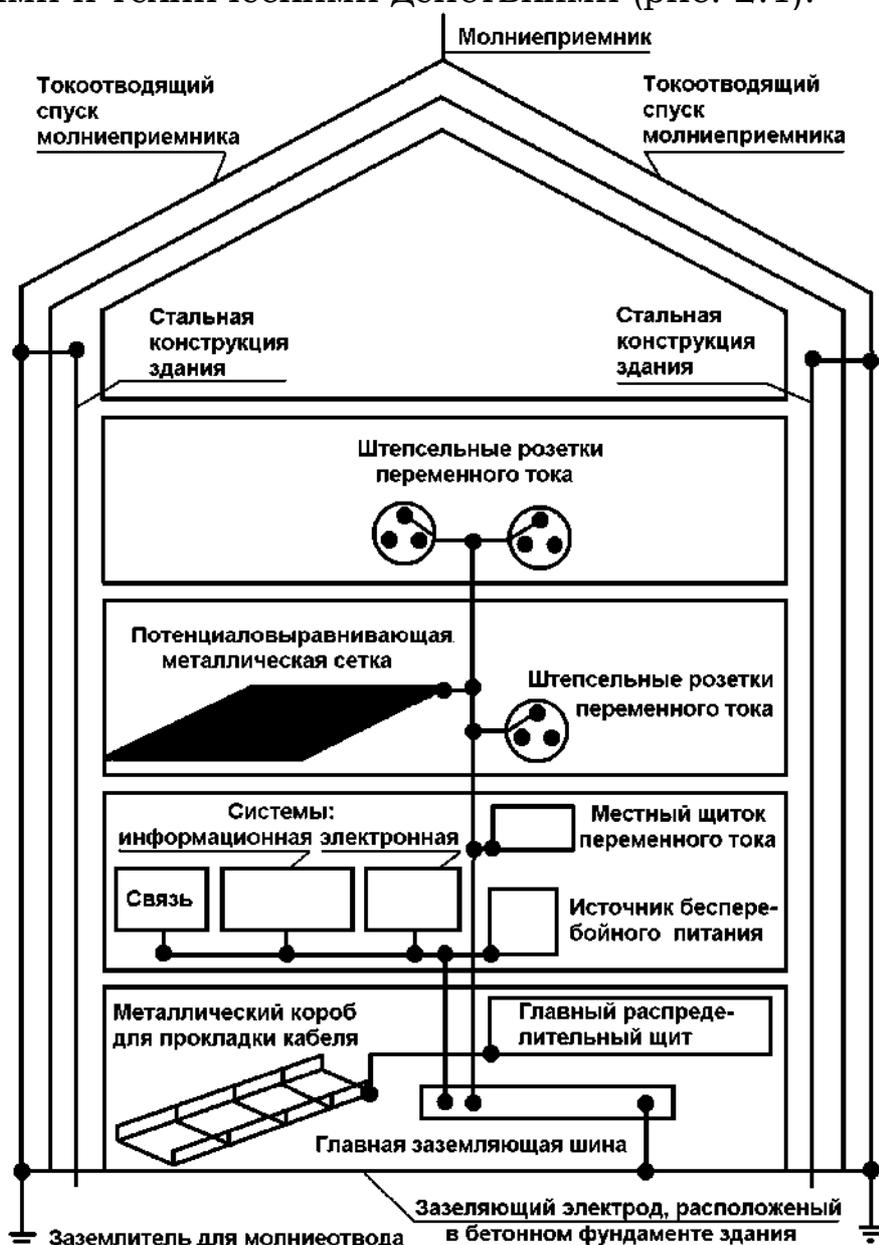


Рис. 2.1-Обеспечение электробезопасности здания

Проектируемая система электробезопасности должна обеспечить защиту персонала от поражения в двух наиболее вероятных и опасных случаях: 1) при **прямом прикосновении** к токоведущим частям электрооборудования – предотвращение прикосновения к токоведущим частям, находящимся под напряжением, или приближение к ним на расстояние менее безопасного; 2) при **косвенном прикосновении** – предотвращение прикосновения человека к открытым токоведущим частям ЭО, на которых в нормальном режиме и исправном состоянии электроустановки отсутствует электрический потенциал, но при каких-либо неисправностях, вызывающих нарушение изоляции или ее пробоя на корпус, на этих частях возможно появление опасного для жизни человека потенциала.

В современной системе электробезопасности применяется следующая терминология и аббревиатуры [11, 13, 14, 17].

**Система БСНН** – система безопасного сверхнизкого напряжения. Основная защита осуществляется путем ограничения напряжения в цепи системы БСНН до сверхнизкого значения или отделения цепей системы БСНН от всех других цепей. Дополнительная защита состоит в том, что отделение цепей системы БСНН от других цепей является защитным разделением, когда цепи системы БСНН отделены от земли. Преднамеренное присоединение открытых проводящих частей к защитному проводнику не допускается.

**Система ЗСНН** – заземленная цепь системы БСНН. Основная защита осуществляется путем ограничения напряжения в заземленной цепи до сверхнизкого значения, разделением цепи системы ЗСНН от всех других цепей. Дополнительная защита состоит в том, что разделение цепи системы от других цепей является защитным разделением. Допускается присоединение открытых проводящих частей электрооборудования к защитному или заземляющему проводнику, если это предусматривается соответствующим стандартом на изделие.

**Система ФСНН** – функциональная система безопасного сверхнизкого напряжения. Применяется в случаях, когда по условиям эксплуатации (функционирования) для питания электроустановки используется напряжение, не превышающее 50 В (42 В по ПУЭ) переменного тока (действующее значение) или 120 В (110 В по ПУЭ) постоянного (выпрямленного) тока, и нет необходимости или возможности применения систем БСНН и ЗСНН.

Защита от прямого прикосновения должна быть обеспечена ограждениями и оболочками или изоляцией, соответствующей

минимальному испытательному напряжению, требуемому для первичной цепи. Если изоляция не выдерживает указанное напряжение, она должна быть усилена в процессе монтажа оборудования так, чтобы выдерживать испытательное напряжение 1,5 кВ действующего значения переменного тока в течение 1 мин.

*Защита от косвенного прикосновения* должна быть обеспечена соединением открытых проводящих частей оборудования в цепи системы ФСНН с защитным проводником первичной цепи при условии, что используемый проводник защищен при помощи автоматического отключения питания. Соединение открытых проводящих частей оборудования в цепи системы ФСНН с проводником незаземленной системы уравнивает потенциалы первичной цепи, для которой защита осуществляется электрическим разделением.

В проектах СЭС необходимо осуществить применение конструктивных и технических методов и средств повышения безопасности труда, используя три основные группы мероприятий.

**1. Обеспечение недоступности для персонала токоведущих частей электрооборудования** с помощью:

- соблюдения соответствующих расстояний до токоведущих частей или путем закрытия, ограждения токоведущих частей;
- применения блокировки аппаратов и ограждающих устройств для предотвращения ошибочных операций и доступа к токоведущим частям;
- применения надлежащей изоляции, а в отдельных случаях – повышенной;
- применения двойной изоляции.

**2. Снижение возможного значения тока через тело человека до безопасного значения** путем:

- заземления или зануления корпусов электрооборудования и элементов электроустановок, которые могут оказаться под напряжением вследствие повреждения изоляции;
- выравнивания потенциалов;
- применения разделительных (безопасных разделяющих [11, 14]) трансформаторов;
- применения напряжений до 42 В переменного тока частотой 50 Гц и до 110 В постоянного тока;
- компенсации емкостных токов замыкания на землю;
- применения устройств, снижающих напряженность электрических полей;
- устройств молниезащиты.

**3. Ограничение времени воздействия электрического тока на организм человека** использованием надежного и быстрогодействующего автоматического отключения частей электрооборудования, случайно оказавшихся под напряжением и поврежденных участков сети, в том числе защитного отключения.

Во всех случаях необходимо использование предупреждающей сигнализации, надписей и плакатов.

Кроме того, при проектировании электроустановок необходимо учитывать следующие факторы, обеспечивающие: защиту людей, домашних животных, окружающей среды и имущества от опасностей; защиту людей от воздействия на них опасных факторов пожара; работоспособность и ремонтпригодность электроустановок в условиях эксплуатации.

Характеристики защитного оборудования должны определяться, исходя из его функции, которая может являться защитной от: сверхтока, вызванного перегрузкой или коротким замыканием; тока замыкания на землю; перенапряжения; пониженного напряжения или отсутствия напряжения.

Защитные устройства должны срабатывать при значениях тока, напряжения и времени, которые зависят от характеристики цепей и вероятности опасности.

Если в случае повреждения изоляции возникает необходимость немедленного отключения питания, то предусматривают устройства отключения, которые должны устанавливаться таким образом, чтобы они были легко различимыми и срабатывали быстро и эффективно.

Устройства отключения должны предусматриваться для возможности отключения электроустановки, цепей или индивидуальных аппаратов в целях эксплуатации, опробования, отыскания повреждений или ремонта.

Электроустановка должна располагаться таким образом, чтобы избежать взаимного вредного влияния электроустановок и неэлектрических установок зданий.

Электрооборудование должно устанавливаться таким образом, чтобы обеспечить, в случае необходимости: достаточное пространство для начальной установки и последующей замены отдельных элементов электрооборудования; доступ для его технического обслуживания, осмотра, ремонта и испытаний.

Требования пожаровзрывобезопасности устанавливают, исходя из: значения вероятности возникновения пожара в электрооборудовании и/или электронных изделиях, применяемых в электроустановках систем электроснабжения; значений показа-

телей пожаровзрывоопасности веществ и материалов, применяемых в данном технологическом процессе с использованием электроустановок зданий.

### **Заземление и зануление**

Заземление электроустановок осуществляется преднамеренным электрическим соединением с заземляющим устройством, которое представляет собой совокупность заземлителя и заземляющих проводников. **Заземлитель** – проводник или совокупность металлических соединенных между собой проводников, находящихся в соприкосновении с землей. **Заземляющим проводником** называется проводник, соединяющий заземляемые части заземлителя.

Различают следующие виды заземлений: *защитное* – для обеспечения электробезопасности; *рабочее* – для обеспечения нормальных режимов работы установки; *молниезащитное* – для защиты электрооборудования от перенапряжений и молниезащиты зданий и сооружений. В большинстве случаев одно и то же заземление выполняет несколько функций одновременно.

**Занулением** в электроустановках напряжением до 1 кВ называется преднамеренное соединение части электроустановок, нормально не находящихся под напряжением, с заземленной нейтралью генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока, с заземленной средней точкой в сетях постоянного тока.

**Нулевым защитным проводником** (РЕ-проводником) в электроустановках напряжением до 1 кВ называется проводник, соединяющий зануляемые части: с заземленной нейтралью генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока; с заземленным выводом источника однофазного тока; с заземленной средней точкой источника постоянного тока.

**Нулевым рабочим проводником** (N-проводником) в электроустановках до 1 кВ называется проводник, используемый для питания электроприемника, соединенный с заземленной нейтралью генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока, с заземленным выводом источника однофазного тока, с заземленной средней точкой источника постоянного тока.

**PEN-проводником** называется проводник, который присоединен к заземленной нейтрали источника и одновременно выполняет функции нулевого защитного проводника (РЕ-проводника) и нулевого рабочего проводника (N-проводника).

Защитные проводники *могут быть* естественными и искусственными, изолированными и неизолированными. Для защитных проводников следует применять сталь, алюминий и в обоснованных случаях медь. Защитные проводники *должны представлять* собой непрерывную электрическую цепь на всем протяжении их использования.

В цепи защитных проводников *не должно быть* разъединяющих приспособлений и предохранителей. В цепи нулевых рабочих проводников, если они одновременно служат для зануления, допускается применение выключателей, которые одновременно с нулевыми рабочими проводниками отключают все провода, находящиеся под напряжением. Однополюсные выключатели *следует устанавливать* в фазных проводниках, а не в нулевом рабочем проводнике.

*Запрещается* использование металлических оболочек трубчатых проводов и изоляционных трубок, несущих тросов тросовой электропроводки, металлорукавов, ленточной брони и свинцовых оболочек проводов и кабелей в качестве заземляющих и нулевых защитных проводников.

*Сопротивление, которое оказывают току заземлитель и грунт, называется сопротивлением растеканию* (сопротивлением заземлителя). Сопротивление заземлителя определяется отношением напряжения на заземлителе относительно точки нулевого потенциала к току, стекающему с заземлителя в землю.

Технические характеристики заземления зависят от удельного сопротивления грунта – от его характера, температуры, содержания в нем влаги и электролитов. Геофизические изыскания верхних слоев земли показали, что электрическая структура грунта в большинстве случаев имеет вид выраженных слоев с различным сопротивлением и практически с горизонтальными границами. В горизонтальном направлении удельное сопротивление обычно изменяется незначительно. В верхнем слое до глубины около 3 м наблюдаются заметные сезонные изменения удельного сопротивления, вызываемые изменениями температуры, количества и интенсивности выпадающих осадков и другими факторами. Наибольшее сопротивление имеет место в зимнее время при промерзании грунта и в летнее время – при его высыхании. Для получения достоверных результатов измерение удельного сопротивления следует производить для всех сезонов года. Чаще их проводят в теплое время года, а увеличение со-

противления при высыхании или промерзании грунта учитывают с помощью повышающих коэффициентов.

Заземлению и занулению *подлежат* следующие части электроустановок, технологических агрегатов и конструкции:

1. *Строительные, производственные, технологические конструкции:*

- конструкции строительного и производственного назначения;

- стационарно проложенные трубопроводы всех назначений;
- металлические корпуса технологического оборудования;
- подкрановые рельсовые пути и т.п.

2. *Потенциально опасные металлические части электротехнического оборудования и изделий:*

- корпуса электрических машин, трансформаторов, аппаратов, светильников, соединителей штепсельных;

- приводы электрических аппаратов;
- вторичные обмотки измерительных трансформаторов;

- оболочки, каркасы, конструкции комплектных устройств, в том числе съемные и открывающиеся части, если на них установлено электрооборудование напряжением выше 42 В переменного тока или 110 В постоянного тока;

- оболочки и броня кабелей, проводов (включая трубчатые), в том числе кабелей напряжением 42 В переменного тока и 110 В постоянного тока, если они проложены на общих металлических конструкциях с кабелями более высокого напряжения;

- кабельные муфты, соединительные коробки и т.п.

3. *Потенциально опасные металлические опорные, ограждающие и другие конструкции, находящиеся в непосредственном соприкосновении с частями электротехнического оборудования:*

- рамы электрических машин, трансформаторов;

- основания комплектных устройств;

- станины станков, машин, механизмов;

- кабельные конструкции, лотки, короба;

- ограждения отдельных частей электроустановок;

- протяжные и ответвительные коробки, оболочки изоляционных трубок, металлорукава;

- опорные конструкции шинопроводов, струны, тросы, стальные полосы, металлические трубы электропроводок и т.п.

4. *Потенциально опасные части передвижных и переносных установок.*

*5. Потенциально опасные части движущихся частей станков, машин и механизмов.*

С целью уравнивания потенциалов в тех помещениях и наружных установках, в которых применяется заземление и зануление, строительные и производственные конструкции, стационарно проложенные трубопроводы всех назначений, металлические корпуса технологического оборудования, подкрановые и железнодорожные рельсовые пути и т.п. должны быть присоединены к сети заземления или зануления. При этом естественные контакты в сочленениях являются достаточными.

*Не подлежат* преднамеренному заземлению или занулению следующие части электроустановок, технологических агрегатов и конструкции:

1) корпуса электрооборудования, в том числе корпуса электродвигателей, установленных на заземленных (зануленных) основаниях, при условии обеспечения надежного электрического контакта с заземленными или зануленными основаниями;

2) корпуса аппаратов и электромонтажных конструкций, установленных на заземленных (зануленных) металлических конструкциях, распределительных устройствах, щитах, шкафах, щитках, станинах станков, машин и механизмов, если они не находятся во взрывоопасных зонах и помещениях особо сырых и с химически активной средой (указанные конструкции не могут быть использованы для заземления или зануления установленного на них другого электрооборудования);

3) арматура изоляторов всех типов, оттяжки, кронштейны и осветительная арматура, установленные на деревянных конструкциях (опорах) при отсутствии на этих конструкциях заземленных или зануленных металлических оболочек кабелей, неизолированных защитных проводников и т.д., если заземление не требуется по условиям защиты от атмосферных перенапряжений;

4) металлические скобы, закрепы, отрезки труб механической защиты кабелей в местах их прохода через стены и перекрытия; отрезки стальных труб электропроводки; отрезки стальной полосы при прокладке по ним отдельных кабелей; протяжные и ответвительные коробки, а также другие имеющие длину стороны или диаметр основания не более 100 мм; подобные детали электропроводок, выполняемых кабелями или изолированными проводами, прокладываемыми по стенам, перекрытиям и другим элементам строений;

5) съемные и открывающиеся части металлических оболочек, каркасов, конструкций комплектных устройств и т.п., если они не расположены во взрывоопасных зонах, на этих частях не установлено электрооборудование или напряжение установленного оборудования не превышает 42 В переменного тока или 110 В постоянного тока;

б) корпуса электроприемников с двойной изоляцией.

Для устройства заземлений в установках переменного тока *следует* в первую очередь использовать **естественные заземлители**, которыми называют находящиеся в соприкосновении с землей электропроводящие части коммуникаций, зданий и сооружений производственного или иного назначения, используемые для целей заземления.

В качестве естественных заземлителей используют:

- железобетонные фундаменты зданий, в том числе имеющие защитные гидроизоляционные покрытия в неагрессивных и слабоагрессивных средах;

- железобетонные фундаменты технологических, кабельных, совмещенных эстакад в неагрессивных и слабоагрессивных грунтах;

- кабельные тоннели из сборного железобетона при условии установки в них закладных деталей, приваренных к арматуре тоннеля, и последующего соединения закладных деталей стальными перемычками;

- рельсы электрифицированных железных дорог на станциях и перегонах, а также рельсы подъездных путей тяговых подстанций переменного тока;

- рельсы кранового пути при установке крана на открытом воздухе;

- обсадные трубы скважин;

- заземлители опор воздушных линий электропередачи, соединенные с заземляющим устройством электроустановки при помощи грозозащитного троса линии, если трос не изолирован от опор линии;

- заземлители повторных заземлений нулевых проводников воздушных линий напряжением до 1 кВ в случае использования не менее двух воздушных линий;

- металлические шпунты гидротехнических сооружений, водоводы, затворы и т.п.;

- проложенные в земле металлические трубопроводы, кроме трубопроводов канализации и центрального отопления, чугун-

ных трубопроводов и временных трубопроводов строительных площадок;

- свинцовые оболочки кабелей, проложенных в земле. Оболочки кабелей могут служить единственными заземлителями при числе кабелей не менее двух.

Рациональное использование естественных заземлителей упрощает и удешевляет сооружение заземляющих устройств. Если естественные заземлители обеспечивают соответствие нормам электрических характеристик заземлителя, то искусственные заземлители следует применять лишь при необходимости уменьшения токов, протекающих по естественным заземлителям или стекающих с них в землю. Для снижения затрат на заземляющие устройства в ряде случаев можно ограничиться использованием только естественных заземлителей.

При невозможности использования естественных заземлителей, а также в случаях, когда токовые нагрузки на естественные заземлители превышают допустимые или естественные заземлители не обеспечивают безопасных значений напряжения прикосновения, в дополнение к естественным заземлителям необходимо сооружать *искусственные стальные вертикальные и горизонтальные заземлители*. Длина вертикальных электродов определяется проектом, но не должна быть менее 1 м; верхний конец вертикальных заземлителей должен быть заглублен. Горизонтальные заземлители используют для связи вертикальных заземлителей или в качестве самостоятельных заземлителей. Глубина прокладки горизонтальных заземлителей составляет не менее 0,5–0,7 м. Меньшая глубина прокладки допускается в местах их присоединений к оборудованию, при вводе в здания, при пересечении с подземными сооружениями и в зонах многолетнемерзлых и скальных грунтов.

Искусственные заземлители *не должны* иметь окраски. В случае повышенной коррозионной опасности *необходимы следующие мероприятия* или их сочетания: использование стали круглого сечения; применение оцинкованных заземлителей; заполнение траншеи влажной утрамбованной глиной; увеличение сечения заземлителя; применение электротехнической защиты.

При сооружении искусственных заземлителей в зонах с большим удельным сопротивлением земли и в районах многолетнемерзлых пород (см. ниже) необходимы следующие мероприятия:

- 1) установка вертикальных заземлителей увеличенной длины, если с глубиной удельное сопротивление грунта снижается, а есте-

ственные углубленные заземлители, например скважины с металлическими обсадными трубами, отсутствуют;

2) установка выносных заземлителей, если вблизи от электроустановок есть участки с меньшим удельным сопротивлением грунта;

3) укладка в траншеи вокруг горизонтальных заземлителей в скальных грунтах влажного глинистого грунта или другого электропроводящего материала с последующей трамбовкой и засыпкой обратным грунтом до верха траншеи;

4) применение искусственной обработки грунта с целью снижения его удельного сопротивления, если другие способы не могут быть применены или не дают необходимого эффекта;

5) помещение заземлителей в непромерзающие водоемы и талые зоны;

6) использование обсадных труб скважин;

7) применение в дополнение к углубленным заземлителям горизонтальных заземлителей на глубине не менее 0,3 м, предназначенных для работы в летнее время при оттаивании поверхностного слоя земли;

8) создание искусственных талых зон путем покрытия грунта над заземлителем слоем торфа или другого теплоизоляционного материала на зимний период и раскрытия его на летний период, а также использование электроподогрева.

Системы заземления электрических сетей могут быть следующих типов: *TN-S*; *TN-C*; *TN-C-S*; *TT*; *IT*.

В условных обозначениях систем заземления буквы означают:

- *первая буква* – характер заземления источника питания: *T* – непосредственное присоединение хотя бы одной точки токоведущих частей источника питания к земле; *I* – все токоведущие части источника питания изолированы от земли или одна точка заземлена через большое сопротивление, разрядник, воздушный промежуток и т.д.;

- *вторая буква* – характер заземления открытых проводящих частей элементов электрической сети и электроприемников: *T* – непосредственная связь открытых проводящих частей с землей независимо от характера связи источника питания с землей; *N* – непосредственная связь открытых токоведущих частей с точкой заземления источника питания, в системах переменного тока обычно заземляется нейтраль;

- *последующие буквы* (при их наличии) – характер устройства нулевого рабочего и нулевого защитного проводников: *S* –

функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников обеспечиваются отдельными проводниками; С – функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников объединены в одном проводнике (*PEN*-проводнике).

### **Особенности проектов монтажа заземляющих устройств**

Специфика проектов регламентируется [11, 13, 14, 17, 25].

**Распределительные устройства.** При вертикальной установке фаз бетонных или деревянных реакторов должны быть заземлены фланцы опорных изоляторов нижней фазы и фланцы распорных (при наличии таковых) изоляторов верхней фазы. При горизонтальном расположении фаз реакторов заземляющие проводники следует присоединять к заземляющим болтам фланцев изоляторов каждой фазы. Заземляющие проводники не должны образовывать вокруг реакторов замкнутых контуров. У трансформаторов тока должны быть заземлены корпус, каждая закороченная (неиспользуемая вторичная) обмотка, а также все остальные вторичные обмотки, если это предусмотрено проектом. Вторичные обмотки заземляются с помощью перемычки из медного провода между одним из зажимов вторичной обмотки и заземляющим винтом на корпусе трансформатора тока. Каждая вторичная обмотка должна быть заземлена только в одной точке.

Батареи статических конденсаторов следует заземлять путем присоединения заземляющего проводника к заземляющему болту бака каждого конденсатора, а вентилярных разрядников – к заземляющим болтам основания (цоколя) каждой фазы непосредственно или через счетчик срабатываний.

У силовых трансформаторов с заземленной нейтралью вторичной обмотки напряжением до 1 кВ нейтраль должна соединяться с заземлителем отдельным проводником, присоединяемым к ближайшим металлическим частям строительных конструкций. Для этих целей в первую очередь необходимо использовать металлические и железобетонные колонны. В случае сооружения искусственных заземлителей их следует располагать по возможности ближе к трансформатору. Для ЦТП заземлитель допускается сооружать непосредственно около стены здания.

В установках с изолированной нейтралью заземление обмотки трансформатора с напряжением до 1 кВ осуществляется через пробивной предохранитель.

Для заземления корпуса силового трансформатора заземляющий проводник следует присоединить к заземляющему болту

на корпусе трансформатора. Это присоединение должно быть выполнено так, чтобы не было необходимости нарушения проводки при выкатке трансформатора. В противном случае присоединение должно быть выполнено гибким проводником на подходе к трансформатору.

В помещениях распределительных устройств, цеховых подстанций, щитов управления и защиты, в качестве магистралей заземления (зануления) следует использовать стальные и железобетонные каркасы промышленных зданий, металлические обрамления кабельных каналов, а также закладные элементы. Отдельные участки магистрали, образованной металлическим обрамлением кабельных каналов, а также закладными элементами для установки *комплектных распределительных устройств* (КРУ), щитов управления и т.п. должны быть надежно сварены. Специальные заземляющие проводники надлежит прокладывать только для соединения обрамлений каналов и закладных элементов между собой и присоединения их к заземляющему устройству.

Каждый шкаф КРУ и каждая панель защиты или управления должны быть присоединены сваркой не менее чем в двух местах к закладным деталям или обрамлениям каналов, образующих магистраль заземления (зануления). При этом сечения сварных соединений не должны быть меньше стального нулевого защитного проводника.

При использовании конструкций зданий в качестве заземляющих устройств каждый шкаф КРУ и каждая панель защиты или управления должны быть присоединены при помощи стальной полосы или прутка к стальной колонне или к закладному элементу железобетонной колонны каркаса здания.

Заземляющий проводник должен быть приварен к основным рамам дверей ограждения бетонных ячеек распределительных устройств.

Металлические конструкции открытых распределительных устройств заземляют путем приваривания заземляющего проводника к основанию (нижней части) конструкции. Отдельные звенья конструкции должны быть соединены между собой сваркой.

У масляных выключателей и приводов к ним, у опорных изоляторов, линейных выводов, проходных изоляторов, предохранителей высокого напряжения, добавочных сопротивлений, автоматических выключателей и т.п. заземляющий проводник должен быть присоединен к заземляющему болту.

Трансформаторы напряжения следует заземлять путем присоединения заземляющего проводника к заземляющему болту на кожухе (корпусе).

Нулевая точка обмотки высокого напряжения (в случаях, указанных в проекте) должна быть присоединена медным проводом к заземляющему болту на кожухе (корпусе) трансформатора. Нулевая точка или фазный провод обмотки низкого напряжения должна быть присоединена либо к заземляющему болту на кожухе (корпусе) трансформатора, либо к клеммным зажимам в соответствии с указаниями, приведенными в проекте.

Вывод нулевого рабочего проводника от нейтрали генератора или трансформатора на щит распределительного устройства должен быть выполнен при выводе фаз шинами – шиной на изоляторе, а при выводе фаз кабелем (проводом) – жилой кабеля (провода). В кабелях с алюминиевой оболочкой допускается использовать оболочку в качестве нулевого рабочего проводника вместо четвертой жилы.

Проводимость нулевого рабочего проводника, идущего от нейтрали генератора или трансформатора, должна быть не менее 50% проводимости вывода фаз.

Рабочие нулевые провода, отходящие от нулевой шины (независимо от того, установлена она на изоляторах или нет), должны иметь изоляцию, соответствующую напряжению данной сети, также если они используются одновременно как нулевые и как защитные.

**Электрические машины.** Электрические машины, установленные на металлических заземленных основаниях (корпусах станков, опорных рамах, плитах и т.п.), дополнительно заземлять не требуется.

Электрические машины, установленные на вибрирующем основании или на салазках, необходимо заземлять (занулять) с помощью гибкой перемычки между неподвижным заземляющим (нулевым защитным) проводником и корпусом электродвигателя.

Двигатель-генераторы, состоящие из машин напряжением до 1 кВ, следует заземлять путем присоединения заземляющих (нулевых защитных) проводников к заземляющим винтам статоров. У машин напряжением выше 1 кВ заземляющие проводники следует присоединять к заземляющим винтам как на статоре, так и на фундаменте плиты.

У машин, имеющих на статоре два винта (болта) заземления (турбогенераторы, гидрогенераторы, синхронные компенсато-

ры), заземляющие проводники должны подводиться к обоим винтам (болтам). Заземляющие проводники должны быть подведены также к заземляющим винтам (болтам) фундаментных плит и систем водоснабжения газоохладителей.

Съемные металлические кожухи, закрывающие токоведущие части, кроме кожуха траверсы, если он не установлен на изолированном подшипнике, должны быть электрически соединены с заземленным корпусом турбогенератора.

Внешние трубопроводы подачи и слива дистиллята, а также трубопроводы продувки коллекторов, трубопроводы обмотки статора должны быть заземлены не менее чем в двух точках.

При наличии у машин стояков подшипников, имеющих электрическую изоляцию от фундаментной плиты, заземляющие проводники должны быть проложены на расстоянии не менее 50 мм от изолированного стояка и от присоединенных к нему маслопроводов.

**Аппараты, щиты, шкафы и ящики с электрооборудованием напряжением до 1 кВ.** Присоединение стальных заземляющих проводников к корпусам аппаратов следует выполнять с помощью болтового соединения. Контактные поверхности при этом должны быть зачищены до металлического блеска и покрыты противокоррозионной смазкой, например ЦИАТИМ-201.

В шкафах, ящиках, щитах должна быть предусмотрена общая шина, к которой следует присоединять зануляемые (заземляемые) части отдельных аппаратов. К этой шине должен быть присоединен корпус шкафа, ящика, щита и т.д., а также медные проводники для зануления (заземления) проводов с металлической оболочкой, перемычки от металлических труб электропроводки и т.п. Заземляющую шину щита (шкафа, ящика) в электроустановках с изолированной нейтралью следует присоединять к магистрали заземления, а в электроустановках с заземленной нейтралью – к нулевому проводу питающей линии или к нулевой жиле питающего кабеля или магистрали зануления.

Аппараты в металлическом корпусе, установленные непосредственно на заземленном каркасе (корпусе) щита, шкафа, ящика и имеющие с ним надежный металлический контакт, не требуют дополнительного присоединения к заземляющей шине.

Корпуса аппаратов (реле, измерительные приборы), имеющие двойную изоляцию, зануления (заземления) не требуют.

Металлические дверцы щитка, шкафа, ящика, если на них отсутствует какое-либо оборудование, не требуют соединения с корпусом щитка, шкафа, ящика с помощью гибких перемычек.

Если на металлических дверцах установлено электрооборудование, требующее зануления (заземления), такие дверцы должны быть занулены (заземлены) с помощью гибких медных перемычек между дверцей и металлическим зануленным (заземленным) неподвижным каркасом щита, шкафа, ящика.

К одному заземляющему (зануляющему) болту (винту) запрещается присоединить более двух кабельных наконечников. На заземляющей (нулевой) шине должны быть предусмотрены болтовые присоединения необходимого числа заземляющих, нулевых защитных и нулевых рабочих проводников.

Не требуется преднамеренно заземлять (занулять) корпуса электрооборудования и аппаратов, установленных на заземленных (зануленных) металлических конструкциях, распределительных устройствах, щитах, шкафах, щитках, станинах станков, машин и механизмов, при условии обеспечения надежного электрического контакта с заземленными или зануленными основаниями.

**Подъемные краны.** Части кранов, подлежащие заземлению, должны быть присоединены к металлическим конструкциям крана, при этом должна быть обеспечена непрерывность электрической цепи металлических конструкций. Если электрооборудование крана установлено на его заземленных металлических конструкциях, а на опорных поверхностях предусмотрены зачищенные и не закрашенные места для обеспечения электрического контакта, то дополнительного заземления не требуется.

Рельсы кранового пути должны быть надежно соединены на стыках сваркой, приваркой перемычек соответствующего сечения, приваркой к металлическим подкрановым балкам для создания непрерывной электрической цепи, а также заземлены (занулены).

При установке крана на открытом воздухе рельсы кранового пути, кроме того, должны быть соединены между собой и заземлены не менее чем в двух разных местах, если сопротивление растеканию самих рельсов недостаточно.

При питании крана кабелем отдельная жила для заземления (зануления) должна находиться в общей оболочке с остальными жилами.

Корпус кнопочного аппарата управления крана, управляемого с пола, должен быть изготовлен либо из изоляционного материала, либо занулен (заземлен) не менее чем двумя проводниками.

В качестве одного из этих проводников может быть использован тросик, на котором подвешен кнопочный аппарат управления.

Троллейные конструкции должны быть занулены (заземлены).

Для заземления пневмоколесных кранов должны применяться заземлители в соответствии с ГОСТ 16556-81 «Заземлители для передвижных электроустановок».

**Лифты.** Металлические направляющие кабины и противовеса, а также корпуса лебедок, металлические оболочки кабелей и проводов, металлические рукава и трубы электропроводок, а также металлические конструкции, на которых установлено электрооборудование, металлические конструкции ограждения шахты и другие электропроводящие конструкции и элементы лифтов (подъемников) должны иметь надежное электрическое соединение с сетью защитного заземления или зануления.

Электрооборудование, установленное на заземленных металлоконструкциях кабины, отдельному заземлению не подлежит при условии, что места установки электрооборудования зачищены до металлического блеска и смазаны тонким слоем технической смазки, например ЦИАТИМ-201.

Для зануления (заземления) электрооборудования шахты лифта заземляющие проводники необходимо присоединить к стоякам дверей шахты, соединенным между собой полосой заземления. Стояк двери шахты верхней остановки следует соединить с заземляющим проводником машинного помещения для образования контура заземления.

В качестве дополнительного заземляющего проводника в шахте рекомендуется использовать стояки трубопровода электропроводки, соединенные между собой проводниками.

Электрооборудование машинного помещения лифтовых установок, подлежащее занулению (заземлению), необходимо присоединить к магистрали зануления (заземления) при помощи параллельных ответвлений. Ответвления представляют собой стальную полосу того же сечения, что и магистраль зануления (заземления), один конец которой приварен к магистрали, а другой – к заземляющей конструкции. Ответвления присоединяются к аппаратам при помощи болтового соединения.

Заземление (зануление) электрооборудования, установленного на кабине, а также на элементах лифтов, подверженных ударам и вибрациям, должно быть выполнено гибкими проводниками.

Для зануления (заземления) кабины лифта, имеющей электрооборудование, следует использовать одну из жил подвешенного кабеля или один из проводов токопровода, присоединенный к металлической части кабины при помощи болтового соединения. Рекомендуется использовать в качестве дополнительного заземляющего проводника экранирующие оболочки и несущие тросы кабелей токопроводов, а также стальные канаты кабины.

Металлические направляющие кабины и противовеса должны быть присоединены к сети защитного заземления (зануления) в верхней и нижней части. При этом соединение стыков направляющих должно обеспечивать непрерывность электрической цепи.

Использование металлических направляющих кабины и противовеса лифтов (подъемников) в качестве магистралей защитного заземления (зануления) запрещается.

При отсутствии электротехнических изделий в кабинах многокабинных подъемников непрерывного действия не требуется преднамеренно заземлять (занулять) эти кабины.

Магистрали защитного заземления или зануления лифтов группового управления должны быть электрически соединены между собой.

**Передвижные электроустановки и переносные электроприемники.** При питании электроприемников передвижных установок от передвижных автономных источников с изолированной нейтралью заземляющее устройство следует выполнять с соблюдением требований либо к его сопротивлению, либо к напряжению прикосновения при однофазном замыкании на корпус.

Сопротивление заземляющего устройства не должно превышать 25 Ом. При выполнении заземляющего устройства с соблюдением требований к напряжению прикосновения сопротивление не нормируется.

Для передвижных электроприемников, питающихся от стационарных или передвижных источников электроэнергии, должны обеспечиваться следующие защитные меры:

- в сетях с изолированной нейтралью – защитное заземление в сочетании с металлической связью корпусов установки и источника электроэнергии или с защитным отключением;
- в сетях с заземленной нейтралью – зануление, зануление в сочетании с повторным заземлением, защитное отключение или зануление в сочетании с защитным отключением.

Корпуса электроприемников, установленных на передвижном механизме, должны иметь надежную металлическую связь с корпусом механизма.

При изолированной нейтрали на распределительном щите источника питания должен быть предусмотрен контроль изоляции относительно корпуса источника электроэнергии (земли).

Допускается не выполнять защитное заземление электроприемников передвижных электроустановок, питающихся от автономных передвижных источников питания с изолированной нейтралью, в следующих случаях:

а) если источник электроэнергии и электроприемники расположены непосредственно на передвижной установке, их корпуса соединены металлической связью, а источник не питает другие электроустановки. Допускается не выполнять электрическую связь корпусов источника электроэнергии и передвижной установки если как источник, так и установка имеют собственные заземляющие устройства, обеспечивающие при двойном замыкании на разные корпуса электрооборудования нормированные уровни напряжений прикосновения и длительности их воздействия;

б) если значения напряжений прикосновения при однофазном замыкании на корпус не превышают допустимых. Эти значения могут быть определены расчетом или экспериментально;

в) если сопротивление заземляющего устройства, рассчитанного по напряжению прикосновения при однофазном замыкании на корпус, выше сопротивления рабочего заземления устройства постоянного контроля сопротивления изоляции.

Для выполнения металлической связи корпуса источника питания с корпусом передвижной установки в качестве проводников могут применяться:

а) пятая жила кабеля в трехфазных сетях с нулевым рабочим проводником;

б) четвертая жила кабеля в трехфазных сетях без нулевого рабочего проводника;

в) третья жила кабеля в однофазных сетях.

Заземляющие и нулевые защитные проводники, а также проводники металлической связи корпусов оборудования должны быть медными, гибкими, как правило, находиться в общей оболочке с фазными проводниками.

В сетях с изолированной нейтралью допускается прокладка заземляющих проводников электрической связи корпусов обо-

рудования отдельно от фазных проводников. При этом их сечение должно быть не менее 2,5 мм<sup>2</sup>.

Использование временных трубопроводов в качестве естественных заземлителей запрещается.

При смене места и способа питания передвижных электроустановок необходимо проверять значения сопротивления растеканию заземлителя, к которому они присоединены, целостность заземляющих и нулевых защитных проводников и повторных заземлителей нулевого провода.

Заземление передвижных установок напряжением выше 1 кВ следует выполнять в соответствии с основным проектом. На стыках рельсов следует применять гибкие перемычки, выполненные из стального троса. Дополнительный заземлитель (естественный и искусственный) следует присоединять к рельсам отдельным проводником с помощью сварки. Гибкие перемычки для соединения в непрерывную электрическую цепь отдельных элементов подкрановых и рельсовых путей устанавливаются организациями, монтирующими эти пути.

Корпуса грузоподъемных машин, за исключением машин на гусеничном ходу, должны быть заземлены при помощи переносных заземлителей по ГОСТ 16556-81 «Заземлители для передвижных электроустановок». При заземлении переносных или передвижных сварочных установок необходимо выполнять следующие требования:

а) питание однофазного сварочного трансформатора следует осуществлять трехжильным гибким шланговым кабелем. Третья жила кабеля должна быть присоединена к заземляющему болту (винту, шпильке) на корпусе сварочного трансформатора и к заземляющей шине питающего устройства (ящика, пункта). Питание трехфазного преобразователя следует осуществлять четырехжильным кабелем, используя для заземления четвертую жилу;

б) заземляющая шина питающего устройства должна быть соединена либо с нулевым защитным проводом питающей линии (в установках с заземленной нейтралью), либо с заземлителем (в установках с изолированной нейтралью);

в) должно быть предусмотрено заземление одного из зажимов (выводов) вторичной цепи источника сварочного тока: сварочных трансформаторов, статических преобразователей и тех двигатель-генераторных преобразователей, у которых обмотки возбуждения генераторов присоединяются к сети без разделяющих трансформаторов;

г) в электросварочных установках, в которых дуга горит между электродом и электропроводящим изделием, следует заземлять (занулять) зажим вторичной цепи источника сварочного тока, соединяемый проводником (обратным проводником) с изделием при помощи соединения этого зажима с заземляющим болтом на корпусе установки;

д) использование нулевого рабочего или фазного провода двухжильного питающего кабеля для заземления сварочного трансформатора запрещается.

Питание переносных электроприемников следует выполнять от сети напряжением не выше 380/220 В.

В зависимости от категории помещения по уровню опасности поражения людей электрическим током переносные электроприемники могут питаться либо непосредственно от сети, либо через разделяющие или понижающие трансформаторы.

Металлические корпуса переносных электроприемников выше 42 В переменного и 110 В постоянного тока в помещениях с повышенной опасностью, особо опасных и в наружных установках должны быть заземлены или занулены, за исключением электроприемников с двойной изоляцией или питающихся от разделяющих трансформаторов.

Заземление или зануление переносных электроприемников должно осуществляться специальной жилой (третья – для электроприемников однофазного и постоянного тока, четвертая – для электроприемников трехфазного тока), расположенной в одной оболочке с фазными жилами переносного провода и присоединенной к корпусу электроприемника и к специальному контакту вилки втычного соединения. Сечение этой жилы должно быть равным сечению фазных проводников. Использование для этой цели нулевого рабочего проводника, в том числе расположенного в общей оболочке, не допускается.

Жилы проводов и кабелей, используемые для заземления или зануления переносных электроприемников, должны быть медными, гибкими, сечением не менее 1,5 мм<sup>2</sup> для переносных электроприемников в промышленных установках и не менее 0,75 мм<sup>2</sup> для бытовых переносных электроприемников.

Переносные электроприемники испытательных и экспериментальных установок, перемещение которых в период их работы не предусматривается, допускается заземлять с использованием стационарных или отдельных переносных заземляющих проводников. При этом переносные заземляющие проводники

должны быть гибкими, медными, сечением не менее сечения фазных проводников.

Во втычных соединителях переносных электроприемников, удлинительных проводов и кабелей к розетке должны быть подведены проводники со стороны источника питания, а к вилке – со стороны электроприемников.

Втычные соединители должны иметь специальные контакты, к которым присоединяются заземляющие и нулевые защитные проводники.

Соединение между контактами при включении должно устанавливаться до того, как войдут в соприкосновение контакты фазных проводников. Порядок разъединения контактов при отключении должен быть обратным.

Конструкция втычных соединителей должна быть такой, чтобы была исключена возможность соединения контактов фазных проводников с контактами зануления (заземления).

Если корпус втычного соединителя выполнен из металла, он должен быть электрически соединен с контактом зануления (заземления).

Заземляющие и нулевые защитные проводники переносных проводов и кабелей должны иметь отличительный признак.

**Электроосветительные установки.** При заземлении частей электроосветительной установки в сетях с изолированной нейтралью в качестве заземляющих проводников допускается использовать трубы электропроводок, алюминиевые оболочки кабелей, металлические конструкции, заземляющие жилы кабелей, специально проложенные провода, а в сетях с заземленной нейтралью – нулевые рабочие и специально проложенные проводники.

В нулевом рабочем проводе не следует устанавливать предохранители, выключатели и другие разъединяющие устройства.

В цепи нулевых рабочих проводников, если они одновременно служат для целей зануления, допускается применять выключатели, которые одновременно с отключением нулевых рабочих проводников отключают все провода, находящиеся под напряжением.

Заземление или зануление корпусов светильников общего освещения с лампами накаливания и лампами ДРЛ, ДРИ, натриевыми и люминесцентными со встроенными внутрь светильника пускорегулирующими аппаратами необходимо осуществлять следующим образом:

1) в сетях с заземленной нейтралью: при вводе в светильник кабеля, защищенного провода, незащищенных проводов в трубе, металлорукаве или скрыто без труб – ответвлением от нулевого рабочего проводника внутри светильника; а при вводе в светильник открытых незащищенных проводов – гибким изолированным проводом, присоединяемым к заземляющему винту корпуса светильника и к нулевому рабочему проводу у ближайшей к светильнику неподвижной опоры или коробки. Эти требования распространяются также на подводку нулевого защитного проводника к нулевым защитным контактам двухполюсных штепсельных розеток, за исключением розеток, устанавливаемых в медицинских лечебных заведениях для электромедицинских аппаратов, а также в кухнях квартир, гостиниц, общежитий для электробытовых приборов, к защитным контактам которых от группового щитка должен быть проложен самостоятельный нулевой защитный проводник;

2) в сетях с изолированной нейтралью – гибким проводом, присоединенным к заземляющему винту корпуса светильника и заземляющему проводнику. При вводе в светильник открытых незащищенных проводов заземляющий провод должен быть гибким.

Зануление нескольких светильников одной группы может быть выполнено нулевым проводом, проложенным вдоль ряда светильников, который необходимо ввести без разрыва в каждый светильник или от которого нужно сделать ответвление в каждый светильник отдельным проводом, присоединяемым к нулевому проводу болтовым зажимом. Последовательное зануление группы светильников не допускается.

Светильники с вынесенными пускорегулирующими аппаратами допускается заземлять (занулять) при помощи перемычки между заземляющим винтом заземленного (зануленного) пускорегулирующего аппарата и заземляющим винтом светильника.

Металлические отражатели светильников, укрепленные на корпусах из изолирующих материалов, заземлять (занулять) не требуется.

Заземление или зануление корпусов светильника местного освещения на напряжение выше 42 В должно удовлетворять следующим требованиям:

1) если между кронштейном и корпусом светильника нет надежного электрического соединения, то оно должно быть осуществлено при помощи специально предназначенного для этой цели защитного проводника;

2) если заземляющие провода присоединяются не к корпусу светильника, а к металлической конструкции, на которой светильник установлен, то между этой конструкцией, кронштейном и корпусом светильника должно быть надежное электрическое соединение.

Заземление (зануление) корпусов переносных светильников на напряжение выше 42 В следует осуществлять посредством специальной защитной жилы гибкого кабеля, которая не должна одновременно служить для подвода рабочего тока. При подключении переносных светильников через штепсельные разъемы указанная жила должна быть присоединена к защитному контакту штепсельной вилки.

Светильники наружного освещения, установленные на железобетонных и металлических опорах, должны быть заземлены в сетях с изолированной нейтралью и занулены в сетях с заземленной нейтралью. Светильники наружного освещения, установленные на деревянных опорах, не имеющих заземляющих спусков или кабельных муфт, заземлению и занулению не подлежат.

Железобетонные и металлические опоры наружного освещения, в том числе опоры электрифицированного городского транспорта, используемые для установки светильников наружного освещения, должны быть заземлены (занулены).

**Кабельные сети.** Металлические корпуса кабельных муфт, защитных противопожарных кожухов, кабельных вводов в трансформаторы и КРУ; металлические оболочки, экраны и броня кабелей; панцирные оплетки проводов, а также металлические конструкции, по которым или в которых прокладывают кабели и провода, должны быть заземлены.

Металлические оболочки и броня кабелей должны быть соединены гибкой медной перемычкой между собой и с металлическим корпусом муфт.

Допускается для соединительных и концевых муфт использовать заземляющие перемычки в виде медной шины требуемого сечения (толщиной не более 2 мм).

Заземляющую перемычку из медной шины следует присоединять при помощи пайки. Допускается применение хомутов, однако при этом присоединение к ленточной броне и оболочке кабеля следует производить отдельными хомутами.

Сечение гибких соединительных перемычек для силовых кабелей в установках напряжением до и выше 1 кВ при отсутствии указаний в проекте должно быть не менее 6–25 мм<sup>2</sup> при сечении жилы кабеля 10–150 мм<sup>2</sup> и более.

Заземление металлических оболочек контрольных кабелей следует выполнять медными проводниками сечением не менее 4 мм<sup>2</sup>.

В сырых помещениях, туннелях и каналах места пайки необходимо покрывать антикоррозионным составом.

При переходе кабельной линии в воздушную и при отсутствии у опоры *воздушной линии* (ВЛ) заземляющего устройства кабельные (мачтовые) муфты допускается заземлять на металлическую оболочку кабеля, если оболочка кабеля на другом конце присоединена к заземляющему устройству.

Если на опорной конструкции установлены концевые муфты и комплект разрядников, то броня, металлические оболочки и экраны кабелей, а также металлические корпуса кабельных муфт должны быть присоединены к заземляющему устройству разрядников. Использование в данном случае в качестве заземляющего устройства только металлической оболочки, экрана и брони кабеля запрещается.

**Воздушные линии электропередачи напряжением до 1 кВ.** В сетях с изолированной нейтралью крюки и штыри фазных проводов, устанавливаемые на железобетонных опорах, а также металлические конструкции и арматура этих опор должны быть заземлены; сопротивление заземляющего устройства не должно превышать 50 Ом.

В сетях с заземленной нейтралью крюки и штыри фазных проводов, устанавливаемые на железобетонных опорах, а также металлические конструкции и арматура этих опор должны быть присоединены нулевым защитным проводником к нулевому рабочему проводу. Заземляющие проводники должны иметь диаметр не менее 6 мм.

Крюки и штыри фазных проводов, устанавливаемые на деревянных опорах, заземлению не подлежат, за исключением крюков и штырей на опорах, где выполнены повторные заземления нулевого провода и заземления защиты от атмосферных перенапряжений, а также во всех случаях, когда по опоре проложен неизолированный заземляющий проводник или кабель с металлической заземленной оболочкой.

В сетях с заземленной нейтралью арматура изоляторов всех типов, оттяжки, кронштейны, осветительная арматура, установленные на металлических и железобетонных опорах, должны быть присоединены к нулевому проводу. Нулевой провод должен быть заземлен у трансформатора и повторно на линии согласно принятому проекту.

Соединение с нулевым проводом необходимо производить перемычкой из голого проводника, которую следует присоединить к нулевому проводу специальными ответвительными болтовыми зажимами.

Заземляющие перемычки присоединяют к опоре болтовым зажимом, установленным непосредственно на металлической опоре или траверсе, а к железобетонной опоре – с помощью специального вывода, соединенного с арматурой опоры. Контактные соединения заземляющей перемычки должны быть предварительно зачищены, а после монтажа – покрыты слоем смазки.

Заземление опор наружного освещения с кабельным питанием необходимо производить через металлическую оболочку кабеля в сетях с изолированной нейтралью и через нулевую жилу, соединенную с оболочкой кабеля, в сетях с заземленной нейтралью.

Оттяжки металлических и железобетонных опор ВЛ, закрепленные нижним концом на высоте менее 2,5 м от земли, должны быть либо заземлены с сопротивлением заземляющего устройства не более 10 Ом, либо изолированы при помощи натяжного изолятора, рассчитанного на напряжение ВЛ и установленного на высоте не менее 2,5 м от земли.

Заземление оттяжек на деревянных опорах не требуется.

**Воздушные линии электропередачи напряжением 6–35 кВ.** На ВЛ должны быть заземлены:

- 1) опоры, имеющие грозозащитный трос или другие устройства молниезащиты;
- 2) железобетонные и металлические опоры;
- 3) опоры, на которых установлены силовые или измерительные трансформаторы, разъединители, предохранители или другие электрические аппараты.

Значения сопротивления заземляющих устройств опор должны обеспечиваться применением искусственных заземлителей, а естественная проводимость фундаментов, подземных частей опор и пасынков (приставок) при расчетах не должна учитываться.

Горизонтальные заземлители ВЛ, как правило, должны находиться на глубине не менее 0,5 м, а в пахотной земле – на глубине 1 м. В случае установки опор в скальных грунтах допускается прокладка лучевых заземлителей непосредственно под разборным слоем над скальными породами при толщине слоя не менее 0,1 м. При меньшей толщине этого слоя или в случае его отсутст-

вия рекомендуется прокладка заземлителей по поверхности скалы с заливкой их цементным раствором.

Железобетонные фундаменты опор ВЛ могут быть использованы в качестве естественных заземлителей при осуществлении металлической связи между анкерными болтами и арматурой фундамента. Наличие битумной обмазки на железобетонных опорах и фундаментах, используемых в качестве естественных заземлителей, не должно учитываться.

Для заземления железобетонных опор в качестве заземляющих проводников следует использовать все те элементы напряженной и ненапряженной продольной арматуры стоек, которые металлически соединены между собой и могут быть присоединены к заземлителю.

Оттяжки железобетонных опор следует использовать в качестве заземляющих проводников дополнительно к арматуре. При этом свободный конец тросов оттяжек должен быть присоединен к рабочей части оттяжек при помощи специального зажима.

Тросы и детали крепления изоляторов к траверсе железобетонных опор должны быть металлически соединены с заземляющим спуском или заземленной арматурой.

Каждый из заземляющих проводников опор ВЛ должен иметь сечение  $35 \text{ мм}^2$  при многопроволочных проводниках и диаметр не менее 10 мм при однопроволочных проводниках. Допускается применение стальных оцинкованных однопроволочных спусков диаметром не менее 6 мм.

На ВЛ с деревянными опорами рекомендуется болтовое соединение заземляющих проводников, на металлических и железобетонных опорах соединение заземляющих проводников может быть выполнено как сварным, так и болтовым.

**Взрывоопасные зоны.** Во взрывоопасных зонах любого класса должны быть заземлены (занулены) электроустановки при всех напряжениях переменного и постоянного тока, в том числе электрооборудование, установленное на заземленных (зануленных) металлических конструкциях, кроме электрооборудования, установленного внутри заземленных (зануленных) корпусов шкафов и пультов.

В качестве заземляющих и нулевых защитных проводников следует использовать проводники, специально предназначенные для этой цели. Использование металлических и железобетонных конструкций зданий, конструкций производственного и технологического назначения, стальных труб электропроводки, металлических оболочек кабелей и т.п. в качестве заземляющих и ну-

левых защитных проводников допускается только как дополнительное мероприятие.

В силовых и вторичных цепях во взрывоопасных зонах любого класса, а также в групповых осветительных сетях в зонах класса В-1 в качестве нулевого защитного проводника следует использовать отдельную жилу кабеля или отдельный провод, подключенный одним концом к нулевой шине РУ (полстанции, щиту, щитку, сборке и т. п.), расположенного вне взрывоопасной зоны, а другим – к заземляющему зажиму внутри вводного устройства электрооборудования; совмещение нулевого рабочего и нулевого защитного проводника не допускается.

В групповых осветительных сетях во взрывоопасных зонах любого класса, кроме В-1, отдельный нулевой защитный проводник необходимо прокладывать только на участке от светильника до ближайшей ответвительной коробки и присоединять в ней к нулевому рабочему проводнику, на остальных участках групповой сети применение отдельного проводника не требуется, и нулевой рабочий проводник может выполнять одновременно функции нулевого защитного проводника.

Нулевые защитные проводники в сетях переменного тока следует прокладывать совместно с фазными в общих оболочках, трубах, коробах, лотках, пучках.

Искробезопасные цепи (в том числе корпуса искробезопасных приборов, аппаратов, экранов кабелей и т.п.) заземлять не следует. Необходимость их заземления должна быть особо оговорена в проекте.

Во взрывоопасных зонах любого класса должно быть выполнено уравнивание потенциалов.

Во взрывоопасных зонах любого класса следует выполнять комплексное защитное устройство с целью заземления, уравнивания потенциалов и защиты от вторичных проявлений молнии, от статического электричества.

Комплексное защитное устройство должно состоять из заземлителей молниезащиты (кроме заземлителей отдельно стоящих молниеотводов для зданий и сооружений), объединенных с заземлителями электроустановок, комплексной магистрали и защитных проводников. Комплексное защитное устройство должно быть выполнено таким образом или при его эксплуатации должны быть приняты такие меры, чтобы при демонтаже любого его участка или защищаемого элемента конструкции, оборудования, трубопровода и т.п. защита остальных элементов

здания, помещения, сооружения, установки в целом не нарушалась.

Комплексная магистраль в двух или более различных местах по возможности с противоположных концов помещения или установки должна быть присоединена к заземлителю (заземлителям), а при наличии электроустановок напряжением до 1 кВ с заземленной нейтралью, кроме того, занулена.

В защищаемом помещении, здании, сооружении, установке с металлическими конструкциями, подкрановыми и рельсовыми путями, стационарно проложенными трубопроводами всех назначений, металлические и футерованные корпуса технологического и сантехнического оборудования, корпуса электрооборудования, в том числе зануленные специальным нулевым защитным проводником, должны быть присоединены к комплексной магистрали при помощи защитных проводников.

В электроустановках в сетях с изолированной нейтралью при заземлении корпусов электрооборудования присоединением к комплексной магистрали допускается прокладывать защитные проводники как в общих оболочках с фазными, так и отдельно от них.

Проходы участков комплексной магистрали и защитных проводников через ограждающие взрывоопасные зоны конструкции (стены, перегородки, перекрытия) следует выполнять в отрезках труб или в проемах. Места проходов должны быть утеплены несгораемым составом (материалом) на всю глубину прохода. Проходы заземляющих проводников сквозь фундаменты должны быть выполнены в трубах или иных жестких обрамлениях с уплотнением мест прохода.

Соединенные секции лотков, коробов, профилей, кабельных блоков и прогонов, стальных труб электропроводок, а также струны, тросы, полосы и т.п., служащие для прокладки кабелей и проводов и (или) защиты их от механических повреждений, должны образовывать непрерывную электрическую цепь и присоединяться к комплексной магистрали не менее чем в двух местах – в начале и в конце трассы; при длине этих конструкций менее 2 м допускается присоединять их к комплексной магистрали в одном месте.

На участках подвода кабелей к электрооборудованию эти конструкции, кроме того, должны быть подключены к наружному зажиму заземления электрооборудования, если между ними и электрооборудованием отсутствует надежный контакт.

Непрерывность цепи заземления (зануления) стальных водогазопроводных труб электропроводок, а также надежный контакт их с металлическими ответвительными коробками (фитингами) и металлическими вводами (нажимной муфтой, штуцером) должны обеспечиваться резьбовыми соединениями; в этом случае не следует дополнительно подсоединять фитинг (конец трубы, вводимый в электрооборудование) к его наружному болту заземления или к комплексной магистрали.

Непосредственное присоединение защитных проводников к технологическому и сантехническому оборудованию, к трубопроводам и их кожухам, а также установку шунтирующих перемычек на трубопроводах, гибких рукавах и шлангах, сливно-наливных стояках и т.п. выполняют организации, монтирующие основные конструкции и оборудование.

### **Сети с глухозаземленной нейтралью**

**Глухозаземленная нейтраль** – нейтраль трансформатора или генератора, присоединенная к заземляющему устройству непосредственно или через малое сопротивление (например, через трансформаторы тока).

При проектировании и монтаже электроустановок в сетях с глухо заземленной нейтралью особое внимание следует обращать на три основных составляющих суммарного сопротивления:

- 1) индуктивное сопротивление токам нулевой последовательности фазы обмотки трансформатора;
- 2) индуктивное сопротивление между фазным и нулевым проводниками;
- 3) суммарное сопротивление переходных контактов в цепи петли «фаза-ноль». На КТП должны применяться трансформаторы со схемой соединения обмоток при мощности до 400 кВ·А – «звезда – зигзаг», при мощности более 400 кВ·А – «треугольник – звезда с нулем» вместо схемы соединения обмоток «звезда – звезда с нулем», так как у первых индуктивное сопротивление в несколько раз меньше, чем у последнего.

Индуктивное сопротивление между фазным и нулевым проводниками в значительной степени зависит от расстояния между фазными проводами и защитным нулевым проводником, а также от других геометрических размеров и конструкции электропроводки. Нулевой защитный проводник должен быть расположен в той же металлической трубе, что и фазный при трубных электропроводах (в том же металлическом корпусе, что и фазные), при кабельных проводниках следует применять четвертую жилу кабеля. Если, например, фазные провода проложены в ме-

таллической трубе, а защитный нулевой проводник – отдельно вне трубы, то индуктивное сопротивление между фазными проводами и нулевым проводником из-за экранирования трубы будет чрезмерно большим, и поэтому при замыкании фазы на трубу ток однофазного замыкания по нулевому проводнику практически не потечет или будет значительно меньшим.

При эксплуатации в электрических сетях с глухозаземленной нейтралью особенно тщательно необходимо выполнять монтаж и следить за состоянием контактных соединений и полного сопротивления петли «фаза-ноль» всех электроприемников для обеспечения необходимой кратности тока однофазного замыкания в целях надежного его отключения защитными аппаратами.

Сопротивление заземляющих устройств, к которым присоединяют нейтрали трансформаторов и генераторов или выводы источника однофазного тока, зависит от линейного напряжения в трехфазных сетях или от напряжения источника однофазного тока, а также от удельного сопротивления земли.

При линейном напряжении 660, 380, 220 В или напряжении однофазного тока 380, 220, 127 В удельное сопротивление заземляющего устройства в течение всего срока его службы не должно превышать соответственно 2, 4 и 8 Ом. Требуемое сопротивление заземляющего устройства должно обеспечиваться с учетом использования естественных заземлителей, а также системы повторных заземлений нулевого провода ВЛ напряжением до 1 кВ. Однако в тех случаях, когда количество ВЛ не менее двух и при удельном сопротивлении земли  $\rho$  более 100 Ом·м допускается увеличивать нормы сопротивления заземляющих устройств в  $0,01\rho$  раз, но не более чем в 10 раз. Для установок напряжением выше 1 кВ в сетях с эффективно заземленной нейтралью заземляющие проводники проверяют на термическую стойкость.

В проектах следует учитывать увеличивающуюся практику применение малых напряжений (Системы СНН), которые применяют для обеспечения электробезопасности. Малые напряжения используют для питания электроприемников сравнительно небольшой мощности: переносной электроинструмент, ручные переносные лампы и другие. В производственных помещениях применяют напряжения 12, 36 и 42 В. Источниками малого напряжения могут быть батареи гальванических элементов, аккумуляторы, выпрямительные установки, преобразователи частоты и, наиболее часто, трансформаторы. Если понижающие трансформаторы не являются разделительными, то в зависимости от

режима нейтрали сети, питающей первичную обмотку, следует заземлять или занулять корпус трансформатора, а также один из выводов (одну из фаз) или нейтраль (среднюю точку) вторичной обмотки.

Для обеспечения автоматического отключения участка с однофазным замыканием заземляющие проводники следует выбирать таким образом, чтобы при замыкании на корпус или нулевой провод возникал ток короткого замыкания, превышающий: в 3 раза номинальный ток плавкой вставки ближайшего предохранителя; в 3 раза номинальный ток нерегулируемого расцепителя или уставку тока регулируемого расцепителя автоматического выключателя, имеющего обратно зависимую от тока характеристику.

При защите сетей автоматическими выключателями, имеющими только отсечку, проводимость указанных проводников должна обеспечивать ток не ниже уставки тока мгновенного срабатывания, умноженной на коэффициент, учитывающий разброс, и на коэффициент запаса 1,1. При отсутствии заводских данных для автоматических выключателей с номинальным током до 100 А кратность тока короткого замыкания относительно уставки следует принимать не менее 1,4, а с номинальным током свыше 100 А – не менее 1,25. Полная проводимость нулевого защитного проводника во всех случаях должна быть не менее 50% проводимости фазного проводника.

В последнее время получила распространение и стала обязательным для некоторых сетей с глухозаземленной нейтралью установка *устройств защитного отключения*, что является превентивным защитным мероприятием и в сочетании с современными системами заземления *TN-S*, *TN-C-S* обеспечивает высокий уровень электробезопасности.

### **Сети с эффективно заземленной нейтралью**

*Электрической сетью с эффективно заземленной нейтралью* называют трехфазную электрическую сеть напряжением выше 1 кВ, в которой коэффициент замыкания на землю не превышает 1,4 (отношение разности потенциалов между неповрежденной фазой и землей в точке замыкания на землю другой или двух других фаз к разности потенциалов между фазой и землей в этой точке до замыкания).

Заземляющие устройства в электроустановках напряжением выше 1 кВ в сетях с эффективно заземленной нейтралью следует проектировать и выполнять с соблюдением требований к их сопротивлению или к напряжению прикосновения, а также к

конструктивному выполнению и к ограничению напряжения на заземляющем устройстве. Норма сопротивления заземляющего устройства в электроустановках напряжением выше 1 кВ сети с эффективно заземленной нейтралью установлена в 0,5 Ом, включая сопротивление естественных заземлителей. С целью уменьшения возможного напряжения прикосновения путем выравнивания электрического потенциала регламентирована конструкция заземляющего устройства. На территории электроустановки должна быть заземляющая сетка, образованная электрически соединенными между собой горизонтальными продольными и поперечными заземлителями.

Продольные заземлители следует прокладывать вдоль осей электрооборудования со стороны обслуживания на глубине 0,5–0,7 м от поверхности земли и на расстоянии 0,8–1 м от фундаментов или оснований оборудования. Допускается увеличение расстояний от фундаментов или оснований оборудования до 1,5 м с прокладкой одного заземлителя для двух рядов оборудования, если стороны обслуживания обращены друг к другу, а расстояние между фундаментами двух рядов не превышает 3 м.

Поперечные заземлители нужно прокладывать в удобных местах между оборудованием на глубине 0,5–0,7 м от поверхности земли. Расстояние между соседними поперечными заземлителями рекомендуется принимать увеличивающимися от периферии к центру заземляющей сетки. При этом первое и последующие расстояния, начиная от периферии, не должны превышать соответственно 4; 5; 6; 7,5; 9; 11; 13,5; 16 и 20 м. Такие шаги поперечных заземлителей способствуют наиболее полному выравниванию электрических потенциалов в пределах территории, на которой расположена заземляющая сетка. В местах присоединения нейтралей силовых трансформаторов и короткозамыкателей к заземляющему устройству размеры сетки не должны превышать  $6 \times 6 \text{ м}^2$ .

Горизонтальные заземлители следует прокладывать по краю территории для образования замкнутого контура. Если заземляющее устройство выходит за пределы огороженной территории электроустановки, то горизонтальные заземлители, проложенные вне этой территории, следует прокладывать на глубине не менее 1 м. Внешний контур заземляющего устройства рекомендуется выполнять в виде многоугольника с тупыми или скругленными углами. Это требование направлено в первую очередь на уменьшение возможного напряжения, приложенного

к телу человека по пути нога–нога (шаговое напряжение) вблизи вершин углов контура.

В целях исключения выноса потенциала за пределы территории электроустановки запрещается питание приемников, находящихся вне территории электроустановки, от трансформаторов с заземленной нейтралью при напряжениях 380/220 В, а приемников, находящихся в пределах территории электроустановки, от трансформаторов при 220/127 В. В случае необходимости питание таких приемников должно осуществляться от трансформаторов с изолированной нейтралью.

### **Сети с изолированной нейтралью**

***Изолированная нейтраль** – нейтраль трансформатора или генератора, не присоединенная к заземляющему устройству или присоединенная к нему через приборы сигнализации, измерения, защиты, заземляющие дугогасящие реакторы и подобные им устройства, имеющие большое сопротивление.*

В электроустановках напряжением выше 1 кВ в сети с изолированной нейтралью должно быть выполнено защитное заземление, при этом рекомендуется предусматривать устройства автоматического отыскания замыкания на «землю». Защиту от замыканий на «землю» рекомендуется устанавливать с действием на отключение (по всей электрически связанной сети), если это необходимо по условиям безопасности. В сетях с изолированной нейтралью без компенсации емкостных токов сопротивление заземляющего устройства  $R_3$  при прохождении через него расчетного тока в любое время года с учетом естественных заземлителей должно удовлетворять условию:

$$R_3 = U_{расч} / I_{расч}, \quad (2.1)$$

где  $I_{расч}$  – расчетный ток через заземляющее устройство (полный ток замыкания на землю при полностью включенных присоединениях связанной сети), А;  $U_{расч}$  – расчетное напряжение на заземляющем устройстве по отношению к земле ( $U_{расч} = 125$  В, если заземляющее устройство используется для электроустановок напряжением до 1 кВ; при использовании заземляющего устройства только для электроустановок выше 1 кВ  $U_{расч} = 250$  В, но при этом  $R_3$  не должно превышать 10 Ом), В.

В качестве расчетного тока в сетях с компенсацией емкостных токов принимается: для заземляющих устройств, к которым присоединены компенсирующие аппараты, – ток, равный 125% номинального тока этих аппаратов; для заземляющих устройств,

к которым не присоединены компенсирующие аппараты, – остаточный ток замыкания на землю, проходящий в данной сети при отключении наиболее мощного из компенсирующих аппаратов или наиболее разветвленного участка сети.

В качестве расчетного тока с целью облегчения устройства заземлений допускается принимать ток плавления предохранителей или ток срабатывания релейной защиты от однофазных замыканий на землю или межфазных замыканий, если защита обеспечивает отключение замыканий на землю. Ток замыкания на землю не должен быть менее трехкратного номинального тока предохранителя или полуторакратного тока срабатывания релейной защиты.

В электрических сетях с изолированной нейтралью напряжением 6–35 кВ ток замыкания на землю зависит не только от сопротивления изоляции, но и от ее емкости, а последняя – от протяженности электрической сети и ее геометрических параметров. В процессе эксплуатации емкость электрической сети меняется лишь с изменением объема включенных под напряжение элементов сети. Снижение емкостной составляющей тока замыкания на землю в сети достигается включением параллельно с ее емкостью индуктивности.

Компенсация емкостной составляющей тока замыкания на землю осуществляется в электрических сетях напряжением выше 1 кВ. Компенсирующая (дугогасящая) катушка включается между нейтралью и землей. При настройке катушки индуктивности в резонанс емкостная и индуктивная составляющие, находящиеся в противофазе, взаимно компенсируют друг друга и ток замыкания на землю после компенсации емкостной составляющей становится меньше, чем без компенсации.

Снижение тока замыкания на землю приводит не только к уменьшению напряжения прикосновения и шага, но и способствует гашению дуги между токоведущими и заземленными частями в случае их соединения и ликвидации повреждения – замыкания на землю.

Для СЭС, питающихся от воздушных и кабельных линий электропередачи, емкостный ток замыкания на землю в амперах ориентировочно определяют по эмпирической формуле:

$$I_3 = U_{ном} (35 \cdot L_{КЛ} + L_{ВЛ}) / 350, \quad (2.2)$$

где  $U_{ном}$  – номинальное межфазное напряжение сети, кВ;  $L_{КЛ}$ ,  $L_{ВЛ}$  – соответственно длина кабельной, воздушной линий, км.

## **Молниезащита**

Здания и сооружения или их части в зависимости от назначения, интенсивности грозовой деятельности в районе местонахождения, ожидаемого количества поражений молний в год следует защищать в соответствии с категориями устройства молниезащиты и типом зоны защиты. Защита от прямых ударов молнии осуществляется с помощью молниеотводов различных типов: стержневых, тросовых, сетчатых, комбинированных. Наиболее часто применяют стержневые молниеотводы, тросовые используют в основном для защиты длинных и узких сооружений. Защитное действие молниеотвода в виде сетки, накладываемой на защищаемое сооружение, аналогично действию обычного молниеотвода.

Защитное действие молниеотвода основано на свойстве молнии поражать наиболее высокие и хорошо заземленные металлические сооружения. Благодаря этому защищаемое здание, более низкое по сравнению с молниеотводом по высоте, практически не будет поражаться молнией, если всеми своими частями оно будет входить в зону защиты молниеотвода. Зоной защиты молниеотвода считается часть пространства вокруг молниеотвода, обеспечивающая защиту зданий и сооружений от прямых ударов молнии с определенной степенью надежности.

Устройства молниезащиты – *молниеотводы* – должны включать в себя молниеприемники, непосредственно воспринимающие на себя удар молнии, токоотводы и заземлители.

*Стержневые молниеприемники* должны быть изготовлены из стали (круглой, полосовой, угловой, трубчатой) любой марки сечением не менее 100 мм<sup>2</sup>, длиной не менее 200 мм и укреплены на опоре или непосредственно на самом защищаемом здании или сооружении.

*Тросовые молниеприемники* должны быть изготовлены из стальных многопроволочных канатов сечением не менее 35 мм<sup>2</sup>.

*Токоотводы*, соединяющие молниеприемники всех видов с заземлителями, следует выполнять из стали.

*Молниеприемная сетка* должна быть выполнена из стальной проволоки диаметром не менее 6 мм, уложена на неметаллическую кровлю здания сверху или под несгораемые или трудносгораемые утеплитель или гидроизоляцию. Размер ячеек сетки должен быть не более 6×6 м. Сетка в узлах должна быть соединена сваркой.

При прокладке молниеприемной сетки и установке молниеотводов следует использовать на защищаемом объекте всюду,

где это возможно, в качестве токоотводов металлические конструкции зданий и сооружений (колонны, фермы, рамы, пожарные лестницы и т.п., а также арматуру железобетонных конструкций) при условии обеспечения непрерывной электрической связи в соединениях конструкций и арматуры с молниеприемниками и заземлителями, выполняемых, как правило, сваркой.

Конструкции токоотводов и заземлителей в устройствах молниезащиты аналогичны конструкциям заземляющих проводников и заземлителей в устройствах защитного заземления электроустановок, поэтому требования к их устройству и прокладке, а также требования к электромонтажным работам аналогичны изложенным выше.

Общая схема расчета молниезащиты включает:

- количественную оценку вероятности поражения молнией защищаемого объекта, расположенного на равнинной местности с достаточно однородными грунтовыми условиями на площадке, занятой объектом, т.е. определяется ожидаемое число поражений молнией в год защищаемого объекта;
- определение типа зоны защиты в зависимости от категории устройства молниезащиты и полученного значения ожидаемого числа поражений молнией в год защищаемого объекта;
- расчет взаимного расстояния между попарно взятыми молниеотводами и вычисления параметров зон защиты на заданной высоте от поверхности земли.

В зависимости от типа, количества и взаимного расположения молниеотводов зоны защиты могут иметь самые разнообразные геометрические формы. Оценка надежности молниезащиты на различных высотах производится проектировщиком, который в случае необходимости уточняет параметры молниезащитного устройства и решает вопрос о необходимости дальнейшего расчета.

Производственные, жилые и общественные здания и сооружения в зависимости от их конструктивных характеристик, назначения и значимости, вероятности возникновения взрыва или пожара, технологических особенностей, а также от интенсивности грозовой деятельности в районе их местонахождения подразделяют на три категории по устройству молниезащиты:

I. Производственные здания и сооружения со взрывоопасными помещениями классов В-1 и В-2 по ПУЭ (к данной категории относятся также здания электростанций и подстанций).

II. Другие здания и сооружения со взрывоопасными помещениями, не относимые к I категории.

III. Все остальные здания и сооружения, в том числе пожароопасные помещения.

Для оценки грозовой деятельности в различных районах страны используется карта распределения среднего числа грозových часов в году, на которой нанесены линии равной продолжительности гроз или данные местной метеорологической станции.

Вероятность поражения молнией какого-либо объекта зависит от интенсивности грозовой деятельности в районе его расположения, высоты и площади объекта и некоторых других факторов и количественно оценивается ожидаемым числом поражений молнией в год.

По категории устройства молниезащиты и ожидаемому числу поражений молнией в год защищаемого объекта определяют тип зоны защиты. Расчет молниезащиты зданий и сооружений заключается в определении границ зоны защиты молниеотводов, которая представляет собой пространство, защищаемое от прямых ударов молнии. Объекты, расположенные на достаточно большой территории, защищают несколькими молниеотводами (многократный молниеотвод). Для защиты длинных и узких сооружений, а также в некоторых других случаях используют одиночные тросовые молниеотводы.

### **Вопросы для самостоятельной подготовки**

---

1. Что понимается под безопасностью СЭС?
2. Что такое безопасность и электробезопасность?
3. Какие факторы определяют степень опасного и вредного воздействия на человека электрического тока?
4. Как различают виды и напряжения электроустановок по мерам обеспечения электробезопасности?
5. Чем обеспечивается электробезопасность электроустановок систем электроснабжения?
6. В каких наиболее вероятных и опасных случаях проектируемая система электробезопасности должна обеспечить защиту персонала от поражения электрическим током?
7. В чем особенности систем электробезопасности БСНН, ЗСНН, ФСНН?
8. Каковы три основных группы мероприятий, которые необходимо осуществить в проектах СЭС для повышения безопасности труда?
9. В чем состоят особенности заземления и зануления?

10. Каковы особенности нулевого *защитного* проводника, нулевого *рабочего* и PEN-проводника?

11. Какие части электроустановок и конструкций *подлежат* заземлению и занулению?

12. Какие части электроустановок и конструкций *не подлежат* заземлению и занулению?

13. Что используется в качестве естественных заземлителей?

14. Каких типов могут быть системы заземления электрических сетей?

15. Каковы особенности проектов монтажа заземлений распределительных устройств?

16. В чем состоят особенности проектов монтажа заземляющих устройств электрических машин?

17. Каковы особенности проектов монтажа заземляющих устройств аппаратов, щитов и шкафов с электрооборудованием напряжением до 1 кВ?

18. Каковы отличительные особенности проектов монтажа заземляющих устройств подъемных кранов, лифтов?

19. В чем особенности проектов монтажа заземляющих устройств передвижных электроустановок и переносных электроприемников?

20. В чем специфика проектов монтажа заземляющих устройств электроосветительных установок?

21. Каковы особенности проектов монтажа заземляющих устройств кабельных сетей, воздушных линий электропередачи напряжением до 1 кВ, 6–35 кВ?

22. В чем специфика проектов монтажа заземляющих устройств во взрывоопасных зонах?

23. Какими особенностями обладают сети с глухозаземленной нейтралью?

24. Каковы особенности сетей с эффективно заземленной нейтралью?

25. В чем особенности сетей с изолированной нейтралью?

26. Для чего и как выполняется молниезащита зданий и сооружений?

27. На каком свойстве основан принцип действия молниеотвода?

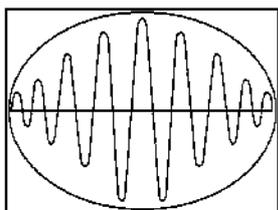
28. Какова общая схема расчета молниезащиты?

29. Как подразделяются производственные, жилые и общественные здания и сооружения в зависимости от устройства молниезащиты?

30. Как по категории устройства молниезащиты и ожидаемому числу поражений молнией в год защищаемого объекта определяют тип зоны защиты?

## 2.6. Обеспечение электромагнитной совместимости

### Основные определения



В современных СЭС все сильнее ощущается необходимость обеспечения совместной работы ЭО с различными характеристиками. Термин *электро-магнитная совместимость (ЭМС)* подчеркивает влияние электроприемников друг на друга через общую электрическую сеть – кондуктивную среду взаимодействия источников электроэнергии и электроприемников. Устанавливаемыми для этой среды характеристиками стали показатели качества электроэнергии (ПКЭ). ЭМС будет обеспечена, если уровень помехоустойчивости работающего электрооборудования выше предельно допустимых значений ПКЭ. Развитие СЭС в настоящее время имеет следующие тенденции [15]:

1. Внедрение *принципиально нового электрооборудования*, которое можно разделить на два класса – помехочувствительное и производящее помехи. К *помехочувствительному ЭО* относится электронная микропроцессорная техника, являющаяся главным элементом средств автоматики, вычислительных машин и информационных систем. К *производящему помехи ЭО* относится силовая полупроводниковая техника; мощные нелинейные, несимметричные и резкопеременные, ударные нагрузки; электроустановки с элегазовым или вакуумным коммутационным ЭО.

2. Рост мощности электрооборудования второго класса обусловил существенное увеличение уровня электромагнитных помех в СЭС промышленных предприятий и энергосистем. Эти помехи, в зависимости от их характера, интенсивности и продолжительности, неблагоприятно влияют на силовые электроустановки, системы автоматики, телемеханики, связи и релейной защиты.

3. Усиление связанности всех элементов СЭС (рис. 1.1). Искажения и помехи со стороны низшего напряжения проникают в сети среднего и высшего напряжения СЭС, сети других потребителей и влияют на работу всего ЭО.

Эти и другие обстоятельства привели к возникновению проблемы электромагнитной совместимости.

**Электромагнитной совместимостью** называется взаимное влияние электрооборудования, связанного электрической сетью. Под ЭМС понимается также способность электрооборудования противостоять электромагнитным воздействиям и не вызывать таких воздействий на другие устройства, а также нормально функционировать в образованной электромагнитной среде и электромагнитной обстановке, не внося недопустимых электромагнитных помех в электромагнитную среду и не испытывая подобных воздействий с ее стороны.

Если ЭМС не обеспечена, когда отдельные элементы СЭС не обладают необходимой помехоустойчивостью к внутренним (между элементами электрооборудования) и внешним (по отношению к ЭО) помехам, то тем самым создается ряд неблагоприятных условий.

Нарушение ЭМС приводит к таким последствиям [34]:

- повреждению средств обеспечения безопасности и защиты людей;
- возможности поражения обслуживающего персонала;
- ухудшению электромагнитной и экологической обстановки;
- ухудшению качества электроэнергии;
- функциональным нарушениям, связанным с отказами и сокращением срока службы электрооборудования, браком продукции, авариями, ложными срабатываниями защиты, автоматики и т.п.;
- ухудшению технико-экономических показателей работы всего предприятия.

Одной из причин ухудшения ЭМС являются электромагнитные помехи.

**Электромагнитная помеха (ЭМП)** – это случайное электромагнитное воздействие, способное вызывать нарушение функционирования, отказ или разрушение ЭО. ЭМП может проявляться как ток, напряжение или электромагнитное поле. Различают кондуктивные и полевые ЭМП.

К кондуктивным ЭМП относятся помехи, распространяющиеся по элементам СЭС.

Полевые ЭМП распространяются через окружающее СЭС пространство.

ЭМП создаются источниками, которыми могут быть как элементы ЭО, так и электротехнологические процессы. Например,

высоковольтная воздушная линия электропередачи, как средство, которое создает полевые ЭМП в технологическом процессе передачи электроэнергии, влияющем на линии связи. Напряженность электромагнитного поля вокруг ЛЭП характеризует электромагнитную обстановку. Преобразователи тяговой подстанции электрифицированного транспорта создают кондуктивные помехи в электрической сети, от которой они питаются. Искажения синусоидальной формы напряжения под воздействием протекающих по электрической сети высших гармоник тока характеризуют электромагнитную обстановку в этой сети.

**Электромагнитная обстановка** – совокупность электромагнитных явлений, существующих в рассматриваемой среде. Электромагнитная обстановка описывается характеристиками источников помех, параметрами их воздействия, особенностями ЭО, мероприятиями, направленными на обеспечение ЭМС, а также внешними климатическими, механическими, производственными и другими факторами, влияющими на рассматриваемые характеристики. Одной из немаловажных характеристик электромагнитной обстановки является уровень ЭМС.

**Уровень ЭМС** – это регламентированный уровень кондуктивной ЭМП, при котором осуществляется нормальное функционирование всех технических средств, являющихся как источниками помех, так и средствами, восприимчивыми к этим помехам.

С одной стороны, уровни ЭМС в СЭС гарантируют нормальное функционирование подключенного ЭО, если эти уровни не превосходят допустимых значений.

С другой стороны, электромагнитная обстановка характеризуется своими допустимыми уровнями ЭМС, которые определяют помехоустойчивость, при которой гарантируется нормальное функционирование электрооборудования. Очевидно, что уровни помехоустойчивости должны быть выше значений уровня ЭМС в СЭС.

Значение ЭМП в СЭС иногда может превысить уровень помехоустойчивости электрооборудования, что вызовет нарушение его функционирования. Такое пороговое значение называется *помеховосприимчивостью ЭО*.

Нарушение функционирования электрооборудования может быть как обратимым, так и необратимым. В первом случае после снятия нарушающего воздействия или снижения уровня ЭМП, ЭО восстановит свои функциональные возможности. Во втором случае под воздействием ЭМП происходят необратимые измене-

ния в элементах электрооборудования, в результате чего это ЭО теряет свои функциональные возможности, например при разрушении изоляции.

Кондуктивные ЭМП, как правило, подвергают электрооборудование или его элементы дополнительному нагреву из-за повышенного напряжения, токов высших гармоник, токов обратной последовательности. Дополнительный нагрев приводит к нарушению изоляции, разрушению конструктивных элементов электрооборудования и, таким образом, к необратимому нарушению функционирования. Однако отрицательный эффект от дополнительного нагрева проявляется не сразу, а в течение определенного времени. Поэтому, если воздействие ЭМП было кратковременным, то после его устранения электрооборудование может не утратить своих функциональных возможностей. Таким образом, время воздействия ЭМП также относится к характеристикам ЭМС. Например, нормально допустимые уровни электромагнитной совместимости в электрической сети СЭС могут быть превышены, но не более чем в течение 72 мин. за сутки.

***Меру электромагнитного воздействия*** СЭС на приборы, аппараты, ЭО через кондуктивные ЭМП, распространяющиеся по электрической сети, *характеризует качество электроэнергии и показатели качества электроэнергии.*

В проектировании СЭС необходимо учитывать *качество электроснабжения*, которое характеризуется двумя аспектами: *надежностью электроснабжения с точки зрения перерывов в подачи электроэнергии (см. тему 2.4) и качеством электроэнергии.*

Краткая сущность рекомендаций сформулирована в следующих положениях:

- вопросы качества электроснабжения рассматриваются не только на уровне общих требований к системам электроснабжения в стране, но и на уровне отношения конкретных потребителей с энергосистемами;
- качество электроснабжения рассматривается не только как чисто техническая проблема, но и в части коммерческих условий;
- специфической проблемой в части качества электроэнергии является то, что оно может быть ухудшено не только энергосистемами, но и СЭС потребителей.

В отечественной практике принят трехсторонний подход к решению проблем ЭМС систем электроснабжения и подключенных к ним технических средств:

1) установление *допустимой степени эмиссии* (уровня электромагнитных помех, вносимых электроприемником) ЭМП техническими средствами различного вида – ГОСТ Р 51317.3.2-99 (МЭК 61000-3-2-95) «Эмиссия гармонических составляющих тока. Технические средства с потребляемым током не более 16 А на фазу. Нормы и методы испытаний»;

2) определение допустимых уровней устойчивости этих средств к ЭМП, поступающих со стороны электрических сетей – ГОСТ Р 51317.3.3-99 (МЭК 61000-3-3-94) «Колебания напряжения и фликер, вызываемые техническими средствами с потребляемым током не более 16 А на фазу. Нормы и методы испытаний»;

3) нормирование допустимых уровней ЭМП в системах электроснабжения – ГОСТ Р 32144-2013 «Электромагнитная совместимость. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения».

### **Качество электроэнергии. Показатели качества электроэнергии**

Меру электромагнитного воздействия СЭС на электрооборудование через кондуктивные ЭМП характеризует *качество электроэнергии* (КЭ). Оно показывает особенности электромагнитной среды, в которой функционирует подключенное к ней электрооборудование.

Параметры КЭ в энергосистеме могут отличаться от параметров качества в точке присоединения потребителя. Характер производственного процесса электропотребления существенно влияет на параметры КЭ в точке присоединения, которые могут быть различными как до включения, так и после отключения потребителя.

Качество электроэнергии является составляющей ЭМС, характеризующей электромагнитную среду. Электромагнитная среда формируется как результат определенного технологического процесса производства, передачи, распределения, преобразования и потребления электроэнергии. Каждому этапу этого процесса свойственны определенные изменения, вызванные отклонениями от заданного режима, принципом действия ЭО и его состоянием, действиями обслуживающего персонала, климатическими факторами, работой средств защиты и автоматики. Так, изменения скорости вращения генераторов электростанций приводят к отклонениям частоты. Изменения режимов переда-

ваемой и потребляемой мощности приводят к отклонениям напряжения.

Электрооборудование потребителей предназначено для того, чтобы при определенных условиях эксплуатации нормально функционировать. При этом происходит взаимодействие ЭО в электромагнитной среде, в которой и проявляются его функциональные характеристики. Среда может воздействовать на ЭО агрессивно (в результате близкого от линии электропередачи разряда молнии наводится импульс тока, который распространяется по сети) или благоприятно (компенсация значительной индуктивностью ЛЭП токов короткого замыкания), соответственно ограничивая или расширяя его функциональные возможности. В свою очередь, ЭО может также воздействовать на среду. Например, тиристорные преобразователи – источник распространения высших гармоник тока. Если взаимодействие с той или другой стороны носит агрессивный характер, проявляется несовместимость среды и технических средств. Очевидно, что при несовместимости этих сторон нельзя обеспечить нормальное функционирование электрооборудования, поскольку это приведет к нарушению технических характеристик всех системных элементов. Поэтому взаимодействие должно быть сбалансировано до уровня соответствия ЭМП среды и помехоустойчивости ЭО, когда их взаимное влияние не нарушает условий, необходимых для нормального функционирования электрооборудования.

Таким образом, СЭС представляет собой ту электромагнитную среду, в которой ЭМП создаются, распространяются и воздействуют на ЭО. Поэтому СЭС характеризуют по уровню параметров КЭ в этой системе. *Параметры режима, характеризующие качество электроэнергии, называются **показателями качества электроэнергии**.*

Значения ПКЭ и их номенклатура установлены ГОСТ Р 32144-2013 [10]. Энергосистема гарантирует ЭМС с присоединенным ЭО, если его уровень помехоустойчивости выше ПКЭ в СЭС. С другой стороны, разработчики и обслуживающий персонал ЭО, зная нормативные значения ПКЭ, должны так конструировать и эксплуатировать электрооборудование, чтобы его помехоустойчивость была выше ПКЭ:

$$\forall x_i \in X_{СЭС}, x_j \in X_{ЭО} \quad X_{ЭО} > X_{СЭС}, \quad (2.3)$$

где  $x_i$  – параметры режима СЭС, ПКЭ;  $x_j$  – отдельные характеристики помехоустойчивости ЭО;  $X_{СЭС}$  – универсум ПКЭ СЭС;  $X_{ЭО}$  – универсум характеристик помехоустойчивости ЭО.

В СЭС нормальный режим работы ЭО по условию ЭМС описывают согласно [10]. Регламентируются следующие  $x_i$  параметры режима СЭС – показатели качества электроэнергии:

1. Установившееся отклонение напряжения  $\delta U_y$ .
2. Размах изменения напряжения  $\delta U_t$ .
3. Доза фликера  $P_t$ .

**Фликер** – субъективное восприятие человеком колебаний светового потока искусственных источников освещения, вызванных колебаниями напряжения в электрической сети, питающей эти источники.

**Доза фликера** – мера восприимчивости человека к воздействию фликера за установленный промежуток времени.

**Время восприятия фликера** – минимальное время для субъективного восприятия человеком фликера, вызванного колебаниями напряжения определенной формы.

4. Коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения  $K_U$ .
5. Коэффициент  $n$ -й гармонической составляющей  $K_{U(n)}$ .
6. Коэффициент несимметрии напряжения по обратной последовательности  $K_{2U}$ .
7. Коэффициент несимметрии напряжения по нулевой последовательности  $K_{0U}$ .
8. Отклонение частоты  $\Delta f$ .
9. Длительность провала напряжения  $\Delta t_n$ .

**Провал напряжения** – внезапное понижение напряжения в точке электрической сети ниже  $0,9 U_{ном}$ , за которым следует восстановление напряжения до первоначального или близкого к нему уровня через промежуток времени от десяти миллисекунд до нескольких десятков секунд.

**Длительность провала напряжения** – интервал времени между начальным моментом провала напряжения и моментом восстановления напряжения до первоначального или близкого к нему уровня.

10. Импульсное напряжение  $U_{имп}$ .

**Импульс напряжения** – резкое изменение напряжения в точке электрической сети, за которым следует восстановление напряжения до первоначального или близкого к нему уровня за промежуток времени до нескольких миллисекунд.

11. Коэффициент временного перенапряжения  $K_{перU}$ .

**Коэффициент временного перенапряжения** – величина, равная отношению максимального значения огибающей амплитудных значений напряжения за время существования временного перенапряжения к амплитуде номинального напряжения сети.

При определении значений некоторых ПКЭ используют следующие вспомогательные параметры качества электрической энергии:

а) частота повторения изменений напряжения  $F_{\delta U_t}$ .

**Частота повторения изменений напряжения** – число одиночных изменений напряжения в единицу времени;

б) интервал между изменениями напряжения  $\Delta t_{i, i+1}$ ;

в) глубина провала напряжения  $\delta U_n$ ;

г) частота появления провалов напряжения  $F_n$ .

**Частота появления провалов напряжения** – число провалов напряжения определенной глубины и длительности за определенный промежуток времени по отношению к общему числу провалов за этот же промежуток времени;

д) длительность импульса напряжения по уровню 0,5 его амплитуды  $\Delta t_{имп 0,5}$ .

**Амплитуда импульса** – максимальное мгновенное значение импульса напряжения.

**Длительность импульса** – интервал времени между начальным моментом импульса напряжения и моментом восстановления мгновенного значения напряжения до первоначального или близкого к нему уровня;

е) длительность временного перенапряжения  $\Delta t_{перU}$ .

**Временное перенапряжение** – повышение напряжения в точке электрической сети выше  $1,1U_{ном}$  продолжительностью более 10 мс, возникающее в системах электроснабжения при коммутациях или коротких замыканиях.

**Длительность временного перенапряжения** – интервал времени между начальным моментом возникновения временного перенапряжения и моментом его исчезновения.

Временные перенапряжения, например между фазой и землей, возникают при обрыве нулевого проводника в трехфазных электрических сетях напряжением до 1 кВ. Уровень таких перенапряжений при значительной несимметрии фазных нагрузок может достигать значений междуфазного напряжения, а длительность – нескольких часов.

ПКЭ, принятые в ГОСТе [10], условно разделяются на три группы. К первой группе относятся отклонения частоты и напряжения, которые связаны с особенностями технологического процесса производства и передачи электроэнергии. Ко второй группе относятся ПКЭ, характеризующие несинусоидальность формы кривой напряжения, несимметрию и колебания напряжения. Источниками искажений являются электроприемники и электрооборудование СЭС. Для координации уровней электромагнитных помех, вносимых оборудованием, необходимо применение технических и организационных мероприятий как на этапе разработки и производства, так и в процессе их эксплуатации. К третьей группе относятся ПКЭ, характеризующие случайные электромагнитные явления и переходные процессы, неразрывно связанные с технологией производства, передачей и потреблением электроэнергии: провалы напряжения, перенапряжения и импульсы напряжения, которые возникают в СЭС при коммутации ЭО, а также под воздействием атмосферных перенапряжений.

ПКЭ первых двух групп нормируются нормальным и предельным уровнями значений. ПКЭ третьей группы не нормируются, тем не менее статистическая информация о них имеет большое значение для организации эксплуатации СЭС. В пределах нормально допустимого значения ПКЭ обеспечивается обычное функционирование технических средств. В диапазоне от нормального до предельно допустимого значения ПКЭ утяжеленный режим функционирования ЭО ограничен по времени.

### **Высшие гармоники в СЭС**

В проектах современных промышленных предприятий значительное распространение получили нелинейные нагрузки: вентиляльные преобразователи, тиристорные установки дуговой и контактной электросварки, электродуговые сталеплавильные и рудотермические печи, газоразрядные лампы, силовые трансформаторы и другое ЭО. Эти нагрузки искажают напряжение и ток в сети, кривые которых становятся несинусоидальными, а иногда и непериодическими. Несинусоидальные режимы в СЭС обусловлены появлением *высших гармоник* (ВГ).

Несинусоидальные режимы неблагоприятно сказываются на работе всего ЭО, систем релейной защиты, автоматики, телемеханики и связи. Возникающий в результате воздействия ВГ экономический ущерб зависит, главным образом, от ухудшения энергетических показателей, снижения надежности функционирования электрических сетей и сокращения срока службы электрооборудования. Ухудшается качество и сокращается количество выпускаемой продукции.

Несинусоидальность напряжения и тока является причиной дополнительных потерь и нагрева, а также ускоренного старения изоляции ЭО.

Специфическое воздействие на различные виды электрооборудования, системы релейной защиты, автоматики, телемеханики и связи проявляется специфично, дифференцированно и зависит от амплитудного спектра напряжения и тока, параметров системы и других факторов. В общем случае отсутствует зависимость между энергией ЭМП и степенью ее воздействия ее на СЭС. Это обстоятельство стало причиной широкого применение коэффициента искажения кривой напряжения сети  $K_{U(n)}$ , определяемого отношением действующего значения напряжения высших гармоник  $U_n$  к номинальному  $U_{ном}$  или к напряжению первой гармоники  $U_1$ .

При резкопеременных нагрузках кривые  $u(t)$  и  $i(t)$  оказываются непериодическими. В этом случае аналитические выражения напряжения и тока представляются бесконечной суммой гармоник с бесконечно малыми амплитудами. Наряду с гармониками целочисленных порядков появляются и составляющие боковых частот, не кратных частоте сети. В большинстве случаев эти составляющие пренебрежимо малы.

При работе нелинейных нагрузок появляются импульсные и флуктуационные помехи. Они обуславливают появление составляющих «непрерывного» спектра, энергия которого в СЭС оказывается также незначительной по сравнению с энергией гармонических составляющих. Поэтому в проектных расчетах эти особенности можно не учитывать.

### **Электромагнитные помехи в СЭС**

Электромагнитные помехи приводят к электромагнитным, электрическим и магнитным нежелательным явлениям в СЭС. Различают источники и приемники помех. В промышленных СЭС одно и то же электрооборудование может быть источником ЭМП и их приемником.

Проблема обеспечения ЭМС ЭО решается в следующих направлениях: выявление источников ЭМП; определение восприимчивости ЭО и их систем управления к уровню ЭМП; расчет и прогнозирование уровней ЭМП в различных точках СЭС; построение СЭС с учетом ЭМС.

Большинство видов ЭО СЭС промышленных предприятий является источниками различных видов ЭМП. Основные виды ЭМП: отклонения, колебания, выбросы, провалы, несимметрия и несинусоидальность напряжения относятся к ПКЭ.

При решении вопросов ЭМС необходимо учитывать коммутационные помехи, возникающие при включении и отключении ЭО. Коммутационные ЭМП появляются при работе электрических аппаратов управления (магнитные пускатели, контакторы, реле, кнопки, выключатели и др.), осуществляющих замыкание-размыкание различных участков электрических цепей с током или находящихся под напряжением. Источниками коммутационных помех могут быть и отдельные электроприемники, в составе которых имеются коллекторные электродвигатели, например приводы высоковольтных выключателей, станки, электроинструмент.

Коммутационные помехи возникают также в СЭС и ЭО при аварийных и аномальных режимах из-за некачественных контактных соединений, пробоев изоляции, срабатывании аппаратов защиты.

Для проектирования оптимальных СЭС с учетом ЭМС ЭО необходимо знание уровней помехоустойчивости различного ЭО, входящего в рассматриваемую систему.

**Уровень помехоустойчивости** – это максимальное значение определенной ЭМП, воздействующей на ЭО, при котором оно может продолжать работу с требуемыми рабочими характеристиками.

Уровни помехоустойчивости для ЭО должны задаваться заводами-изготовителями ЭО. В случае отсутствия данных о помехоустойчивости ЭО следует ориентироваться на действующие стандарты по ЭМС.

Учет ЭМС ЭО, создающего ЭМП как между собой, так и с другими электроприемниками предприятия, является важнейшим фактором для проектирования оптимальных СЭС (рис. 1.1). Особое внимание на ЭМС ЭО следует обращать при построении СЭС 1УР. Это обусловлено тем, что от сетей напряжением до 1 кВ питаются не только сами электроприемники, но и их системы управления, а также ЭВМ, системы АСУ, сбои в которых мо-

гут привести к останову всего предприятия или к большому ущербу. При формировании схем 2УР–3УР необходимо учитывать межуровневое влияние ЭО друг на друга, а также влияние ЭО через трансформаторные связи на более низкий уровень СЭС.

### **Влияние высших гармоник на электрооборудование СЭС**

Высшие гармоники в СЭС способствуют появлению дополнительных потерь в ЭО; затрудняется компенсация реактивной мощности с помощью батарей конденсаторов; сокращается срок службы изоляции ЭО; ухудшается работа устройств автоматики, телемеханики и связи [15].

Искажение формы кривой напряжения заметно сказывается на возникновении и протекании ионизационных процессов в изоляции электрических машин и силовых трансформаторов. При наличии газовых включений в изоляции возникает ионизация, способствующая образованию объемных зарядов с их последующей нейтрализацией. Нейтрализация зарядов приводит к рассеянию энергии с электрическим, механическим и химическим воздействием на окружающий диэлектрик. В результате развиваются местные дефекты в изоляции, что увеличивает диэлектрические потери и, в конечном счете, сокращает срок службы ЭО.

Многолетние исследования форм кривых напряжения в СЭС промышленных предприятий показывают [15], что во многих случаях за счет ВГ кривые напряжения принимают более заостренную форму по сравнению с синусоидальной, поэтому наличие ВГ приводит к ускоренному старению изоляции ЭО.

При наличии ВГ в кривой напряжения процесс старения диэлектрика батарей конденсаторов протекает также более интенсивно, чем в случае, когда конденсаторы работают при синусоидальном напряжении. Это объясняется тем, что физико-химические процессы в диэлектриках, обуславливающие их старение, значительно ускоряются при высоких частотах электрического поля. Аналогично влияет дополнительный нагрев, вызванный протеканием высших гармоник тока.

Опыт показывает [15], что эксплуатация батарей конденсаторов с изоляцией, пропитанной минеральным маслом, при  $K_{U(n)} = 5\%$  привела к тому, что за два года работы диэлектрические потери увеличились в 2 раза.

В соответствии с нормативами батареи конденсаторов могут длительно работать при перегрузке их токами высших гармоник

не более чем на 30%; допустимое повышение напряжения составляет 10%. Однако при длительной эксплуатации конденсаторов в этих условиях срок их службы сокращается. В СЭС промышленных предприятий, как правило, батареи конденсаторов периодически оказываются в режиме, близком к резонансу токов на одной из частот ВГ; вследствие подобных перегрузок без специальных фильтров они быстро выходят из строя.

Конденсаторные батареи в сетях с ВГ, как показывает опыт их эксплуатации, в наибольшей мере повреждаются в начальный период работы, когда происходит ускоренное старение изоляции.

В высоковольтных ЛЭП при токе одной из ВГ порядка 20–25% возможна ложная работа системы блокировки от качаний; при одновременном прохождении токов двух-трех гармоник до 8–12% возможно ложное срабатывание релейной защиты.

Существует связь между несинусоидальностью и надежностью СЭС. Повышается аварийность в кабельных сетях с ВГ; при этом даже в случае резонансной настройки дугогасящих аппаратов (для сетей с компенсированной нейтралью) через место замыкания на землю протекают ВГ тока, и может произойти прожигание кабеля в месте повреждения. Измерения состояния изоляции кабелей в сетях 10 кВ с вентильными преобразователями и тиристорными агрегатами показали ухудшение состояния изоляции – это проявилось в повышенной аварийности, которая с годами возрастает. Нарушения или прекращения технологических процессов, обусловленные ВГ, возможны даже при весьма надежных СЭС с многократным резервированием.

При высоком уровне гармоник проявляется взаимозависимость отказов элементов СЭС. Выход из строя быстродействующего статического компенсатора вызывает появление колебаний и ВГ, которые ранее компенсировались, а это, в свою очередь, приводит к ложным срабатываниям релейных защит, выходу из строя некоторых видов ЭО, другим отрицательным последствиям.

В настоящее время все большее распространение получают электронные счетчики электроэнергии. Значение коммерческой погрешности счетчика зависит от его конструкции, алгоритма работы, характеристик несинусоидальности напряжения и тока электрической сети. Показания счетчиков активной энергии определяются алгебраической суммой активной мощности первой гармоники и всех активных мощностей высших гармоник с учетом их знака. Исследования работы электронных счетчиков при

несинусоидальности напряжения и тока сети позволили сделать следующий вывод: за потребляемую из сети некачественную энергию потребитель, не вносящий искажений, платит больше, а потребитель, который сам вносит искажения, платит меньше, чем за потребленную электроэнергию без искажений. В случае учета реактивной энергии по алгоритму определения квадратного корня из разности квадратов между полной и активной энергией потребитель, ухудшающий качество электроэнергии в сети, будет платить за реактивную энергию больше, чем остальные потребители, не вносящие в сеть искажений.

### **Влияние ПКЭ на эффективность работы электрооборудования**

Ухудшение показателей качества электроэнергии приводит к увеличению расхода электроэнергии и материальных затрат, снижению срока службы и надежности СЭС, нарушению технологического процесса производства [15, 34]. Определим влияние некоторых ПКЭ на работу различного электрооборудования СЭС.

При работе синхронных и асинхронных двигателей в условиях несинусоидального напряжения возникают дополнительные потери мощности, обусловленные высшими гармониками тока в обмотках статора и ротора. Дополнительными потерями в стали статора и ротора из-за малой величины можно пренебречь.

**Асинхронные двигатели (АД).** Отклонение напряжения питания  $\delta U_y$  от номинального значения  $U_{ном}$  вызывает появление дополнительных потерь активной мощности, изменение пускового и максимального вращающего моментов, снижение частоты вращения и коэффициента мощности. Например, увеличение (уменьшение)  $\delta U_y$  на 10% от  $U_{ном}$  вызывает увеличение на 21% (уменьшение на 19%) пускового и максимального вращающих моментов, уменьшение на 17% (увеличение на 23%) скольжения – увеличение на 1% (уменьшение на 1,5%) частоты вращения при номинальной нагрузке. Повышение  $\delta U_y$  на 1% вызывает рост реактивной мощности на 3%, а для АД мощностью менее 20 кВт реактивная мощность возрастает на 5–7%. Неблагоприятные последствия для работы АД создает несимметрия напряжений, приводящая к появлению тока обратной последовательности, вызывающего реверсивный вращающий момент, который снижает полезный вращающий момент. Сопротивление АД току обратной последовательности в 5–7 раз ниже сопротивления току прямой последовательности. Ток, протекающий по небольшо-

му сопротивлению обратной последовательности, вызывает дополнительный нагрев и ускорение старения изоляции АД. Например, срок службы АД, работающего с коэффициентом несимметрии напряжения по обратной последовательности  $K_{2U} = 2\%$ , сокращается на 10,8%, а при работе с  $K_{2U} = 4\%$  – на 50%.

При работе АД в условиях несинусоидального напряжения снижается его коэффициент мощности и вращающий момент на валу. Например, при амплитудах 5-й и 7-й гармоник напряжения, превышающих соответственно на 20 и 15% амплитуды 1-й гармоники, коэффициент мощности АД уменьшается на 2,6% в сравнении с его значением при синусоидальном напряжении.

Несинусоидальность питающего напряжения приводит к появлению дополнительных потерь активной мощности, перегреву обмоток и интенсивному старению изоляции. В АД высокого напряжения дополнительные потери в статоре и роторе примерно одинаковы.

**Синхронные машины (СМ).** Несимметрия напряжений вызывает дополнительные потери в СМ. Возникают вихревые токи, приводящие к повышенному нагреву статора и в особенности ротора, а образующийся пульсирующий момент создает вибрации вращающихся частей СМ. ВГ, искажающие синусоидальные кривые напряжения, способствуют перегреву обмоток и ускоряют процесс старения изоляции.

Основная часть дополнительных потерь от ВГ в СМ приходится на долю успокоительной и статорной обмоток; потери в обмотке ротора, как правило, оказываются меньшими.

Оценка потерь от ВГ в СМ показывает, что дополнительные потери на частотах гармоник выше 13-й весьма малы, и в расчетах ими можно пренебречь.

Расчеты показывают, что даже в случаях превышения предельно допустимых уровней искажений напряжения ( $K_{U(n)} > 10 - 15\%$ ) дополнительные потери от ВГ в СМ с шихтованными статором и ротором не превосходят несколько процентов номинальных потерь; это значительно меньше допустимого значения дополнительных потерь, составляющих 0,25–0,4% от  $P_{ном}$  для СМ мощностью выше 1000 кВт.

Потери от ВГ в СМ с массивными полюсами оказываются значительно большими. Работа таких СМ при несинусоидальном напряжении, как свидетельствует опыт эксплуатации, опасна из-за недопустимого перегрева и повреждения обмотки возбуждения.

**Силовые трансформаторы** являются источниками ВГ намагничивающего тока. Вследствие несимметрии магнитопровода трехфазных трехстержневых трансформаторов действующие значения намагничивающих токов крайних фаз в 1,3–1,35 раза больше намагничивающего тока средней фазы. По той же причине в намагничивающих токах имеются все нечетные гармоники, в том числе и кратные трем. Эти гармоники образуют системы прямой и обратной последовательностей. Наибольший удельный вес, кроме основной, имеют 3, 5, 7-я гармоники. Амплитудный спектр ВГ намагничивающих токов практически одинаков при схемах соединений  $Y/Y$  и  $Y/\Delta$ .

Отклонения напряжения на шинах трансформатора влияют на намагничивающие токи. При повышении  $\delta U_y$  на 3–5% уровень ВГ намагничивающего тока возрастает в 1,5–2 раза. При большой установленной мощности силовых трансформаторов цеховых подстанций это может привести к заметному увеличению напряжения высших гармоник в СЭС.

Амплитудные спектры ВГ намагничивающих токов силовых трансформаторов при несинусоидальном напряжении сети имеют ряд характерных особенностей. Так, при  $K_{U(3)} \leq 10\%$ , уровни 5, 7-й гармоник не превышают 5% между уровнями ВГ напряжения и намагничивающего тока.

В промышленных СЭС ВГ намагничивающих токов трансформаторов при несинусоидальном напряжении могут возрастать на 10–15%. Наличие 11, 13-й гармоник в питающей сети практически не сказывается на уровне ВГ намагничивающего тока. Учет влияния ВГ напряжения на амплитудный спектр ВГ намагничивающего тока силовых трансформаторов необходим при проектировании устройств телемеханики и связи, при использовании силовых цепей в качестве каналов для передачи информации.

**Батареи конденсаторов** обладают одинаковым сопротивлением токам прямой и обратной последовательности, однако сопротивление току ВГ падает пропорционально частоте, что приводит к перегрузке батарей конденсаторов по току.

Особой спецификой обладает влияние провалов напряжения на некоторое ЭО и потребители электроэнергии. Приборы и ЭО имеют разную чувствительность к провалам напряжения. Устройства не чувствительны к провалам напряжения, если длительность провала напряжения  $\Delta t_n$  находится выше их характеристик чувствительности. Например, провал напряжения до

$0,6U_{ном}$  длительностью  $\Delta t_n = 350$  мс влияет на регулируемый электропривод и контроллеры, но не влияет на реле, пускатели и микропроцессоры.

**Реле, контакторы и магнитные пускатели.** Провалы напряжения при эксплуатации этих устройств, широко используемых для подключения двигателей, приводят к отключению последних. С увеличением провала напряжения магнитная сила, создаваемая обмоткой устройства, уменьшается, и ниже некоторого ее уровня действие отключающей пружины становится преобладающим, что приводит к отключению устройств и, следовательно, двигателей.

**Персональные компьютеры, контроллеры и микропроцессоры.** Провалы напряжения в сети могут приводить к ошибкам в работе персональных компьютеров, контроллеров и микропроцессоров, связанным с хранением данных, их обработкой и выводом на дисплей. Для снижения ущерба от провалов напряжения следует применять резервные устройства питания, а в особо ответственных случаях необходимо предусматривать устройства бесперебойного питания. Статистические данные свидетельствуют о том, что провалы напряжения в сети, в которой отсутствуют устройства бесперебойного питания, представляют собой самый тяжелый вид возмущений: около 80% нарушений работы компьютеров связано с этим видом нарушения.

**Регулируемый электропривод.** При оценке влияния провалов напряжения следует учитывать тип используемых статических преобразователей: для управления двигателями постоянного тока применяют тиристорные преобразователи с естественной коммутацией и широтно-импульсным регулированием, для управления двигателями переменного тока – преобразователи частоты напряжения или тока. Обычно система управления более чувствительна к ним, чем силовая часть. Провалы напряжения приводят к нарушению уставок, появлению аномальных импульсов управления, срабатыванию защиты.

За качество электрической энергии несут ответственность две стороны: энергоснабжающая организация и потребители электрической энергии, поэтому анализ влияния электроприемников потребителя на качество электрической энергии начинается на стадии выдачи технических условий на присоединение потребителя к энергоснабжающей организации и учитывается при заключении договора энергоснабжения. Если потребитель оценен как ухудшающий качество электроэнергии, далее долж-

но быть определено допустимое влияния его электроприемников на качество электроэнергии в точке общего присоединения.

### **Методы обеспечения качества электроэнергии**

Проблема повышения качества электроэнергии обусловлена увеличением количества мощных источников искажения и необходимостью обеспечения ЭМС электрооборудования в системе электроснабжения.

Причиной, вызывающей ухудшение ПКЭ, является, как правило, само ЭО: одни электроприемники вносят искажения в установившихся режимах работы, другие – во время пуска и регулирования режимов. ЭО может быть источником искажений нескольких ПКЭ, уровень которых практически неизвестен. При существующей связи между электрооборудованием в СЭС (рис. 1.1) искажающие токи суммируются в точках присоединения потребителя и узлах нагрузки. Также следует учитывать, что воздействие на изменение одного из ПКЭ зачастую вызывает воздействие на другие показатели качества электроэнергии.

Способы и технические средства обеспечения КЭ должны быть ориентированы на создание такой электромагнитной обстановки в СЭС, при которой фактические уровни ПКЭ не превышали бы допустимые значения.

Существуют четыре основные группы методов повышения качества электроэнергии в системах электроснабжения промышленных предприятий.

#### *1. Применение схемных методов:*

- схемная оптимизация СЭС;
- повышение пропускной мощности питающей сети;
- снижение сопротивления электрической системы и повышение мощности КЗ;
- питание нелинейных нагрузок от отдельных трансформаторов, подключение их к отдельным обмоткам трехобмоточных трансформаторов и сдвоенных реакторов, секционное реактирование (рис. 2.2);
- перевод питания нелинейных потребителей на повышенное напряжение.

#### *2. Совершенствование электроприемников потребителей и режимов их работы:*

- загрузка трансформаторов и электродвигателей до номинальных значений;
- использование многофазных схем выпрямления;
- управление преобразователями по специальным законам;

- включение в состав потребителя корректирующих устройств;
- подключение параллельно нелинейным нагрузкам мощных синхронных и асинхронных двигателей.

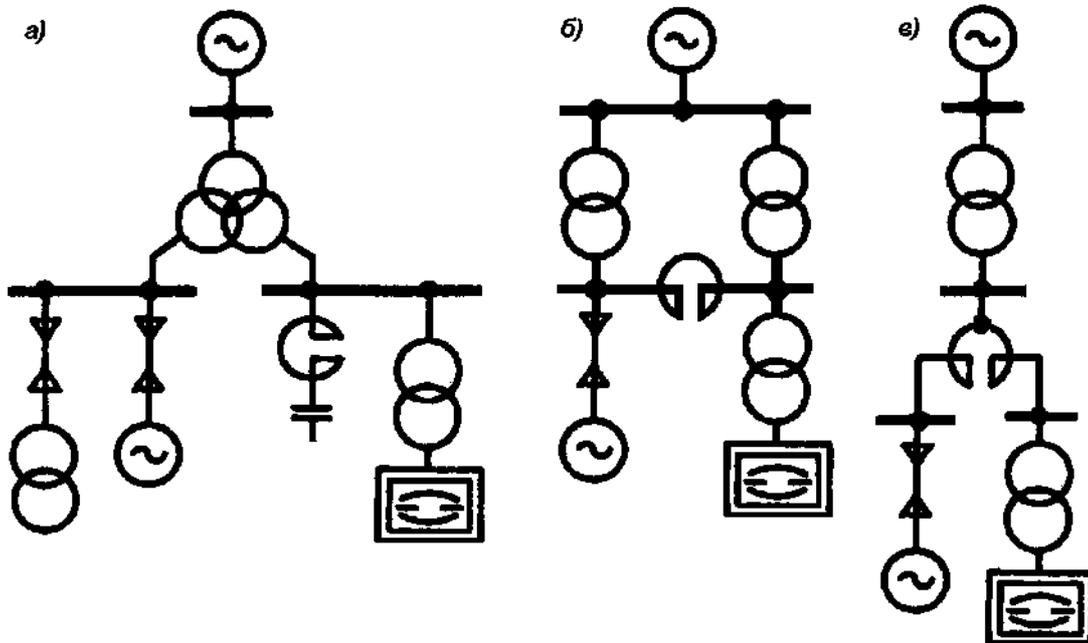


Рисунок 2.2 – Разделение нагрузок с помощью: а – трансформатора с расщепленной обмоткой; б – выделенных трансформаторов; в – сдвоенного реактора

3. Улучшение КЭ с помощью регуляторов одного или нескольких показателей качества электроэнергии или связанных с ними параметров потребляемой мощности:

- компенсация реактивной мощности (КРМ);
- установка фильтрокомпенсирующих устройств (ФКУ);
- использование фильтросимметрирующих устройств (ФСУ).

4. Повышение помехозащищенности чувствительных электроприемников.

Каждое из четырех направлений способствует улучшению КЭ, но более полное решение проблемы возможно при комплексном подходе.

Остановимся подробнее на обеспечении нормативных значений основных ПКЭ.

**Регулирование отклонений напряжения.** Отклонения напряжения являются «медленным» изменением напряжения и вы-

зываются либо изменением уровня напряжения в узле нагрузки, либо потерями напряжения в элементах СЭС.

Обеспечить нормативные требования по отклонениям напряжения в СЭС можно двумя способами:

1) регулированием напряжения на шинах узла нагрузки и у отдельных потребителей;

2) снижением потерь напряжения в элементах СЭС.

Первый способ реализуется с помощью:

- использования перемычек на напряжение до 1 кВ между цеховыми трансформаторами;

- регулирования напряжения генераторов собственных источников питания предприятия;

- изменения коэффициента трансформации силового трансформатора ГПП. Для этого силовые трансформаторы оснащаются автоматическими регуляторами коэффициента трансформации для регулирования напряжения под нагрузкой или имеют возможность *переключения отпаек регулировочных ответвлений без возбуждения*, т.е. с отключением их от сети на время переключения ответвлений.

Второй способ может быть реализован за счет:

- снижения сопротивления системы внутривозводского электроснабжения включением на параллельную работу силовых трансформаторов;

- использования регулировочных возможностей синхронных электродвигателей;

- снижения потерь напряжения в питающих воздушных линиях или кабелях;

- снижения активного и реактивного сопротивлений СЭС.

Снижение активного сопротивления достигается увеличением сечения проводов, а реактивного – применением продольной емкостной компенсации. Продольная емкостная компенсация параметров высоковольтных ЛЭП заключается в последовательном включении конденсаторов  $X_C$  в линию, обладающую индуктивным сопротивлением  $X_L$ , благодаря чему ее реактивное сопротивление уменьшается:

$$X_{ЛЭП} = X_L - X_C. \quad (2.4)$$

Такие способы снижения сопротивлений приводят к увеличению токов короткого замыкания и требуют проведения расчетов с целью проверки выключателей, установленных в этой сети, по отключающей способности.

Одним их эффективных средств регулирования напряжения являются *источники реактивной мощности* (ИРМ). Их воздействие основано на перераспределении потоков реактивной мощности по воздушным линиям и кабелям питающей сети, которые уменьшают реактивную составляющую потери напряжения.

В качестве ИРМ в системах электроснабжения используются: синхронные двигатели, работающие в режиме перевозбуждения; синхронные компенсаторы; конденсаторные батареи и статические тиристорные источники реактивной мощности.

**Ограничение колебаний напряжения.** В первую очередь следует предусмотреть схемную оптимизацию СЭС:

- приближение источников высшего напряжения к электроприемникам с резкопеременной нагрузкой;
- питание резкопеременных и спокойных нагрузок от отдельных трансформаторов или от их разных обмоток;
- повышение уровня мощности короткого замыкания в сетях, питающих электроприемники с резкопеременной нагрузкой.

Если эти мероприятия оказываются недостаточными, то предусматриваются специальные устройства и установки для уменьшения размахов изменений напряжения.

**Поддержание частоты.** Нарушение баланса между мощностью, вырабатываемой электростанциями энергосистемы, и мощностью, потребляемой промышленными предприятиями, приводит к изменению частоты питающего СЭС напряжения. Считается, что изменение частоты в основном определяется нарушением баланса активной мощности. Изменение баланса реактивной мощности в электроэнергетической системе является доминирующим фактором изменения напряжения.

Основной причиной возникновения колебаний частоты являются мощные приемники электроэнергии с резкопеременной активной нагрузкой, например, тиристорные преобразователи главных приводов прокатных станов. Активная мощность этих приемников изменяется от минимального до максимального значения за короткое время, вследствие чего колебания частоты могут достигать больших значений.

Разгрузка энергосистемы при образовавшемся дефиците мощности осуществляется устройствами автоматической частотной разгрузки или вручную персоналом энергосистемы путем отключения потребителей по специально разработанному аварийному графику. Устройства АЧР предназначены для разгрузки энергосистемы от дефицитной мощности. Величина мощности разгрузки принимается не менее 50% нагрузки энергосисте-

мы с разбивкой на очереди с разными объемами разгрузки и различными уставками по частоте и выдержке времени.

Разгрузка энергосистемы вручную по аварийному графику применяется также в случае возникновения дефицита мощности из-за аварии. Аварийный график учитывает 15% нагрузки системы с разбивкой на очереди по мощности. Частотная разгрузка применяется совместно с частотным автоматическим повторным включением, восстанавливающим электроснабжение отключенных потребителей.

Существуют два метода АЧР: по абсолютному значению частоты и по скорости изменения частоты.

В первом случае обеспечивается резервирование ответственных нагрузок потребителя при аварийном отключении неответственных линий. Подобный метод чаще всего применяется в СЭС промышленных предприятий. Он заключается в срабатывании АЧР при значении частоты, задаваемом энергосистемой, что приводит к отключению части неответственных потребителей.

Второй метод АЧР с отключением потребителей в определенной очередности применяется обычно в энергосистемах. При снижении частоты срабатывает частотное реле, которое дает импульс на отключение первой очереди потребителей. Если после отключения первой очереди потребителей частота в сети не восстанавливается, то отключается вторая очередь, и т.д.

**Уменьшение несинусоидальности напряжения.** Снижение уровней гармоник на стадии проектирования достигается рациональным построением СЭС, при котором обеспечивается допустимый уровень гармоник напряжения на шинах потребителя. Наиболее распространенными средствами являются применение трансформаторов-преобразователей с повышенным напряжением 110–220 кВ; питание нелинейных нагрузок от отдельных трансформаторов или подключение их к отдельным обмоткам трехобмоточных трансформаторов или реакторов (см. рис. 2.2); подключение параллельно нелинейным нагрузкам мощных синхронных и асинхронных двигателей.

**Увеличение числа фаз выпрямления.** С увеличением числа фаз выпрямления форма первичного тока преобразователя приближается к току выпрямителя и, следовательно, в напряжении сети форма улучшается. Например, при 6-фазной схеме выпрямления – мост Ларионова – в токе вентильного агрегата содержатся 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23 и 25-я гармоники, а при 12-фазной схеме

только 11, 13, 23 и 25-я гармоники. При этом несинусоидальность напряжения сети уменьшается в 1,4 раза.

Увеличение числа фаз выпрямителя возможно также путем создания эквивалентного режима для группы вентиляных агрегатов, при сохранении для каждого из них 6-фазного выпрямителя. Например, 12-фазный эквивалентный режим для мостового двухполупериодного преобразователя может быть реализован путем соединения одной из обмоток питающего трансформатора в треугольник, а другой – в звезду. В результате в первичных обмотках трансформаторов обоих агрегатов присутствуют гармоники порядков  $n = 6k \pm 1$ , но в питающую сеть выходят только гармоники порядков  $n = 12k \pm 1$ , а остальные гармоники тока циркулируют между первичными обмотками трансформаторов.

Соединение последовательно или параллельно двух или нескольких мостовых выпрямителей при питании их напряжением, сдвинутым на соответствующие углы, позволяет получить 12, 18, 24-фазные и более, кратные 6, схемы выпрямления.

Сдвиг угла напряжения производится применением соответствующих схем соединения первичных или вторичных обмоток «звездой», «треугольником» или «зигзагом».

**Методы фильтрации высших гармоник.** Существует широкий класс электрооборудования, предназначенный для компенсации реактивной мощности и мощности высших гармоник. Различают компенсаторы реактивной мощности первой гармоники и мощности искажений – фильтры высших гармоник тока. Первые наиболее часто применяют при больших мощностях, там, где идет большое накопление реактивной мощности, как правило, это высоковольтные распределительные подстанции. Наибольшее распространение получили статические тиристорные компенсаторы реактивной мощности с индуктивным или емкостным накопителем. Как правило, применяют сочетание компенсаторов, потребляющих реактивную мощность – реакторов, управляемых тиристорами, и конденсаторных батарей, а также компенсаторы с искусственной коммутацией.

Для нейтрализации высших гармоник тока, потребляемого нелинейной нагрузкой, используют различные энергетические фильтры. Наиболее распространенными являются пассивные фильтры, представляющие набор резонансных LC-цепей. Эти фильтры наряду с простотой обладают рядом недостатков: имеют низкую добротность, что не позволяет полностью фильтровать ток; при изменениях сетевой частоты они не могут менять свою резонансную частоту; в переходных режимах могут возни-

катель явления антирезонанса, которые приводят к появлению перенапряжения и аварий в системе энергоснабжения.

Развитие элементной базы силовой электроники и новых методов высокочастотной модуляции привели к созданию нового класса устройств с собственными источниками питания – активных фильтров.

### **Технические средства обеспечения качества электроэнергетики**

**Технические средства обеспечения качества электроэнергии** – это устройства, предназначенные для повышения КЭ, которые могут воздействовать как на один показатель, так и на несколько, т.е. могут быть и многофункциональными, одновременно изменяя несколько ПКЭ. Устройства могут изменять свои параметры в процессе работы под воздействием управляющего сигнала, являясь регулируемыми, или быть нерегулируемыми, сохраняя неизменными свои характеристики независимо от режима работы ЭО.

**Компенсация колебаний напряжения.** Колебания напряжения в промышленных системах электроснабжения вызваны резкими изменениями мощности, главным образом реактивной нагрузки:

$$\delta U_t = 10(\Delta Q_H \cdot X_{KЗ}) / U_{ном}^2 \approx 10\Delta Q_H / S_{KЗ}, \quad (2.5)$$

где  $\Delta Q_H$  – размах изменений реактивной мощности нагрузки;  $X_{KЗ}$  – сопротивление КЗ в точке подключения нагрузки;  $U_{ном}$  – номинальное напряжение на шинах нагрузки;  $S_{KЗ}$  – мощность КЗ.

Из этого выражения следует, что для снижения  $\delta U_t$  необходимо уменьшать либо  $X_{KЗ}$ , либо  $\Delta Q_H$ .

Для снижения влияния резкопеременной нагрузки на чувствительное электрооборудование применяют способ разделения нагрузок (рис. 2.2). Для разделения нагрузок наиболее часто употребляют одиночные и сдвоенные реакторы (рис. 2.2, б и в), трансформаторы с расщепленной обмоткой (рис. 2.2, а) или присоединение резкопеременной нагрузки к различным трансформаторам (рис. 2.2, б).

Эффект использования сдвоенного реактора основан на том, что коэффициент взаимной индукции между обмотками сдвоенного реактора  $K_M > 0$ , а падение напряжения  $\Delta U$  в каждой секции определяется выражениями:

$$\Delta U_1 = jX_L(I_1 - K_M); \quad \Delta U_2 = jX_L(I_2 - K_M), \quad (2.6)$$

где  $X_L$  – индуктивное сопротивление каждой секции обмотки реактора.

Падение напряжения за счет электромагнитной связи обмоток реактора снижается на 50–60%.

Трансформаторы с расщепленной обмоткой позволяют подключать к одной ветви обмотки низшего напряжения резкочастотную нагрузку, являющуюся источником искажений, а к другой – помехочувствительную нагрузку. Связь между изменениями напряжения в обмотках определяется выражением:

$$\Delta U_1 = \Delta U_2(4 - K_p)/(4 + K_p), \quad (2.7)$$

где  $K_p = 3,5$  – коэффициент расщепления.

При подключении резкочастотной нагрузки на отдельный трансформатор (рис. 2.2, б) общее сопротивление снижается до значения:

$$X = X_{ЭС} + (X_{T1} \cdot X_{T2})/(X_{T1} + X_{T2}), \quad (2.8)$$

где  $X_{ЭС}$  – индуктивное сопротивление электрической системы;  $X_{T1}$  и  $X_{T2}$  – соответственно индуктивные сопротивления первого и второго трансформаторов.

Размах колебаний напряжения на шинах помехочувствительной нагрузки снижается в  $X_C / X$  раз, а на шинах резкочастотной нагрузки размах колебаний напряжения увеличивается в  $X/(X_C + X_T)$  раз.

**Симметрирование напряжения.** Снижение несимметрии напряжения может быть достигнуто либо уменьшением сопротивления сети токам обратной и нулевой последовательностей, либо снижением этих токов.

Учитывая, что сопротивление внешней сети (трансформаторов, кабелей, воздушных линий) одинаковы для прямой и обратной последовательностей, снизить эти сопротивления возможно лишь путем подключения нагрузки к отдельному трансформатору.

Основным источником несимметрии являются однофазные нагрузки. При соотношении между мощностью КЗ в узле СЭС  $S_{КЗ}$  и мощностью  $S_{одн}$  однофазной нагрузки:

$$(S_{одн} - S_{КЗ})/S_{одн} \geq 50, \quad (2.9)$$

коэффициент обратной последовательности обычно не превышает 2%, что соответствует требованиям ГОСТа [10]. Фактически это означает, что снизить несимметрию можно путем увеличения  $S_{КЗ}$  на зажимах нагрузки. Достигается это, например, подключением мощных однофазных нагрузок на шины 110–220 кВ через собственный трансформатор, как, например, в СЭС тяговых подстанций электрифицированного железнодорожного транспорта.

Снижение систематической несимметрии в сетях низкого напряжения осуществляется рациональным распределением однофазных нагрузок между фазами с таким расчетом, чтобы сопротивления этих нагрузок были примерно равны между собой.

Если несимметрия напряжения не может быть снижена путем схемных решений, то применяют специальные *симметрирующие устройства*.

Если несимметрия является результатом случайных процессов, то для ее снижения применяются автоматические *симметрирующие устройства*.

В подобной схеме конденсаторы  $X_C$  и реакторы  $X_L$  собираются из нескольких параллельных групп и подключаются в зависимости от изменения тока или напряжения обратной последовательности.

**Снижение несинусоидальности напряжений.** Способы снижения несинусоидальности напряжения можно разделить на три группы:

1) схемные решения: выделение нелинейных нагрузок на отдельную систему шин; рассредоточение нагрузок по различным узлам СЭС; группирование преобразователей по схеме умножения фаз; подключение нагрузки к системе с большей мощностью  $S_{КЗ}$ ;

2) использование фильтровых устройств: включение параллельно нагрузке узкополосных резонансных фильтров; включение фильтрокомпенсирующих устройств; применение фильтросимметрирующих устройств; применение источников реактивной мощности, содержащих ФКУ;

3) применение специального ЭО, характеризующегося пониженным уровнем генерации высших гармоник тока: использование трансформаторов без «насыщения»; применение многофазных преобразователей с улучшенными энергетическими показателями.

Использование схемных решений для повышения КЭ принципиально не отличается от снижения несинусоидальности.

В сетях с нелинейными нагрузками, как правило, возникают гармоники канонического ряда, порядковый номер которых  $n = 3, 5, 7$  и т.д. Уровни гармоник с таким порядковым номером убывают с увеличением частоты. Поэтому на практике применяют цепочки из параллельно включенных фильтров, настроенных на 3, 5, 7 и 11-ю гармоники. Такие устройства называются *узкополосными резонансными фильтрами*.

Такой фильтр на частотах ниже резонансной генерирует реактивную мощность, компенсируя потери мощности и напряжения в сети. Эти устройства являются фильтрокомпенсирующими.

Фильтросимметрирующие устройства помимо функций ФКУ выполняют функции симметрирования напряжения. Конструктивно ФСУ представляют собой несимметричный фильтр, который подключается на линейное напряжение сети. Выбор линейных напряжений, на которые подключаются фильтрующие цепи ФСУ, а также соотношения мощностей конденсаторов, включенных в его фазы, определяются условиями симметрирования напряжения.

Следовательно, устройства типа ФКУ и ФСУ воздействуют одновременно на несколько ПКЭ – несинусоидальность, несимметрия, отклонение напряжения. Такие устройства получили название многофункциональных.

Целесообразность использования подобных устройств возникла в связи с тем, что резкопеременные нагрузки вызывают одновременное искажение напряжения по ряду показателей. Применение многофункциональных устройств позволяет комплексно решать проблему обеспечения КЭ. К категории таких устройств относятся быстродействующие статические ИРМ. Их основная функция – компенсация реактивной мощности. По принципу регулирования реактивной мощности ИРМ можно разделить на две группы: прямой и косвенной компенсации.

Быстродействующие статические ИРМ, обладая высоким быстродействием, позволяют снижать колебания напряжения. По-

фазное регулирование и наличие фильтров обеспечивают симметрирование и снижение уровней высших гармоник.

Управляемый ИРМ может быть выполнен как коммутируемая с помощью тиристорных конденсаторная батарея, которая имеет несколько секций и позволяет дискретно изменять генерируемую реактивную мощность. В другом типе ИРМ мощность изменяется с помощью регулируемого реактора. При таком способе управления реактор потребляет избыток реактивной мощности, генерируемой фильтрами. Поэтому он осуществляет косвенную компенсацию.

**Специальные быстродействующие синхронные компенсаторы.** Наиболее эффективным средством для ограничения колебания напряжения является синхронный компенсатор толчковой нагрузки со специальными параметрами, с быстродействующим тиристорным возбуждением, большой кратностью форсировки возбуждения работающий в «режиме слежения» за реактивным током подключенных потребителей электроэнергии. Мощность синхронного компенсатора определяют исходя из параметров графика нагрузки объекта, подлежащих компенсации. Предусматривается регулирование реактивного тока таким образом, чтобы емкостной реактивный ток синхронного компенсатора соответствовал реактивной толчковой нагрузке имеющей индуктивный характер.

**Синхронные двигатели.** Для ограничения размахов изменений напряжения при резкопеременных толчковых нагрузках используются также синхронные двигатели со спокойной нагрузкой, присоединяемые к общим шинам с вентильными преобразователями. При этом синхронные двигатели должны иметь необходимую располагаемую мощность, быстродействующее тиристорное возбуждение с высоким потолком форсировки.

Проблема ЭМС приобрела в проектах СЭС особую значимость в связи с увеличением электротехнического и технологического ущерба, повышения уровня потерь электроэнергии, сокращения срока службы ЭО, сбоями и отказами устройств автоматики, релейной защиты и средств связи. Для контроля, анализа и управления ПКЭ необходимо проектирование мониторинговых и диагностических измерений в сочетании с системой автоматизированного контроля и учета.

## **Вопросы для самостоятельной подготовки**

---

1. Какие тенденции проявляются при современном развитии систем электроснабжения?
2. Что называется электромагнитной совместимостью?
3. Чем обусловлены неблагоприятные условия функционирования СЭС при необеспеченности ЭМС?
4. К каким последствиям в СЭС приводит нарушение электромагнитной совместимости?
5. Что называется электромагнитной помехой и как классифицируются ЭМП?
6. Чем характеризуется электромагнитная обстановка в системах электроснабжения?
7. Какие нарушения функционирования электрооборудования происходят при изменении уровня ЭМС?
8. Что характеризует меру электромагнитного воздействия в системе электроснабжения?
9. Что характеризует меру электромагнитного воздействия системы электроснабжения на электрооборудование через электромагнитные помехи?
10. Что влияет на качество электроэнергии в точке присоединения потребителя?
11. Что характеризует качество электроэнергии, являясь составляющей ЭМС?
12. Как формируется электромагнитная среда в системах электроснабжения?
13. Каковы взаимодействия электромагнитной среды и электрооборудования в СЭС?
14. Что происходит при агрессивном характере взаимодействия электромагнитной среды и электрооборудования в СЭС?
15. Что происходит при сбалансированном характере взаимодействия электромагнитной среды и электрооборудования в СЭС?
16. Что называется показателями качества электроэнергии?
17. Какой нормативный документ устанавливает номенклатуру и значения ПКЭ?
18. Какие ПКЭ регламентируются в качестве основных и дополнительных показателей режима СЭС?
19. Какими особенностями характеризуется фликер, доза фликера и время восприятия фликера?
20. Что такое провал напряжения и длительность провала напряжения?

21. Как характеризуется импульс напряжения?
22. Как определяется коэффициент временного перенапряжения?
23. Что такое частота повторения изменений напряжения?
24. Какими факторами определяется частота появления провалов напряжения?
25. Какими показателями характеризуется длительность импульса по уровню 0,5?
26. Чем характеризуется длительность временного перенапряжения?
27. Какими параметрами можно характеризовать уровень временного перенапряжения при обрыве нулевого проводника в трехфазных электрических сетях напряжением до 1 кВ?
28. Чем обусловлено появление высших гармоник в СЭС?
29. Как влияют несинусоидальные режимы на работу электрооборудования СЭС?
30. Чем обусловлен экономический ущерб от появления высших гармоник в СЭС?
31. В чем специфика воздействия высших гармоник на различные виды электрооборудования?
32. Какие упрощения используются при анализе резкопеременных нагрузок в действующих СЭС?
33. Какие допущения применяются при исследовании нелинейных нагрузок в действующих СЭС?
34. Какие явления в СЭС вызывают электромагнитные помехи?
35. По каким признакам классифицируются электромагнитные помехи в СЭС? В чем особенность коммутационных помех?
36. Каковы особенности учета влияния ЭМП на электрооборудование различных уровней СЭС?
37. Как высшие гармоники в СЭС влияют на функционирование электрооборудования?
38. В чем состоит особенность проявления искажения формы кривой на изоляцию электрооборудования?
39. Какова взаимосвязь между величиной диэлектрических потерь в изоляции ЭО и формой кривой приложенного напряжения?
40. Как форма кривой приложенного напряжения влияет на срок службы электрооборудования?
41. Каковы условия эксплуатации и режимы работы конденсаторных батарей в СЭС?

42. Каковы особенности эксплуатации ВЛ и КЛ при наличии высших гармоник питающего напряжения?

43. Каковы особенности эксплуатации счетчиков электроэнергии при наличии в СЭС высших гармоник питающего напряжения сети?

44. Чем обусловлен рост дополнительных потерь мощности в синхронных машинах и асинхронных электродвигателях?

45. Каковы особенности влияния ВГ на силовые трансформаторы, конденсаторные батареи, реле и магнитные пускатели, микропроцессоры, регулируемый электропривод?

46. Что является основной причиной, вызывающей ухудшение качества электроэнергии в СЭС?

47. На что следует ориентироваться при проектировании способов и технических средств для повышения качества электроэнергии?

48. Как классифицируются основные группы методов повышения качества электроэнергии?

49. Каковы особенности схемных методов повышения качества электроэнергии?

50. Какие направления совершенствования электроприемников потребителей и режимов их работы способствуют повышению качества электроэнергии?

51. Каким путем улучшается КЭ с помощью регуляторов одного или нескольких ПКЭ?

52. Как добиться более полного решения проблемы повышения качества электроэнергии?

53. Какими способами обеспечиваются нормативные требования по отклонению напряжения в СЭС?

54. В чем состоит особенность регулирования напряжения в СЭС при использовании источников реактивной мощности?

55. Какие технические средства применяются в качестве источников реактивной мощности?

56. Какие методы используются для ограничения колебаний напряжения?

57. Какие методы используются для поддержания частоты в энергосистеме?

58. Какими методами уменьшается несинусоидальность напряжения?

59. Что дает увеличение числа фаз выпрямителя?

60. Как осуществляется фильтрация высших гармоник в системах электроснабжения?

61. Что относится к техническим средствам обеспечения качества электроэнергии?

62. Какими основными способами снижается размах изменения реактивной мощности нагрузки?

63. В чем состоят особенности ступенчатого регулирования источников реактивной мощности?

64. В каких случаях используется способ разделения нагрузок? В чем сущность использования эффекта сдвоенного реактора?

65. Какими способами и какими техническими средствами осуществляется симметрирование напряжения в СЭС?

66. Какими способами и какими техническими средствами осуществляется снижение несинусоидальности напряжения в СЭС?

67. Какие технические средства используются наряду со схемными решениями для снижения несимметрии напряжения в СЭС?

68. Какие мероприятия используются для снижения несинусоидальности напряжений?

69. В чем состоят особенности фильтрокомпенсирующих и фильтросимметрирующих устройств?

70. Для чего необходимо проектирование мониторинговых и диагностических измерений в сочетании с системой автоматизированного контроля и учета?

## **2.7. Экономическая оценка проектной инвестиционной деятельности**



Инвестиционная деятельность предполагает: формулирование долгосрочных целей; поиск новых перспективных сфер приложения свободного капитала; разработку инженерно-технологических, маркетинговых и финансовых прогнозов; подготовку бюджета инвестиционных вложений; оценку альтернативных проектов; оценку последствий реализации предшествующих проектов. Вместе с тем любая организация имеет ограниченную величину свободных финансовых ресурсов, доступных для инвестирования. Поэтому задача оптимизации инвестиционного проекта всегда актуальна [5, 19, 26, 35].

Инвестиционные проекты могут быть классифицированы по различным критериям (рис. 2.3). Цели, которые ставятся при

оценке проектов, могут быть различными, а результаты, получаемые в ходе их реализации, не обязательно носят характер очевидной прибыли. Могут быть проекты убыточные в экономическом смысле, но приносящие косвенный доход за счет обретения стабильности в обеспечении сырьем и полуфабрикатами, выхода на новые рынки сырья и сбыта продукции, достижения определенного социального эффекта, снижения затрат по другим проектам и производствам и др. Так, во многих регионах остро ставится вопрос об охране окружающей среды и обеспечении безопасности продукции компаний для пользователей и природы. В этом случае традиционные технико-экономические критерии оценки целесообразности принятия проекта, основанные на формализованных методах, могут уступать место и неформализованным критериям.

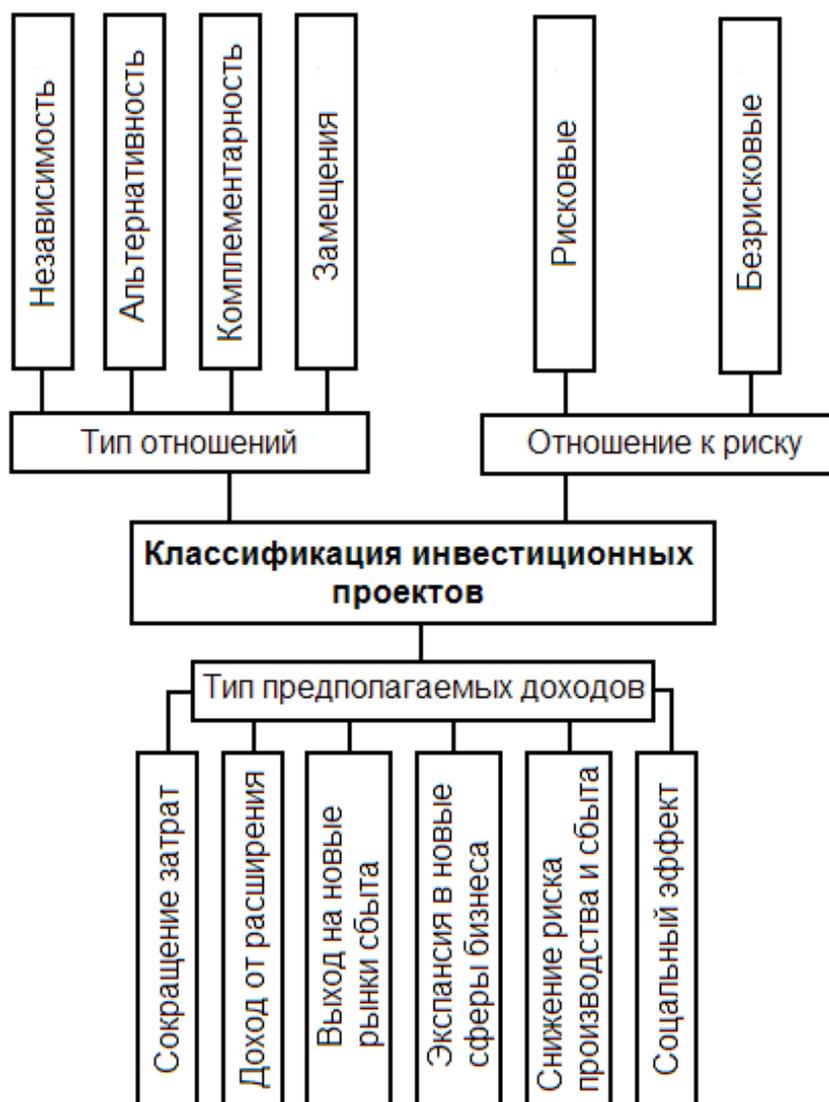


Рисунок 2.3. Классификационные критерии инвестиционных проектов

Весьма важным в анализе комплекса инвестиционных проектов является выделение различных отношений *взаимозависимости*. Два анализируемых проекта называются **независимыми**, если решение о принятии одного из них не влияет на решение о принятии другого. Если два и более анализируемых проекта не могут быть реализованы одновременно, когда принятие одного из них автоматически означает, что оставшиеся проекты должны быть отвергнуты, то такие проекты называются *альтернативными*, или *взаимоисключающими*.

Подразделение проектов на *независимые* и *альтернативные* имеет важное значение при комплектовании инвестиционного портфеля в условиях ограничений на суммарный объем капиталовложений. Величина верхнего предела объема выделяемых средств может быть в момент планирования неопределенной, зависящей от различных факторов, например суммы прибыли текущего и будущих периодов. В этом случае обычно приходится ранжировать независимые проекты по степени их приоритетности.

Проекты могут быть связаны между собой отношениями *комплементарности*, если принятие нового проекта способствует росту доходов по одному или нескольким другим проектам. Выявление отношений *комплементарности* подразумевает приоритетность рассмотрения проектов в комплексе, а не изолированно, что имеет особое значение, когда принятие проекта по выбранному основному критерию не является очевидным – в этом случае должны использоваться дополнительные критерии, в том числе наличие и степень *комплементарности*.

Проекты связаны между собой отношениями *замещения*, если принятие нового проекта приводит к некоторому снижению доходов по одному или нескольким действующим проектам, например открытие ремонтного производства на заводе-производителе снизит спрос на новые изделия.

Существенное значение имеет *фактор риска*. Инвестиционная деятельность обычно осуществляется в условиях различной степени неопределенности, так, во время проектирования новых основных средств нельзя точно предопределить экономический эффект целесообразности приобретения того или иного объема оборудования: ошибка при инвестировании в сторону занижения может привести к снижению дохода; излишнее инвестирование приведет к неполной загрузке мощностей.

Таким образом, интегральная оценка проектов сводится к определению варианта наиболее выгодного использования инвестиций с целью получения максимального дохода.

Величина инвестиций в энергетические установки и их структура зависят от *многих факторов*: типа установки и ее мощности; числа и параметров устанавливаемых агрегатов; применяемых схем технологических связей; местных условий строительства (геологических, климатических, топографических и т.п.); степени индустриализации строительных и монтажных работ; вида используемого топлива и т.д. Существует зависимость величины общих и удельных инвестиций от мощности энергетических установок: общие инвестиции возрастают в меньшей мере, чем мощность установки. Поэтому при увеличении мощности энергетических объектов удельные инвестиции существенно снижаются.

Исходной базой в определении необходимого объема инвестиций в отрасль (предприятие) служит баланс производственных мощностей, с учетом которого определяется дополнительная мощность отрасли (предприятия) в рассматриваемом периоде, необходимая для обеспечения намечаемого увеличения производства промышленной продукции (в энергетике – энергии). При этом решается вопрос об использовании одной из основных форм наращивания мощности: техническое перевооружение, реконструкция, расширение действующих и строительство новых промышленных объектов, модернизация оборудования.

### **Источники инвестирования в энергетику**

Одним из наиболее острых вопросов настоящего времени являются низкие темпы ввода новых энергетических мощностей. Преодолев спад потребления электроэнергии, энергетическая отрасль становится тормозом для развития хозяйственного комплекса, так как для строительства новых электростанций требуется не менее 10 лет. Энергоснабжающие организации зачастую закладывают непосредственно в тариф средства, направляемые на развитие производства, с целью обеспечить себя «бесплатными» инвестициями. Однако при таком порядке сбора инвестиционных вложений потребители вынуждены оплачивать через тарифы не только текущие, но и будущие затраты на энергоснабжение, неся при этом все риски неэффективных инвестиций и увеличивая акционерный капитал энергоснабжающих организаций без получения взамен акций.

Возможности инвестирования за счет прибыли энергетического предприятия, формируемой как часть разницы между та-

рифами на электрическую и тепловую энергию и полной себестоимостью, ограничены по причине роста стоимости технического перевооружения действующих объектов.

Крупным источником инвестиций на предприятиях являются амортизационные отчисления. Накопление стоимостного износа оборудования происходит систематически (учитываются ежемесячно), в то время как основные производственные фонды не требуют возмещения в натуральной форме после каждого производственного цикла. В результате формируются свободные денежные средства, которые могут направляться на расширенное воспроизводство основных средств. Для увеличения финансовых ресурсов, направляемых на эти цели, используется и ускоренная амортизация [30].

Однако фонда денежных средств, формируемых за счет прибыли и амортизационных отчислений, недостаточно для обновления парка оборудования на предприятиях. Причина этого – превышение темпа роста цен на оборудование над ростом амортизационных отчислений. Поэтому дополнительным источником финансирования инвестиционных программ предприятий становится *эмиссия* ценных бумаг. Этот процесс заключается в замещении банковского кредита рыночными долговыми обязательствами (акциями и облигациями) и называется *секьюритизацией*. Ценные бумаги (акции и облигации) дают право их владельцам на получение дохода в виде дивиденда – процента от прибыли предприятия.

РАО «ЕЭС России» и энергосистемы, став акционерными обществами, получили такой источник для развития отрасли, как *дивиденды энергосистем*. Эти дивиденды, по решению собрания акционеров, могут быть направлены на расширение, реконструкцию или модернизацию предприятий. Кроме того, энергосистемы получили возможность привлечения *заемных средств*, в том числе за счет коммерческого капитала, выпуская и продавая акции под новое строительство.

Таким образом, формирование средств на развитие энергоснабжения весьма перспективно осуществлять суммированием акционерного дохода общества с источниками внешнего финансирования (акциями, облигациями, займом) и амортизацией.

В то же время для более эффективного использования этих средств необходимо создание такого рынка электроэнергии, при котором энергосистеме при определенном дефиците мощности было бы выгодно идти на строительство собственных электростанций или оплачивать свою долю в стоимости строительства

новых электростанций. В этом случае показателем *опыт зарубежных стран*, в которых цена на электроэнергию зависит от резерва мощности в энергосистеме. При возрастании мощности потребителей снижается резерв мощности на электростанциях. Поставщики электроэнергии вынужденно увеличивают ее цену. Это связано с перегрузкой генераторов и увеличением интенсивности их износа. Тем самым крупные потребители электроэнергии экономически заинтересованы в снижении тарифов через ввод новых генерирующих мощностей.

Изменение цены на электроэнергию в зависимости от ее себестоимости позволяет решать вопросы оптимальной загрузки электростанций, заинтересованности потребителя в выравнивании графика нагрузки и экономном расходовании электроэнергии, проектировании технологически новых производств.

### **Экономическая эффективность инвестиций**

Инвестиционная деятельность в России регулируется системой законов и нормативных актов: Конституция Российской Федерации, Гражданский кодекс, законы о собственности, недрах, основах земельного и лесного законодательства, законы о предприятиях и предпринимательской деятельности, об акционерных обществах, банках, законоположения о налогообложении внешнеэкономической деятельности, таможенном контроле, об арендных отношениях и страховании, закон об инвестиционной деятельности и т.д.

**Эффективность инвестиционного проекта** определяется соотношением **результата** от инвестиционных вложений ( $P$ ) и инвестиционных **затрат** ( $Z$ ). Результат применительно к интересам инвестора может представлять прирост национального дохода, экономию общественного труда, снижение текущих расходов по производству продукции или оказанию услуг, рост дохода или прибыли предприятия, снижение энергоемкости и ресурсоемкости продукции, уменьшение уровня загрязнения окружающей природной среды и другие показатели. Затраты включают в себя размеры инвестиций, необходимых для осуществления: технико-экономических исследований инвестиционных возможностей; технико-экономического обоснования или бизнес-плана реализации инвестиционного проекта; проектно-изыскательских работ, включая авторский надзор; производства строительно-монтажных работ: приобретение и монтаж оборудования, мебели и инвентаря; содержания дирекции строящегося предприятия; аренды или приобретения в собственность земли, необходимой для размещения строящегося объекта и его дальнейшей эксплуа-

тации; компенсации потерь сельскохозяйственных предприятий при временном отчуждении угодий для обустройства строительных карьеров, временных поселков; подготовки или переподготовки кадров для последующего обслуживания сданного в постоянную эксплуатацию объекта; прироста оборотного капитала, а также на другие многочисленные расходы.

**Показатели эффективности инвестиций** могут быть получены путем сопоставления результата и затрат между собой различными способами:

1) показатель вида  $P/Z \rightarrow \max$  характеризует результат, полученный на единицу затрат, например, рентабельность инвестиционных вложений, представляющая отношение прибыли к единовременным затратам;

2) отношение  $Z/P \rightarrow \min$  означает удельную величину затрат, приходящихся на единицу достигаемого результата. Примером такого вида показателя может служить срок окупаемости инвестиций, определяемый как отношение дополнительных единовременных затрат к приросту прибыли реконструируемого предприятия;

3) разность  $(P - Z) \rightarrow \max$  характеризует величину превышения результатов над осуществленными затратами. В таком виде выступает показатель «интегральный эффект», отражающий превышение стоимости оценок приведенных результатов над совокупностью приведенных затрат за расчетный период;

4) разность  $(Z - P) \rightarrow \min$  показывает превышение затрат над получаемым при этом результатом. Сумма приведенных единовременных и эксплуатационных расходов может быть отнесена к данному виду показателей оценки экономической эффективности вариантов реализации инвестиций. Определение приведенных затрат по сравниваемым вариантам может осуществляться с учетом уменьшения текущих издержек за счет увеличения единовременных вложений;

5) показатель  $(P - Z)/Z \rightarrow \max$  характеризует относительную величину эффекта (эффект, получаемый на единицу затрат);

6) показатель  $(P - Z)/P \rightarrow \max$  отражает удельную величину эффекта, приходящегося на единицу получаемых результатов.

Среди приведенных выше видов показателей иногда различают *показатели эффекта* и *эффективности инвестиционных вложений*. **Эффект инвестиций** представляет разность результата и затрат  $(P - Z)$ ; **эффективность инвестиционных затрат** – отношение результата к затратам  $(P/Z)$ .

*Эффективность инвестиций* может выражаться при учете затрат и результата как в натурально-вещественной, так и в стоимостной (денежной) форме.

*Стоимостные показатели экономической эффективности инвестиций* являются в настоящее время главными показателями обоснования проектов. Они, как правило, выступают в виде комплексного показателя, учитывающего в денежной форме затраты прошлого и настоящего труда.

В стоимостной форме показатели эффективности инвестиционных вложений могут отражать как *общую (абсолютную)*, так и *сравнительную (относительную) экономическую эффективность* затрат. Показатели *сравнительной эффективности* используются для целей выбора наиболее рационального решения. Показатели *общей эффективности* позволяют оценить эффективность вкладываемого капитала по выбранному инвестиционному проекту. Если для расчета сравнительной экономической эффективности достаточно учесть только изменяющиеся по вариантам части затрат и результата, то при определении общей экономической эффективности учитываются полностью все затраты и в полном объеме результат, обуславливаемый этими затратами.

При *вариантном анализе инвестиций* показатели сравнительной эффективности дополняются показателями общей эффективности затрат, так как выбранное решение должно соответствовать требуемой инвестором норме дохода на вкладываемый капитал.

Общая эффективность не может заменить сравнительную, и наоборот. Решение, выбранное в соответствии с показателями сравнительной экономической эффективности, может оказаться невыгодным с позиции общей эффективности. Без глубокого анализа показателей как общей, так и сравнительной эффективности нельзя быть уверенным в выборе наиболее качественного решения, поэтому анализ показателей общей и сравнительной эффективности необходимо проводить в неразрывном единстве.

При оценке эффективности инвестиционных проектов важное место занимает *учет социальных и экологических результатов реализации проекта*. Однако результаты мероприятий, связанных с изменением количества рабочих мест, промышленной эстетикой, техникой безопасности, улучшением условий труда, жилищных и культурно-бытовых условий трудящихся, развитием сферы обслуживания, экономией свободного времени

населения, охраной окружающей среды и рациональным использованием природных ресурсов, нередко не могут быть выражены в стоимостной форме. В этих условиях наиболее эффективное решение следует находить путем совокупной оценки как стоимостных, так и натуральных показателей.

Переход экономики в нашей стране к рыночным отношениям обусловил необходимость переосмысления принципов и методов определения экономической эффективности инвестиций. В условиях рынка экономическая эффективность должна оцениваться с позиции субъекта (собственника), финансирующего капиталоемкое мероприятие – методических рекомендаций по оценке эффективности инвестиционных проектов с учетом особенностей рыночной экономики [26]. Методические рекомендации были утверждены Госстроем России, Министерством экономики РФ, Министерством финансов РФ, Госкомпромом России. Методические рекомендации должны использоваться для конкурсного отбора наиболее эффективных проектов, по которым возможно частичное финансирование из госбюджета. Указанные рекомендации ориентированы на оценку эффективности и реализуемости инвестиционных проектов; обоснование целесообразности участия в осуществлении проектов заинтересованных российских и иностранных инвесторов; сравнение вариантов проекта; проведение государственной, отраслевой и других видов экспертизы инвестиционных проектов. Рекомендации согласуются с методами оценки эффективности инвестиций, принятыми Комитетом по промышленному развитию при ООН (ЮНИДО) и сложившимися в мировой практике подходами к оценке эффективности инвестиционных проектов, адаптированных к условиям рыночной экономики. Согласно этим рекомендациям учет особенностей российской экономики требует более внимательного отношения к инфляционным процессам, к фактору риска и неопределенности при оценке экономической эффективности инвестиций.

### **Классификация показателей экономической эффективности инвестиций**

Показатели экономической эффективности инвестиций могут различаться по следующим признакам: уровню инвесторских целей, характеру и временному периоду учета результатов и затрат, целям использования показателей.

Среди показателей экономической эффективности инвестиций, в зависимости от *уровня инвесторских целей*, выделяют

показатели *общеэкономической (народнохозяйственной), бюджетной и коммерческой эффективности.*

**Показатели общеэкономической эффективности** учитывают результаты и затраты, выходящие за пределы прямых финансовых интересов участников инвестиционных проектов.

Так, при определении общеэкономической эффективности сооружения транспортных магистралей должен учитываться, помимо отраслевого (транспортного) эффекта, также внеотраслевой (внетранспортный) эффект, связанный с освоением природных ресурсов, ускорением развития производства, улучшением социальной сферы в районе, а также с влиянием на природную среду. Показатели общеэкономической эффективности рассчитываются с учетом *прямых, сопутствующих, сопряженных и прочих инвестиционных затрат.* Прямые инвестиции представляют собой вложения, необходимые непосредственно для реализации инвестиционного проекта. Сопутствующие инвестиции – вложения в другие объекты, строительство или реконструкция которых необходимы для нормального функционирования основного объекта. Эти вложения могут быть, например, обусловлены развитием инфраструктуры сооружаемых объектов. Сопутствующие инвестиции могут потребоваться для строительства и реконструкции дорог, организации автохозяйства, сооружения линий электропередачи и т.д. Сопряженные инвестиции – это инвестиции в смежные отрасли экономики, обеспечивающие основными и оборотными фондами строительство (реконструкцию) и последующую эксплуатацию объектов. Потребность в сопряженных инвестициях в смежные отрасли возникает при недостатке необходимых резервов мощностей действующих предприятий, обеспечивающих строительство и последующую эксплуатацию сооружаемого объекта топливом, электроэнергией, строительными материалами и конструкциями, подвижным составом и другой продукцией. Прочие инвестиции включают в себя затраты на проезд работников и их семей на новостройки, затраты на подготовку кадров строителей и эксплуатационников, расходы на консервацию высвобождающихся основных фондов, на увеличение оборотных средств предприятий и другие (прочие) единовременные затраты.

*Показатели бюджетной эффективности* отражают финансовые последствия реализации инвестиционных проектов для федерального, регионального или местного бюджета. Показатели бюджетной эффективности определяются с учетом превышения

доходов соответствующего бюджета над расходами. В состав бюджета включаются изменение налоговых поступлений, плата за пользование природными ресурсами, таможенные пошлины, акцизы, эмиссионные доходы от выпуска ценных бумаг и т.д. К доходам бюджета относят также поступления во внебюджетные фонды: пенсионный, фонд занятости, медицинского и социального страхования. Расходы бюджета обуславливаются прямым бюджетным финансированием реализации инвестиционного проекта: выделением кредитов Центрального, региональных и уполномоченных банков, подлежащих компенсации за счет бюджета; выплатой пособий лицам, остающимся без работы в связи с осуществлением проекта; гарантией инвестиционных рисков и другими факторами.

*Показатели коммерческой эффективности* учитывают финансовые последствия реализации инвестиционных проектов для их непосредственных участников. Коммерческая эффективность может рассчитываться как для проекта в целом, так и для отдельных участников. Для инвестиционного строительства показатели коммерческой эффективности могут рассчитываться для подчиненных отраслей в целом и для отдельных предприятий и организаций.

Коммерческая эффективность предполагает анализ потока реальных денег и выступает как разность между притоком и оттоком денежных средств от инвестиционной, операционной или финансовой деятельности.

По характеру учитываемых результатов и затрат различают показатели *экономической, финансовой, ресурсной, социальной и экологической эффективности* инвестиций.

Показатели *экономической эффективности* учитывают в стоимостном измерении все виды результатов и затрат, обусловленные реализацией инвестиционного проекта. Учитываемые результаты и затраты при определении показателей экономической эффективности выходят за рамки непосредственных финансовых интересов предприятий. Расчет показателей *финансовой эффективности* базируется только на финансовых показателях вложения инвестиций. Показатели *ресурсной эффективности* отражают влияние инвестиций на объем производства и потребления того или иного вида ресурсов. Показатели *социальной эффективности* учитывают социальные результаты реализации проекта, показатели *экологической эффективности* – влияние проекта на окружающую природную среду (воздух, вода, земля, флора и фауна).

В зависимости от *временного периода учета результатов и затрат* различают *показатели эффективности, рассчитываемые за отчетный период*, например *показатели годовой эффективности*. Продолжительность временного периода, принимаемого для определения показателей эффективности, зависит от многочисленных факторов: продолжительности инвестиционного периода, срока службы объекта и технологического оборудования, степени достоверности исходной информации, требований инвесторов.

Показатели эффективности инвестиционных проектов подразделяются также в зависимости от *цели их использования*, на *показатели общей (абсолютной) и сравнительной (относительной) эффективности* (см. выше). Показатели общей и сравнительной экономической эффективности дополняют друг друга, ибо вариант инвестиционных вложений, установленный с помощью показателей сравнительной эффективности, должен обладать *необходимой абсолютной эффективностью*.

#### **Показатели экономической эффективности инвестиций**

Для оценки общей (абсолютной) экономической эффективности инвестиционных проектов может использоваться система показателей, основными из которых являются *интегральный эффект, индекс и норма рентабельности инвестиций, срок окупаемости инвестиций*.

*Интегральный эффект*  $\mathcal{E}_{инт}$  представляет собой сумму разности результатов, затрат и инвестиционных вложений за расчетный период, приведенных к одному (обычно начальному) году:

$$\mathcal{E}_{инт} = \sum_{t=1}^{t_p} (R_t - Z_t - K_t) \cdot \alpha_t, \quad (2.10)$$

где  $R_t$  – результат в  $t$ -й год;  $Z_t$  – затраты в  $t$ -й год;  $K_t$  – инвестиции в  $t$ -й год;  $\alpha_t$  – коэффициент дисконтирования;  $t_p$  – расчетный год (2, 3, ...  $t_p$ ), т.е. год приведения затрат и результатов.

Значение коэффициента дисконтирования  $\alpha_t$  при *постоянной норме дисконта*  $E$  определяется выражением:

$$\alpha_t = 1/(1 + E)^{t_p}. \quad (2.11)$$

При *меняющейся во времени норме дисконта*:

$$\alpha_t = 1 / \prod_{k=1}^m (1 + E_k), \quad (2.12)$$

где  $E_k$  – норма дисконта в  $k$ -й год.

На предприятиях энергетики в качестве экономического результата  $R_t$  принимается выручка от реализации произведенной энергии, а также от оказания различного вида услуг.

Затраты  $Z_t$  при определении показателей экономической эффективности инвестиций учитывают текущие затраты (без амортизации), налоги, неинвестиционные и другие расходы.

Интегральный эффект может также называться: «чистый дисконтированный доход (ЧДД)», «чистая приведенная (или чистая современная) стоимость», Net Present Value, «чистый приведенный эффект».

При единовременных инвестиционных вложениях  $K_o$  в исходный год, а также постоянных во времени результатах затрат и норме дисконта интегральный эффект определяется выражением:

$$\mathcal{E}_{инт} = \frac{R - Z}{E} - K_o, \quad (2.13)$$

где  $R$  – годовой результат;  $Z$  – годовые затраты.

По зависимостям (2.10) и (2.13) определяется интегральный эффект за достаточно продолжительный период. Годовой интегральный эффект  $\mathcal{E}'_{инт}$  рассчитывается по формуле:

$$\mathcal{E}'_{инт} = R - Z - E \cdot K_o. \quad (2.14)$$

Другим показателем общей экономической эффективности инвестиций может служить *индекс рентабельности инвестиций*  $\mathcal{E}_k$ , определяемый как отношение суммы приведенной разности результата и затрат к величине инвестиционных вложений. Если инвестиционные вложения осуществляются за многолетний период, то они также должны учитываться в виде приведенной суммы. В общем случае индекс рентабельности инвестиционных вложений определяется зависимостью:

$$\mathcal{E}_k = \frac{\sum_{t=1}^{t_p} (R_t - Z_t) \cdot \alpha_t}{\sum_{t=1}^{t_p} K_t \cdot \alpha_t} \quad (2.15)$$

Индекс рентабельности инвестиций идентичен показателям, имеющим следующие названия: «индекс доходности», «индекс прибыльности», Profitability Index.

Индекс рентабельности инвестиционных вложений тесно связан с интегральным эффектом. Если интегральный эффект инвестиций  $\mathcal{E}_{инт}$  положителен, то индекс рентабельности  $\mathcal{E}_k$  больше 1, и наоборот. При  $\mathcal{E}_k > 1$  инвестиционный проект считается экономически эффективным. В противном случае при  $\mathcal{E}_k < 1$  проект неэффективен. При инвестициях  $K_0$  в исходный год и при постоянных во времени результатах затрат и норме дисконта индекс рентабельности определяется выражением:

$$\mathcal{E}_k = (R - Z) / (E \cdot K_0). \quad (2.16)$$

Норма рентабельности инвестиций  $E_p$  представляет норму дисконта, при которой величина приведенной разности результата и затрат равна приведенным инвестиционным вложениям. Норму рентабельности инвестиций находят путем решения уравнения:

$$\sum_{t=1}^{t_p} (R_t - Z_t) / (1 + E_p)^t = \sum_{t=1}^{t_p} K_t / (1 + E_p)^t. \quad (2.17)$$

Показатель «норма рентабельности инвестиций» имеет также другие названия: «внутренняя норма доходности», «внутренняя норма прибыли», «норма возврата инвестиций», Internal Rate of Return. Норма рентабельности инвестиций в случае неизменности результата и затрат при единовременных инвестиционных вложениях:

$$E_p = (R - Z) / K_0. \quad (2.18)$$

Получаемую расчетную величину  $E_p$  сравнивают с требуемой инвестором нормой рентабельности вложений. Вопрос о принятии инвестиционного проекта может рассматриваться, если значение  $E_p$  не меньше требуемого инвестором значения.

Если инвестиционный проект полностью финансируется за счет ссуды банка, то значение  $E_p$  указывает верхнюю границу допустимого уровня банковской процентной ставки, превышение которого делает проект экономически неэффективным.

В случае, когда имеет место финансирование из разных источников, нижняя граница значения  $E_p$  соответствует «цене» авансируемого капитала, которая может рассчитываться как средняя арифметическая взвешенная величина выплат за пользование авансируемым капиталом.

*Срок окупаемости инвестиций*  $T_{ок}$  – временной период от начала реализации проекта, за который инвестиционные вложения покрываются суммарной разностью результатов затрат.

Срок окупаемости иногда называют *сроком возмещения* или *возврата затрат*. Для определения величины  $T_{ок}$  рассчитывают период, за пределами которого интегральный эффект становится неотрицательным. Для этого используется равенство:

$$\sum_{t=1}^{T_{ок}} (R_t - Z_t) \cdot \alpha_t = \sum_{t=1}^{T_{ок}} K_t \cdot \alpha_t. \quad (2.19)$$

При одноэтапных инвестиционных вложениях и постоянных во времени результате и затратах общие инвестиционные вложения рассчитываются по формуле:

$$K_o = (R - Z) \sum_{t=1}^{T_{ок}} \alpha_t. \quad (2.20)$$

*Оценку эффективности инвестиционных проектов целесообразно проводить с использованием всей совокупности показателей. В случае появления противоположных результатов предпочтение среди всей совокупности показателей экономической эффективности следует отдавать интегральному эффекту инвестиций.*

### **Технико-экономические расчеты проектируемых СЭС**

Варианты системы электроснабжения промышленных предприятий выбираются на основе технико-экономического сравнения сопоставимых вариантов по минимуму приведенных затрат. При выполнении технико-экономических сравнений пользуются укрупненными показателями стоимости строительства и элементов СЭС.

В стоимостной форме показатели эффективности инвестиционных вложений в проекты СЭС могут отражать как общую абсолютную, так и сравнительную относительную экономическую эффективность затрат. Показатели сравнительной эффективности используются для выбора наиболее рационального решения. Показатели общей эффективности позволяют оценить действенность вкладываемого капитала по выбранному инвестиционному проекту. Если для расчета сравнительной экономической эффективности достаточно учесть только изменяющиеся по вариантам части затрат и частного результата, то при определении общей экономической эффективности учитываются полностью все затраты и в полном объеме результат, обуславливаемый этими затратами.

Технико-экономическое сравнение проектных решений уровней СЭС (см. рис. 1.1) следует в большей степени сводить к сравнению физических и электрических показателей, прежде всего потерь электроэнергии и прямых затрат от стоимости электрооборудования [22].

Для отдельного электроприемника 1УР выбор схемы управления, питающего кабеля, автоматического выключателя и т.д. осуществляется по техническим требованиям и соответствует уровню профессионализма проектировщика, сложившимся инженерным традициям. *Технико-экономический расчет* (ТЭР) не делают из-за очевидной нецелесообразности.

Для группы электроприемников 2УР можно оценивать размещение всех мини-узлов нагрузки. При проектировании шкафов 2УР и сетей напряжением до 1 кВ, схем присоединения щитов низкого напряжения 3УР, выборе количества и номинальной мощности цеховых трансформаторов 3УР возможно рассматривать варианты, например сравнить магистральное и радиальное питание, прокладку кабеля в трубах, произвольно или организовано – в каналах и блоках.

При рассмотрении схемы электроснабжения для электроприемников 2УР целесообразно руководствоваться общими принципами построения схемы этого уровня, при выборе трансформаторов 3УР – учесть возможность подключения проектируемого объекта 2УР от близлежащего трансформатора 3УР.

Наличие распределительной подстанции РП 6–10 кВ 4УР определяется в основном техническими и технологическими требованиями. ТЭР становятся обязательными для схем 5УР и 6УР при выполнении технико-экономического обоснования строительства

предприятия, в составе которого разрабатывается электрическая часть ТЭО и выполняются ТЭР.

Решение задачи электроснабжения предприятия в конкретных условиях может иметь несколько вариантов с применением разных напряжений, числа и места расположения понижающих подстанций и РП, мощностей трансформаторов, способов передачи электроэнергии по территории предприятия. Поэтому наиболее рациональное решение выявляется на основании сравнения возможных вариантов электроснабжения, равноценных по техническим показателям: электромагнитной совместимости, балансу реактивной мощности, диапазону регулирования электропотребления, системе организации электроремонта, соответствию надежности категории потребителей, степени защиты изоляции от загрязнения, обеспечению самозапуска ответственных электродвигателей, соответствию нормам и правилам проектирования. Ущерб от перерыва электроснабжения в ТЭР допускается не учитывать, однако при наличии необходимых статистических данных по аварийности оборудования и сетей в ТЭР следует включать стоимостную оценку надежности, при этом сравниваемые варианты должны быть равноценными по надежности. ТЭР выполняют на основе определения электрических нагрузок и после выбора компенсирующих устройств по типу, мощности, напряжению, числу и месту их установки.

Для обоснования инвестиций на проектирование и строительство предварительно следует начать организационно-технологическую и информационную подготовку проекта, осуществить сбор, анализ и обобщение исходных данных и сведений.

ТЭР с использованием сравнительного *норматива рентабельности инвестиций*  $E$  обусловлен денежными потоками, связанными с инвестиционными вложениями и эксплуатационными затратами. Величину, обратную нормативу рентабельности инвестиций, можно трактовать как нормативный срок окупаемости технических решений. Для расчетов, связанных с решениями на 1УР–ЗУР, срок окупаемости принимается 1–2 года. При сроке окупаемости более 1 года следует учитывать коэффициент дисконтирования  $\alpha_t$  в год  $t$  по формуле сложных процентов (2.11).

В практике технико-экономических расчетов СЭС используются две взаимосвязанные формулы.

1. Расчетный срок окупаемости:

$$T_{ок} = \sum_{t=1}^{t_p} \frac{K_{2t} - K_{1t}}{C_{2t} - C_{1t}} \cdot \alpha_t \leq T_n, \quad (2.21)$$

где  $K_{1t}$  и  $K_{2t}$  – ежегодные инвестиционные вложения по сопоставляемым вариантам;  $C_{1t}$  и  $C_{2t}$  – ежегодные текущие затраты по сопоставляемым вариантам;  $T_n$  – принятое значение срока окупаемости.

2. Приведенные затраты:

$$Z = C_i + E_i \cdot K_i = \min, \quad (2.22)$$

где  $K_i$  – инвестиционные вложения по каждому варианту;  $C_i$  – текущие затраты по каждому варианту;  $E_i$  – принятый норматив рентабельности инвестиций по каждому варианту.

Сравниваемые варианты схемы электроснабжения могут различаться надежностью или уровнем ЭМС. В этом случае приведенные затраты:

$$Z = C_i + E_i \cdot K_i + V_i = \min, \quad (2.23)$$

где  $V_i$  – годовой ущерб от аварийного перерыва работы СЭС, обусловленного различными уровнями надежности сравниваемых вариантов, или ухудшение параметров режима от ухудшения показателей ЭМС.

Технико-экономическое обоснование строительства предприятия, производства, цеха требует не только построения схемы электроснабжения, но и определения стоимости принимаемых технических решений, даже если решение единственное. Этот расчет производится по ценам основных элементов и сетей СЭС, по укрупненным показателям стоимости, которые специфичны для каждой отрасли, фирмы-поставщика, условий доставки оборудования.

При вариантном анализе инвестиций показатели сравнительной эффективности крупных проектов должны дополняться показателями общей эффективности затрат, так как выбранное решение должно соответствовать требуемой инвестором норме дохода на вкладываемый капитал. Решение, выбранное в соответствии с показателями сравнительной экономической эффек-

тивности, может оказаться невыгодным с позиции общей эффективности. Без глубокого анализа показателей как общей, так и сравнительной эффективности нельзя быть уверенным в выборе наиболее качественного решения, поэтому анализ показателей общей и сравнительной эффективности необходимо проводить в неразрывном единстве.

### **Учет фактора времени в энергетике**

Эффективность капиталовложений включает в себя своевременность и разумное качество требуемых основных средств – производственные мощности должны быть смонтированы не только в нужном объеме, но и в нужное время. Наряду с материальными, трудовыми и финансовыми ресурсами время становится важнейшим фактором энергетического производства [35]. Следует четко различать временные параметры, затрагивающие интересы инвестора (заказчика), и факторы, определяющие экономическую эффективность деятельности подрядчика (подрядной организации). Рассмотрим *фактор времени и его учет применительно к инвестору*.

**1. Досрочный ввод построенного объекта (комплекса) в эксплуатацию.** Досрочный ввод дает возможность заказчику (инвестору) получить дополнительную прибыль  $\mathcal{E}_{\text{дв}}$ , определенную выражением:

$$\mathcal{E}_{\text{дв}} = E_n \cdot K \cdot (T_{\text{д}} - T_{\text{ф}}), \quad (2.24)$$

где  $E_n$  – ожидаемая эффективность создаваемого производства, р./р.год;  $K$  – величина капитала, инвестируемого в производство, р.;  $T_{\text{д}}$  – договорный срок ввода объекта;  $T_{\text{ф}}$  – фактический срок ввода объекта.

Разница между договорным сроком ввода объекта и фактическим сроком ввода в данной формуле  $(T_{\text{д}} - T_{\text{ф}})$  должна выражаться в долях года.

Естественно, если  $T_{\text{д}} < T_{\text{ф}}$ , когда срок ввода задерживается, инвестор теряет ожидаемую прибыль, что проявляется в отрицательном значении расчетного эффекта.

Норму эффективности производства, рассматриваемую как отношение чистой прибыли к вложенному капиталу в среднем за год, для разных классов инвестиционных вложений принимают в следующих пределах:

- *класс I* (инвестиции с целью сохранения позиций на рынке, замены отдельных вышедших из строя машин и оборудования) – не менее 6%;

- *класс II* (инвестиции с целью обновления основных производственных фондов, повышение качества продукции, ввод дополнительных мощностей) – не менее 12 %;

- *класс III* (инвестиции с целью внедрения новых технологий, получение прибыли путем создания новых предприятий, других крупных производственных единиц) – не менее 15 %;

- *класс IV* (инвестиции с целью увеличения прибыли и накопления финансовых резервов) – не менее 18–20 %;

- *класс V* (рисковые направления с целью реализации инновационных проектов, исход которых неясен) – не менее 23–25 %;

На практике в расчетах эффекта чаще всего применяется средняя норма рентабельности, равная в большинстве зарубежных и отечественных методик 10–12 %.

При заключении договоров инвесторы обычно включают пункты, оговаривающие экономическую ответственность и экономическую заинтересованность подрядчиков в соблюдении сроков сдачи возводимого объекта (комплекса). Такая заинтересованность создается обычно обязательством инвестора перечислять в случае досрочного ввода объекта генеральной подрядной организации конкретную сумму, являющуюся определенной долей освоенных средств.

Расчет экономического эффекта от досрочного ввода объекта не производится, если объект не входит в промышленную сферу и от его функционирования не планируется получение прибыли (такими объектами могут быть школы, библиотеки, стадионы и т.п.), а также если объект в момент досрочного ввода не может быть использован по своему назначению, например, электростанция будет готова к эксплуатации в апреле, а питающая потребители линия электропередачи будет введена только в октябре.

**Пример.** Организация осуществила ввод строящегося комплекса 1 сентября при договорном сроке ввода 1 декабря. Договорная цена комплекса 1,0 млн. р. Ожидаемая эффективность введенного производства – 0,12 р./р. год. В соответствии с договором подрядчики получают дополнительную оплату в размере 0,5% освоенных инвестиций за каждый месяц ускоренного ввода (ожидаемая дополнительная эффективность). Определить экономический эффект от досрочного ввода комплекса: а) для инвестора; б) для подрядчика.

*Решение.* При данных условиях задачи:

а) дополнительная прибыль, полученная инвестором за дополнительное время функционирования инвестиционных вложений:

$$\mathcal{E}_{\text{дв}}^{\text{инв}} = 0,12 \text{ р./р. год} \times 1 \text{ млн. р.} \times 0,25 \text{ года} = 30 \text{ тыс. р.};$$

б) сумма, которую инвестор обязан передать подрядчику в связи с досрочным вводом комплекса:

$$\mathcal{E}_{\text{дв}}^{\text{инв}} = 3 \text{ мес./1 млн. р.} \times 0,005 = 15 \text{ тыс. р.}$$

Таким образом, инвестор с целью создания экономической заинтересованности передает подрядчику половину ожидаемой прибыли в связи с досрочным вводом комплекса.

**2. Потери от «замораживания» инвестиций.** Потери от «замораживания» являются статьей издержек инвестора (заказчика). Под «замороженными» инвестициями подразумеваются средства, переданные подрядной организации для строительства энергообъекта. Будучи изъятыми, из оборота, они перестают приносить прибыль их владельцу (заказчику) вплоть до момента ввода готового объекта, и таким образом представляют собой для инвестора потери от «замораживания» инвестиций, которые прекращаются лишь с вводом объекта в эксплуатацию.

Эти потери могут быть как весьма значительными (например, при предоплате заказчиком всей стоимости строительства), так и минимальными (в случае оплаты готового объекта подрядчику в момент его приемки).

В наиболее распространенном случае оплата строительства энергообъекта производится долями в соответствии с условиями подрядного договора. В этом случае потери инвестора от «замораживания» капитала определяются либо по каждому периоду (этапу) отдельно, либо вводятся усредненные характеристики движения финансовых ресурсов.

В зависимости от продолжительности строительства и требуемой точности расчетов применяются различные формулы расчета потерь от «замораживания».

При продолжительности строительства, измеряемой годами, что характерно для строительства электростанций и высоковольтных линий электропередач, можно использовать формулу:

$$P_{зам} = E' \cdot \sum_{i=1}^t (K_{ни}^i + P_{зам}^{i-1} - K_{вв}^i), \quad (2.25)$$

где  $E'$  – коэффициент эффективности инвестиций 1/год. В отличие от коэффициента планируемой (ожидаемой) эффективности, который фигурирует в расчетах эффекта от досрочного ввода, в данной формуле в качестве такого коэффициента могут выступать: нормативный показатель, доводимый до организации вышестоящим (например государственным) органом; уровень рентабельности производства, из которого изымаются деньги для осуществления строительства; банковский процент (оплата за кредит) и т.д.;  $K_{ни}^i$  – инвестиционные вложения, освоенные к концу  $i$ -го года строительства нарастающим итогом. Например, если строительство осуществляется 5 лет и осваивают ежегодно по 2 млрд. р., то  $K_{ни}^i$  для каждого года строительства составит 2, 4, 6, 8, 10 млрд. р.;  $P_{зам}^{i-1}$  – потери от «замораживания» в предыдущем расчетном году;  $K_{вв}^i$  – стоимость введенных к  $i$ -му году очередей энергообъекта;  $t$  – продолжительность строительства энергообъекта, годы.

Неудобством данной формулы является необходимость расчета потерь для каждого года строительства с последующим суммированием результатов.

Величину потерь в случае, если строительство продолжается относительно небольшое время (например, несколько месяцев), можно определить по формуле:

$$P_{зам} = E'' \left( K_1 + K_2 + \dots + K_{n-1} + \frac{K_n}{2} \right), \quad (2.26)$$

где  $E''$  – коэффициент эффективности инвестиций, 1/период (в отличие от формулы (2.25), где этот коэффициент дается в 1/год);  $K_1, K_2, \dots, K_{n-1}$  – инвестиционные вложения, освоенные к концу периода строительства (месяца, квартала);  $n$  – число этих периодов.

Из двух вариантов строительства, различающихся продолжительностью и динамикой инвестиционных вложений, лучшим является тот, который имеет меньшую величину потерь,

$$\Delta P_{зам} = P_{зам}^{1вар} - P_{зам}^{2вар}. \quad (2.27)$$

Как отмечалось выше, снижение потерь от уменьшения «замораживания» средств может выступать в виде снижения платы банку за кредит, увеличения собственной прибыли в связи со снижением отвлечения средств в строительство и т.д.

Следует отметить, что динамика инвестирования обязательно совпадает с динамикой освоения инвестиций. Поэтому подрядным договором должна предусматриваться динамика финансирования инвестором строительства, максимально приближающаяся к динамике освоения инвестиционных вложений.

**3. Учет разновременности затрат.** При рассмотрении вариантов инвестирования часто приходится оценивать затраты, осуществляемые в разное время. Например, могут возникнуть варианты, предусматривающие немедленные затраты, либо затраты, отложенные на несколько лет. Принимать издержки, разделенные временным интервалом, равными долями будет неверно, так как денежные средства, находясь несколько дополнительных лет в предпринимательской сфере, значительно изменят свое значение.

В экономической практике принято затраты, осуществляемые в различные годы (*разновременные затраты*), приводить к единой временной дате с помощью коэффициента дисконтирования (приведения к сопоставимому по времени виду). Величина этого показателя оказывает большое влияние на результат расчетов. По опыту стран с развитой рыночной экономикой *целесообразно за основу при определении нормы дисконтирования принимать банковский процент на капитал независимо от его источника*. Инвестор не будет вкладывать средства в проект, реализация которого обеспечивает норму дохода меньшую, чем величина депозитного процента по вкладам. В этом случае инвестор предпочтет положить деньги в банк, а не вкладывать их непосредственно в производство. Банковский депозитный процент выступает в условиях рыночной экономики в качестве минимальной нормы дохода на капитал. В условиях нестабильной экономики с учетом риска при ожидании будущих доходов от вложенного капитала, ограниченности свободного капитала, постепенного обесценивания денег норма дисконтирования обычно увеличивается в сравнении с размером банковского процента.

В случае, когда инвестиции представляют собой *заемные средства*, норма дохода должна быть не ниже процентной ставки, определяемой условиями погашения долгов по займам и процентных выплат.

При *смешанном капитале*, когда инвестируются собственные заемные и привлеченные средства, нижняя норма дохода на капитал определяется как средневзвешенная величина выплат за использование авансируемого капитала.

При *общеекономическом* подходе к оценке эффективности крупных инвестиционных проектов величина нормы дисконта определяет с учетом не только финансовых интересов государства, но и социальных и экологических последствий, которые достаточно трудно поддаются стоимостной оценке и требуют снижения нормы дисконта при расчетах по сравнению с нормами, принимаемыми при установлении *коммерческого эффекта* инвестиций.

Норма дисконта должна устанавливаться с учетом вида цен, принимаемых при расчете показателей экономической эффективности инвестиций. Для такого расчета могут использоваться как *базисные*, так и *прогнозные* цены. Под **базисными** понимаются цены, сложившиеся на определенный момент времени. Они принимаются *постоянными* на весь расчетный период определения показателей эффективности.

**Прогнозные** цены определяются с учетом инфляционных процессов экономики и изменяются во времени. В этом случае норма дисконта  $E$  принимается в соответствии с приемлемой для инвестора нормой дохода на капитал.

При определении эффективности инвестиционных вложений по **базисным** ценам учет инфляции осуществляется путем корректировки нормы дисконта – **модифицированной нормы дисконта**, определяемой по уравнению:

$$(1 + E) = (1 + P/100)(1 + E_m), \quad (2.28)$$

где  $E$  – норма дисконта, не учитывающая инфляцию;  $P$  – годовой уровень инфляции;  $E_m$  – модифицированная норма дисконта, откуда:

$$E_m = \frac{1 + E}{1 + P/100} - 1. \quad (2.29)$$

Модифицированный коэффициент дисконтирования:

$$\alpha_m = \frac{1}{(1 + E_m)^t} = \frac{(1 + P/100)^t}{(1 + E)^t}. \quad (2.30)$$

Из приведенных формул следует, что чем выше уровень инфляции, тем меньше значение модифицированной нормы дисконта при  $E = \text{const}$ . При совпадении  $E$  с уровнем инфляции модифицированный коэффициент дисконтирования равен единице, т.е. необходимость дисконтирования отпадает.

**Пример.** Выбрать более экономичный вариант инвестиций.

*Вариант 1.* Построить новый цех по ремонту электродвигателей стоимостью 500 млн. р. в текущем году.

*Вариант 2.* Ограничиться в текущем году капитальным ремонтом цеха, отложив строительство нового цеха на 4 года. Стоимость ремонта 100 млн. р.

Банковский процент (за вычетом инфляции) равен 8% в год. Потребности в инвестициях по вариантам составляют:

*Вариант 1:*  $K_0 = 500$  млн. р.;

*Вариант 2:*  $K_2 = 100$  млн. р. +  $500 \text{ млн. р.} / (1 + 0,08)^4 =$   
 $= 100$  млн. р. +  $500$  млн. р. /  $1,36 = 467$  млн. р.

Очевидно, вариант 2 экономически эффективнее. В качестве расчетного при вычислениях принимался текущий год.

Следует иметь в виду, что более низкие дисконтные ставки благоприятствуют вариантам с более высокими инвестиционными вложениями, и наоборот.

### **Коммерческая эффективность инвестиций**

Расчеты коммерческой эффективности предполагают установление финансовой обоснованности инвестиционных проектов путем анализа потока реальных денег. Различаются три вида деятельности: *инвестиционная, операционная (производственная) и финансовая*. В рамках каждого вида деятельности исследуется **приток** и **отток** денежных средств. Под **потоком** реальных денег понимается разность между притоком и оттоком денежных средств по каждому виду деятельности в анализируемый период осуществления проекта.

Сальдо реальных денег представляет собой разность между притоком и оттоком денежных средств от трех видов деятельности. Поток реальных денег от инвестиционной деятельности обуславливается покупкой или получением в аренду земель, возведением зданий и сооружений, приобретением машин и механизмов, изменением оборотного капитала, ликвидацией основных фондов и т.д.

Поток денежных средств от инвестиционной деятельности на  $i$ -м шаге:

$$D_t^{(u)} = \sum_{i=1}^{N_n} P_{ti}^{(u)} - \sum_{i=1}^{N_n} Z_{ti}^{(u)}, \quad (2.31)$$

где  $P_{ii}^{(u)}$  – поступления от продажи активов или уменьшения оборотного капитала на  $t$ -м временном шаге  $i$ -й инвестиционной деятельности;  $3_{ii}^{(u)}$  – затраты на приобретение активов или увеличение оборотного капитала на  $t$ -м шаге  $i$ -й инвестиционной деятельности;  $N_n$  – число видов инвестиционной деятельности.

*Операционная (производственная) деятельность* обеспечивает доходы от реализации продукции и оказания услуг, внереализационные доходы, текущие издержки, амортизацию зданий и оборудования, налоги и т.д. Поток реальных денег от операционной деятельности на  $t$ -м шаге:

$$D_t^{(0)} = \sum_{i=1}^{N_n'} P_{ii}^{(0)} - \sum_{i=1}^{N_n''} 3_{ii}^{(0)}, \quad (2.32)$$

где  $N_0', N_0''$  – число показателей, определяющих соответственно приток и отток реальных денег от операционной деятельности;  $P_{ii}^{(0)}$  – поступления от реализации продукции и оказания услуг, также внереализационные доходы на  $t$ -м шаге;  $3_{ii}^{(0)}$  – затраты на производственную деятельность на  $t$ -м шаге.

Приток реальных денег от финансовой деятельности осуществляется за счет собственного капитала (акции, субсидии, кредиты); отток денег – за счет погашения задолженностей по кредитам и выплаты дивидендов.

На  $t$ -м шаге поток денежных средств от финансовой деятельности:

$$D_t^{(\phi)} = \sum_{i=1}^{N_\phi'} P_{ii}^{(\phi)} - \sum_{i=1}^{N_\phi''} 3_{ii}^{(\phi)}, \quad (2.33)$$

где  $N_\phi', N_\phi''$  – число видов финансовой деятельности, определяющих соответственно приток и отток денежных средств;  $P_{ii}^{(\phi)}$  – приток денег от  $i$ -й финансовой деятельности на  $t$ -м шаге;  $3_{ii}^{(\phi)}$  – отток реальных денег от  $i$ -й финансовой деятельности на  $t$ -м шаге.

Сальдо накопления реальных денег  $B_{(T)}$  за период  $T$ :

$$B_{(T)} = \sum_{i=0}^T b_{(t)}, \quad (2.34)$$

где  $b_{(t)}$  – текущее сальдо денежных средств на  $t$ -м шаге:

$$b_{(t)} = D_t^{(\phi)} + D_t^{(0)} + D_t^{(\phi)}. \quad (2.35)$$

При  $B_{(t)} > 0$  имеются свободные денежные средства на  $t$ -м шаге. Необходимым условием реализации инвестиционного проекта являются положительные текущее сальдо и сальдо накопленных реальных денег в любом временном интервале. Отрицательное сальдо свидетельствует о необходимости привлечения инвестором дополнительных средств.

### **Пути повышения эффективности инвестиций**

Эффективность инвестиций формируется на четырех стадиях: планирование инвестиций, проектирование инвестиционного строительства, строительное производство, освоение введенных в действие проектных мощностей.

*Стадия планирования* – совершенствование отраслевой структуры инвестиций, повышение удельного веса инвестиций, направленных на техническое перевооружение предприятий отрасли, их реконструкцию и расширение; концентрация инвестиций на пусковых объектах, подлежащих вводу в действие в планируемом периоде; рациональное размещение производительных сил.

*Стадия проектирования отраслевого строительства* – широкое использование передовых достижений науки и техники; максимальное использование типовых проектов; соблюдение принципа комплектности проектирования; разработка оптимальных схем районной планировки промышленных узлов, концентрация производства.

*Стадия строительства отраслевых объектов* – всесторонняя индустриализация строительного производства; совершенствование организации и технологии строительно-монтажных работ; повышение уровня специализации и кооперирования в строительстве; повышение качества в строительстве; совершенствование планирования, управления и систем экономического стимулирования строительного производства.

*Стадия эксплуатации вновь введенных в действие отраслевых объектов* – обеспечение комплексного ввода в действие основных фондов и смежных производств; заблаговременная подготовка кадров и необходимых элементов оборотных фондов (сырья, топлива, материалов) для вновь строящихся объектов, организация своевременного освоения запроектированной технологии производства.

Многие направления повышения эффективности инвестиций и использования основных фондов являются общими для всех отраслей хозяйства. Однако конкретное проявление тех или иных закономерностей зависит от специфики процесса производства, назначения продукции, предметов труда.

### ***Вопросы для самостоятельной подготовки***

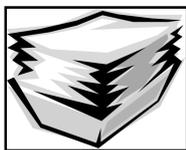
---

1. Что предполагает инвестиционное проектирование?
2. Как классифицируются инвестиционные проекты?
3. Какие проекты являются независимыми, альтернативными, комплементарными и проектами замещения?
4. От каких факторов зависит величина инвестиций в энергетические установки?
5. В чем особенность амортизационных отчислений как крупного источника инвестиций на предприятиях?
6. Как определяется экономическая эффективность инвестиционного проекта?
7. Каким образом могут быть сопоставлены показатели эффективности инвестиций?
8. В чем различие между *эффектом инвестиций* и *эффективностью инвестиционных затрат*?
9. Что учитывают показатели общеэкономической эффективности проектов?
10. Какие показатели инвестиций различают по характеру учитываемых результатов и затрат?
11. Какая система показателей может использоваться для оценки инвестиционных проектов?
12. Каковы особенности сравнения вариантов систем электроснабжения промышленных предприятий?
13. В чем специфика технико-экономических расчетов для различных уровней СЭС?
14. Как учитывается фактор времени в энергетических инвестиционных проектах?
15. Какие возможности дает заказчику (инвестору) досрочный ввод проектируемого объекта?
16. Как проявляются у инвестора потери от «замораживания» инвестиций?
17. Как осуществляется учет разновременности затрат?
18. Как учитывается годовой уровень инфляции?
19. Каковы основные пути повышения эффективности инвестиций на различных стадиях?

## Глава 3. ФОРМЫ ОБНОВЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ СРЕДСТВ ЭЛЕКТРОХОЗЯЙСТВ

---

### 3.1. Общие положения



Инвестиции, которые направляются на новое строительство, техническое перевооружение, расширение объемов производства или реконструкцию являются *инвестиционными вложениями* – затратами материальных, трудовых и финансовых ресурсов на восстановление и прирост *производственных основных фондов* (ПОФ), а также на жилищное, коммунальное и культурно-бытовое строительство, улучшение условий труда. *Основные средства* (ОС) предприятий включают ПОФ и связанные с этими фондами финансовые отношения [5, 8, 26, 30, 35, 44, 45].

Финансовые средства, использованные на коренную реконструкцию или строительство новых производственных объектов, представляют собой затраты, направленные на *расширенное воспроизводство основных фондов*. Если инвестиционные вложения используются для проведения капитальных ремонтов ПОФ, то в этом случае они идут на *простое воспроизводство основных фондов*. Наиболее эффективный результат дает их комплексное освоение.

**Инвестиционное строительство** – это производственный процесс создания производственных и непроизводственных фондов путем строительства новых, расширения, реконструкции, технического переоборудования и модернизации действующих объектов. Инвестиционное строительство – основная форма расширенного воспроизводства основных фондов, реновации морально и физически изношенных ПОФ. Оно охватывает все стадии создания ПОФ, начиная от проектирования объектов и заканчивая вводом их в действие. Планы инвестиционного строительства – *бизнес-планы* новых и расширения действующих производственных объектов, в частности, должны отражать следующие исходные данные:

- потребность производства в энергии;
- состояние и развитие фондообразующих отраслей (машиностроения и строительства);
- состояние и перспективы развития энергетических и общеэкономических ресурсов, в том числе баланса трудовых ресурсов;

- необходимость опережающего роста производственных мощностей энергетики по сравнению с темпами развития ее потребителей.

Необходимость такого опережения объясняется тем, что от развития энергетики зависят темпы развития других отраслей экономики. Степень опережения роста производственных мощностей должна быть, с одной стороны, минимально возможной, для того чтобы вновь созданные мощности энергетики не имели длительных простоев без отдачи, с другой стороны – достаточной в той мере, чтобы нехватка производственных мощностей не являлась тормозом в расширении отрасли.

В инвестиционном строительстве, которое ведут предприятия, наиболее выгодно концентрировать материальные, финансовые и трудовые ресурсы прежде всего на техническом перевооружении и реконструкции действующих предприятий. Новое строительство в энергетике целесообразно лишь при остром дефиците больших объемов энергии, который нет возможности покрыть за счет расширения производства или его технического перевооружения. При этом используется следующая терминология.

**Модернизация** – изменения производства соответственно современным требованиям путем ввода различных усовершенствований технологического процесса и оборудования.

**Техническое перевооружение** предприятия или его подразделения – это обновление производственного процесса, при котором постоянно происходит замена старой производственной техники и технологии на новую, с более высокими технико-экономическими показателями, без расширения производственной площади.

**Расширение** действующих предприятий – это увеличение объемов производства, которое достигается за счет строительства дополнительных цехов и других подразделений основного производства, а также вспомогательных и обслуживающих цехов и участков. Обычно расширение происходит на новой технической основе и, следовательно, предусматривает не только экстенсивное увеличение мощности действующих предприятий, но и повышение технического уровня производства.

**Реконструкция** – это мероприятия, связанные как с заменой морально устаревших и физически изношенных машин и оборудования, так и с совершенствованием и перестройкой зданий и сооружений. Реконструкция направлена на рост технического уровня производства и способствует более быстрому по

сравнению с новым строительством освоению производственных мощностей.

*Реконструкция и техническое перевооружение предприятия более эффективны, чем новое строительство, и отличаются более прогрессивной структурой капитальных вложений.* При этом обновляется главным образом активная часть основных фондов, без существенных затрат на строительство зданий и сооружений. В этом случае производится: обновление орудий труда, механизации и автоматизации производственных процессов; вовлечение в оборот вторичных энергетических и материальных ресурсов; использование более прогрессивных и высокоэффективных технологий; совершенствование методов планирования, организации и управления производством; улучшение использования производственного потенциала предприятия; другие организационные и технические мероприятия, направленные на обеспечение роста эффективности производства.

При расширении и новом строительстве структура инвестиционных вложений менее эффективна, чем при реконструкции и техническом перевооружении, так как большая часть средств при этом затрачивается на возведение зданий и сооружений. Вместе с тем новое строительство неизбежно, поскольку предприятия невозможно бесконечно реконструировать.

Необходимость в модернизации, техническом перевооружении и реконструкции оборудования и производства тесно связана с понятием **ресурса** – суммарной наработкой, при достижении которой существенно изменяется состояние объекта. В процессе эксплуатации и снижении своего ресурса оборудование изнашивается. Рассматривая длительно эксплуатируемое электрооборудование, активную часть ПОФ, пользуются следующими терминами.

**Изношенное электрооборудование** (ИЭО) [32] – это работоспособное ЭО, которое за время своей работы приобрело новые системные, эмерджентные свойства:

- отработавшее «полный срок службы» согласно нормативно-технической и конструкторской документации или «назначенный» согласно Системе технического обслуживания и ремонта (ТОР) ЭО [4, 52] срок при близких к номинальным условиям эксплуатации («нормативный» износ);
- сохранившее работоспособность ЭО, не отработавшее нормативного срока, но изношенное интенсивной работой в режимах, в которых его эксплуатационные параметры превышают номинальные значения (*физический износ*);

- постепенно утратившее свою потребительную и меновую стоимость к концу «срока полезного использования» (бухгалтерский термин, означающий период, в течение которого использование объекта ПОФ призвано приносить доход организации или служить для выполнения целей деятельности организации), когда амортизационные отчисления на восстановление ИЭО не переносятся на себестоимость продукции, работ, услуг («амортизационный» износ);
- постепенно теряющее свою стоимость под влиянием научно-технического прогресса вне зависимости от сроков амортизации (*моральный износ*).

Следовательно, под ИЭО следует обобщенно понимать находящееся в работоспособном состоянии ЭО, некоторые параметры которого близки к критическим согласно нормативно-технической и конструкторской документации или уровню научно-технического развития, при этом в случае выработки временного ресурса (срока полезного использования) амортизационные отчисления на реновацию уже не начисляются.

Основным фактором, определяющим функционирование оборудования (объекта), является достижение им *предельного состояния* – состояния, при котором дальнейшая эксплуатация оборудования (объекта) недопустима или нецелесообразна, либо восстановление работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно по ГОСТ 27.002–89.

*Назначенный ресурс* отражает срок службы объекта суммарной наработкой, при достижении которой эксплуатация объекта должна быть прекращена независимо от его технического состояния. Дальнейшая эксплуатация возможна только после проведения восстановительных работ и назначения нового ресурса.

В электроэнергетике проведение полномасштабных восстановительных работ объекта за пределами назначенного ресурса требовало значительных затрат. Недостаточное научное обоснование в рекомендации ресурса, завышенные коэффициенты запаса прочности и расчетных электрических нагрузок, работа энергетического оборудования с фактическими параметрами ниже расчетных значений привели к тому, что при выработке назначенного ресурса и установленного срока службы техническое состояние оборудования было далеко от перехода к предельному состоянию [23]. Для уменьшения финансовых и материальных затрат Минэнерго СССР в 1985 г. приняло решение отойти от понятия «назначенный ресурс» и определять исходя из

статистических наблюдений и обследований каждого вида оборудования – *парка*, «парковый ресурс».

*Парковый ресурс* определяется суммарной наработкой однотипных по конструкции, маркам стали и условиям эксплуатации элементов теплосилового оборудования, которая обеспечивает их безаварийную работу при соблюдении требований Системы технического обслуживания и ремонта ТОР и *плановых предупредительных ремонтов* (ППР). Парковый ресурс предписан для элементов теплосилового оборудования: паровых котлов, поверхностей нагрева, паропроводов, крепежных деталей турбин, арматуры и других элементов, которые работают в условиях ползучести металла. Для большинства элементов парковый ресурс не является предельным сроком эксплуатации. Объект, который исчерпал свой парковый ресурс, требует индивидуального обследования специализированной организацией с целью определения возможности его дальнейшей эксплуатации.

Дальнейшее увеличение ресурса работы в большинстве случаев может быть осуществлено на основе: расчетов *индивидуального остаточного ресурса* – суммарной наработки объекта от момента контроля его технического состояния до перехода в предельное состояние или до момента следующего обследования; анализа опыта эксплуатации и результатов контроля металла данного оборудования за весь срок службы; результатов индивидуального контроля металла после исчерпания индивидуального ресурса.

Понятие «ресурс» относится к объектам, имеющим в своем составе ответственные элементы, которые являются потенциальными источниками опасности – представляют угрозу для жизни и здоровья людей, а также окружающей природной среды.

Для других объектов, оборудования, зданий и сооружений применяется термин «срок службы».

**Срок службы** по ГОСТ 27.002-89 – это суммарная календарная продолжительность эксплуатации от начала эксплуатации объекта или ее возобновление после ремонта до перехода в предельное состояние. Срок службы устанавливается государственными стандартами и составляет:

- не менее 40 лет для гидрогенераторов (ГОСТ 5616–81), турбин гидравлических вертикальных, выпущенных после 01.01 1991 г. (ГОСТ 27807–88);
- не менее 35 лет для кабелей маслonaполненных на переменное напряжение 110–500 кВ;

- не менее 30 лет для турбин гидравлических вертикальных, выпущенных до 01.01 1991 г., для муфт силовых кабелей (ГОСТ 13781.0–86);

- 30 лет для машин электрических вращающихся и турбогенераторов (ГОСТ 533–85), кабелей силовых для стационарной прокладки;

- не менее 25 лет для систем возбуждения турбогенераторов, гидрогенераторов и синхронных компенсаторов (ГОСТ 21558–88), трансформаторов силовых (ГОСТ 11677–85), трансформаторов тока (ГОСТ 7746–89), трансформаторов напряжения (ГОСТ 1983–77); выключателей переменного тока на напряжение выше 1 кВ (ГОСТ 687–78), изоляторов линейных подвесных стержневых полимерных (ГОСТ 28856–90), кабелей маслонаполненных на переменное напряжение 110–500 кВ (ГОСТ 16441–78), кабелей силовых для стационарной прокладки с резиновой изоляцией (25 лет по ГОСТ 24183–80);

- не менее 20 лет для двигателей трехфазных асинхронных напряжением выше 1 кВ (ГОСТ 9630–80), шинопроводов магистральных и распределительных переменного тока на напряжение до 1 кВ (ГОСТ 6815–79).

Для оборудования, не имеющего специфических условий эксплуатации, срок службы зависит только от видов этого оборудования и зачастую не является технической характеристикой объекта, поэтому совмещен с рассмотренным выше понятием «срок амортизации».

Срок амортизации часто обосновывается различными точками зрения. В развитых зарубежных странах, где цена на топливно-энергетические ресурсы высока, моральное старение энергетического оборудования происходит быстрее физического износа. Поэтому и срок службы составляет 12–15 лет. В отечественной энергетике при относительно низкой цене на топливо и высоких затратах на оборудование и строительно-монтажные работы срок амортизации в два раза выше. Нормативные сроки службы зданий и сооружений без учета специфики эксплуатации составляют:

- 60 лет для здания главного корпуса *тепловой электростанции* (ТЭС);

- 50 лет для железобетонных резервуаров для хранения нефтепродуктов и железобетонных дымовых труб;

- 25 лет для металлических дымовых труб и башенных градирен, металлических резервуаров для жидкого топлива.

Реальные сроки службы зданий и сооружений ТЭС значительно выше и зависят от качества ТОР, а также от их конструктивных особенностей. Предельный фактический срок службы отдельных конструктивных элементов главного корпуса ТЭС по данным [23] составляет:

- 100 лет – фундаменты главного корпуса;
- 80 лет – железобетонные каркасы зданий;
- 70 лет – металлические каркасы зданий, стены кирпичные, фундаменты оборудования, перекрытия, воспринимающие статические нагрузки;
- 50 лет – перекрытия, воспринимающие динамические нагрузки, стены железобетонные (стенные панели), покрытия с железобетонными крупноразмерными плитами;
- 35 лет – покрытия с железобетонными мелкогабаритными плитами, покрытия с применением металлического профилированного настила (облегченные кровли), стены металлические (панели).

Срок службы гидротехнических сооружений гидравлических электростанций определяется в 100 лет, а основного силового оборудования ГЭС – в соответствии с ГОСТ 27807-88 и ГОСТ 5616-81.

### **Вопросы для самостоятельной подготовки**

1. Что является основными средствами предприятий?
2. Чем отличается расширенное воспроизводство основных фондов от их простого воспроизводства?
3. Что такое инвестиционное строительство?
4. На базе каких исходных данных формируются планы инвестиционного строительства?
5. Что называется модернизацией, техническим перевооружением, расширением и реконструкцией действующих предприятий?
6. Что понимается под изношенным электрооборудованием?
7. Что понимается под ресурсом, назначенным ресурсом, парковым ресурсом и индивидуальным остаточным ресурсом объекта?
8. Как формулируется и устанавливается срок службы объекта?
9. Какие показатели влияют на установление амортизационного срока оборудования?

### 3.2. Основные проблемы функционирования изношенного электрооборудования



Для отечественной практики проблема специфики эксплуатации ИЭО не нова – подобное ЭО в энергетике эксплуатируется постоянно, начиная от первых пятилеток до настоящего времени. Но поскольку темпы обновления и ввода нового энергетического оборудования были достаточно высоки, относительное количество эксплуатируемого ИЭО постоянно снижалось. Текущее десятилетие в силу многих причин характеризуется резким увеличением ИЭО, что приводит к снижению эффективности работы энергосистем и обслуживаемых ими промышленных предприятий.

Тенденция доминирования проблем функционирования ИЭО характерна не только для России, но и для мировой энергетики, поскольку технически и экономически нецелесообразно и невозможно ликвидировать все имеющееся ИЭО. На последних сессиях международных конференций значительная часть докладов, выступлений и дискуссий посвящается проблеме эксплуатации ИЭО ввиду ее особой актуальности. Одной из основных составляющих проблемы является продление сроков службы ИЭО.

Разработка способов продления нормативных сроков службы ЭО основана на сохранении некоторым ИЭО достаточно высоких технико-экономических показателей и связана с объективными факторами, которые должны быть учтены при реализации соответствующих технологий.

В современном электротехническом комплексе – крупных электрохозяйствах промышленных предприятий находятся в эксплуатации две группы ЭО, классифицируемые по времени и состоянию наработки:

- ЭО, функционирующее в пределах своего нормативного жизненного цикла;
- ИЭО, функционирующее за пределами нормативного жизненного цикла ЭО.

С формальной точки зрения для второй группы ЭО главная проблема заключается в том, что вынужденное продолжение эксплуатации (в широком смысле функционирования) значительной части ИЭО в соответствии с Системой ТОР ЭО и другим нормативно-техническим документам должно быть прекращено. Системное решение проблемы продления ресурсов ИЭО по су-

шеству стало *новым научным направлением*, в котором пока отсутствует сложившаяся терминология. Для объединения усилий продолжающихся исследований следует их скоординировать и сформулировать некоторые основные определения [32].

Обособленные попытки решения отдельных практических составляющих проблемы ТОР ИЭО наталкиваются на множество многоаспектных вопросов. Разрешение технических задач связано с необходимостью системной проработки методологических, организационных, экономических и других аспектов. Для выхода из этого положения рассматриваемый материал опирается на бенчмаркингую технологию исследования системной проблемы.

Термин «бенчмаркинг» произошел от слова «*benchmark*», которое означает в общем смысле определенную информацию, используемую как стандарт или эталон при сравнении объектов.

**Бенчмаркинг** – это метод системного исследования и сравнения процессов своего предприятия с процессами лидирующих предприятий с целью получения информации о том, что другие делают лучше нас, – информации полезной для усовершенствования собственной деятельности. Бенчмаркинг является детализированной, формализованной и упорядоченной функцией системного анализа.

Содержание рассматриваемого многоаспектного научного направления описывается терминами «*продление ресурса*», «*эксплуатация после номинального срока службы*», «*Life Extension* (продление жизни)» и «*Life Management* (управление жизнью)», «*реновация*» и др. аналогичными. Для обозначения и раскрытия проблемы в соответствии с основной идеей бенчмаркинга автор книги воспользовался аналогом другого существующего и эффективно используемого в медицине направления, называемого «*гериагрией*», которое занимается изучением особенностей заболеваний у пожилых людей, а также разработкой методов лечения и предупреждения этих заболеваний. Если подходить к самостоятельному научному и практическому направлению в решении проблем ТОР ИЭО, то для этого вполне обоснованно можно использовать включающий все необходимые аспекты термин «*электрогериагрия*», находящимся в иерархии «*технической гериагрии*». При этом под **электрогериагрией** (ЭГТ) понимается технологический процесс решения комплекса задач, связанных с особенностями применения и обслуживания ИЭО. С позиций системного анализа ЭГТ является названием *концепции*

упорядочения и реализации процессов, характеризующихся следующими положениями [32, 33]:

- одной из острых проблем для отечественной электроэнергетики на ближайшие десятилетия становится функционирование электрохозяйств при высокой степени износа основного ЭО. Продолжение использования ИЭО связано с необходимостью создания условий для минимизации его влияния на безаварийное функционирование электрохозяйств. Рассматриваемое положение не является сиюминутным. Проблема возникла не сегодня, она продолжает развиваться и сама собой разрешиться не сможет;

- технические аспекты проблемы вызывают необходимость глубокой проработки других аспектов. Требуется разработка и внедрение методов диагностики и прогнозирования, организации проектирования и эксплуатации новых форм технического обслуживания и ремонтов ИЭО, автоматизации и информатизации процессов управления, перераспределения объемов инвестиций;

- использование ИЭО в электрохозяйстве связано со многими факторами. ИЭО может обладать худшими технико-экономическими показателями по сравнению с новым ЭО. Для ИЭО характерны специфические виды повреждений, повышенная скорость развития возникающих повреждений, высокая чувствительность к факторам износа. В ИЭО растет доля необратимых изменений, повышается риск продолжения безаварийной работы, увеличивается тяжесть последствий повреждений. При эксплуатации требуется учет большого количества новых взаимосвязанных показателей, проявляются более глубокие системные связи режимов СЭС и производственного технологического процесса;

- большинство проблем поддержки функционирования ИЭО имеет информационный характер; наличие неопределенности в исходной информации, узость традиционного математического аппарата для описания неопределенных и качественных неформальных ситуаций. Ограниченность «человеческого фактора» в экстраординарных критических условиях, когда нужно быстро получить интеллектуальное решение. Сложность синтеза оптимальных решений при нечеткой информации, необходимость оперирования большим объемом данных и знаний. Привлечение экспертов для решения неформальных задач, отсутствие в необходимом месте и в нужное время таких экспертов. Постепенная

утрата уникального опыта высококвалифицированных специалистов.

### **Вопросы для самостоятельной подготовки**

1. Чем обусловлено в последнее десятилетие резкое увеличение объема изношенного электрооборудования?
2. Какие группы электрооборудования находятся в эксплуатации в современном электротехническом комплексе?
3. В чем сущность бенчмаркинговой технологии разрешения проблемы продления ресурсов изношенного электрооборудования электрохозяйств?
4. Как понимается электрогериатрия с позиций системного анализа, какими положениями она характеризуется?
5. Какие аспекты проблемы продления ресурсов изношенного электрооборудования входят в состав технической электрогериатрии?
6. Какие специфические виды повреждений характерны для изношенного электрооборудования?
7. Какими особенностями обладает информационный аспект проблемы продления ресурсов изношенного электрооборудования электрохозяйств?

### **3.3. Организация модернизации и продления сроков службы оборудования**



Износ и старение деталей, элементов и ЭО электрохозяйств приводят к изменениям в их параметрах и техническом состоянии, возникают отказы и аварии, приводящие к простою основного производственного ЭО, ухудшаются условия труда на предприятии, снижается производительность труда.

Появляющиеся факторы риска требуют проектирования тщательно продуманной системы профилактических и предупредительных мероприятий по поддержанию ЭО в надлежащем техническом состоянии, системы технического обслуживания и ремонта электрооборудования – системы ТОР ЭО. Задача проектирования и разработки регламента ТОР ЭО заключается в определении и совмещении индивидуальных сроков проведения обслуживания и ремонта узлов оборудования [4, 21, 32, 52].

**Техническое обслуживание** (ТО) относится к основным профилактическим мероприятиям, необходимым для обеспечения надежной работы ЭО между плановыми ремонтами и сокращения общего объема ремонтных работ. Оно предусматривает надзор за работой ЭО, уход за оборудованием, содержание ЭО в исправном состоянии, проведение плановых технических осмотров, технических испытаний, и т.д. ТО проводится как в процессе работы ЭО с использованием перерывов, нерабочих дней и смен, так и при кратковременной остановке ЭО и отключении сетей в соответствии с местными инструкциями. ТО может быть регламентированным и нерегламентированным.

**Регламентированное ТО** проводится по графикам с установленной в эксплуатационной документации периодичностью, не превышающей периодичности текущего ремонта. По способу организации является системой планово-предупредительного типа, сущность которой заключается в том, что по истечении определенного отработанного времени в момент ожидаемого отказа производятся различного вида воздействия: ТО, текущий или капитальный ремонты. Нормативно-информационной базой является годовой график технического обслуживания и ремонта оборудования.

*Плановое ТО* как самостоятельная операция назначается лишь для отдельных видов энергетического оборудования и сетей с относительно большой трудоемкостью работ. В ходе ТО проверяют техническое состояние ЭО. Производят чистку, смазку, продувку, добавку или смену изоляционных материалов и смазочных масел, выявляют дефекты эксплуатации и нарушения правил безопасности, уточняют состав и объем работ, подлежащих выполнению при очередном ремонте. Обнаруженные отклонения от нормального состояния ЭО, не требующие немедленной остановки для их устранения, заносятся в ремонтный журнал. Дефекты узлов и деталей, которые при дальнейшей эксплуатации ЭО могут нарушить его работоспособность или безопасность условий труда, должны немедленно устраняться.

В состав регламентированного ТО входят *плановые технические осмотры* энергетического оборудования, проводимые инженерно-техническим персоналом энергетических служб. Целями плановых технических осмотров являются:

а) проверка полноты и качества выполнения оперативным и ремонтно-эксплуатационным персоналом операций по техническому обслуживанию энергетического оборудования;

б) выявление неисправностей, которые могут привести к поломке или аварийному выходу ЭО из строя;

в) установление технического состояния наиболее ответственных деталей и узлов машин и уточнения объема и вида предстоящего ремонта.

*Проверки* (испытания) включают в себя производство всех операций осмотра и как самостоятельные операции планируются лишь для особо ответственного энергетического оборудования с целью контроля эксплуатационной надежности и безопасности обслуживания ЭО и сетей в период между двумя очередными плановыми ремонтами, своевременного обнаружения и предупреждения возникновения аварийной ситуации. К подобным проверкам относятся испытания электрической прочности и измерения сопротивлений электрической изоляции, испытания на плотность, прочность и др. В состав проверок могут включаться небольшие объемы регулировочных и наладочных работ. Для большей части ЭО и сетей проверки не планируются в качестве самостоятельных операций, а входят в состав плановых ремонтов.

При **нерегламентированном ТО** осуществляется надзор за работой ЭО, эксплуатационный уход, содержание ЭО в исправном состоянии, а также:

а) соблюдение условий эксплуатации и режима работы ЭО в соответствии с инструкций завода-изготовителя;

б) загрузка ЭО в соответствии с паспортными данными, недопущение случаев перегрузки ЭО, кроме режимов, предусмотренных инструкциями по эксплуатации;

в) строгое выполнение установленных при данных условиях эксплуатации режимов работы электросетей и всех систем трубопроводов;

г) поддержание необходимого режима охлаждения деталей и узлов оборудования, подверженных повышенному нагреву;

д) ежедневная смазка, наружная чистка и уборка эксплуатируемого оборудования и помещений;

е) строгое соблюдение порядка останова энергетических агрегатов, установленного инструкцией по эксплуатации завода-изготовителя, включение и отключение электросетей и всех систем трубопроводов;

ж) немедленная остановка электрооборудования в случае появления ненормальностей в его работе, ведущих к выходу оборудования из строя, принятие мер по выявлению и устранению этих ненормальностей;

з) выявление степени изношенности легкодоступных для осмотра узлов и деталей и своевременную их замену;

и) проверка нагрева контактных и трущихся поверхностей, проверка состояния масляных и охлаждающих систем, продувка и дренаж трубопроводов и специальных устройств;

к) проверка исправности заземлений, отсутствия подтекания жидкостей и пропуска газов, состояния тепловой изоляции и противокоррозионной защиты, состояния ограждающих устройств и т.д.

Все обнаруженные при нерегламентированном ТО неисправности в работе оборудования фиксируются в сменном журнале для устранения в кратчайшие сроки силами оперативного и ремонтно-оперативного персонала.

Восстановление работоспособности и ресурса ЭО, устранение отказов и неисправностей, возникающих в процессе работы или выявленных при ТО, осуществляется с помощью ремонтов. Ремонты группируются в плановые и неплановые. По плану выполняются текущий и капитальный ремонты, в неплановом порядке проводится аварийный ремонт, а также ремонт без предварительно назначенного срока выполнения. Периодичность вывода ЭО на текущий и капитальный ремонт определяется сроками службы и техническим состоянием элементов оборудования.

*Текущий ремонт* осуществляется в процессе эксплуатации для обеспечения исправности и работоспособности ЭО до очередного ремонта и состоит в замене или восстановлении изношенных деталей, узлов, участков сети, регулировке механизмов, проведении профилактических мероприятий, устранении отдельных неисправностей. Периодичность текущего ремонта ЭО определяет длительность межремонтного периода.

*Капитальный ремонт* осуществляется с целью восстановления исправности и полного или не менее 80% восстановления ресурса ЭО с заменой или восстановлением любых частей оборудования, включая базовые, проверкой и регулировкой отремонтированных частей и оборудования в целом, изменением электрических схем, заменой или восстановлением изношенных конструкций и участков сети. Периодичность капитального ремонта ЭО определяет длительность ремонтного цикла.

В зависимости от ранга, технологической и производственной значимости ЭО, влияния его отказов на электробезопасность и стабильность технологических процессов стратегия плановых ремонтов реализуется в виде ППР по техническому состоянию

электрооборудования (СЭО) и в виде сочетания двух форм ремонта. В основу ППР заложена стратегия групповых и индивидуальных замен и/или ремонта элементов ЭО. Ремонт по СЭО базируется на стратегии замены и/или ремонта элементов по состоянию. В настоящее время для большей части ЭО проводятся замены и/или ремонт элементов после отказа в неплановом виде.

Повышение эффективности ремонтного производства осуществляется по следующим основным направлениям [21, 52]:

а) рост уровня централизации и специализации ремонтной службы, ремонтных работ и ремонтного персонала:

б) внедрение агрегатно-узлового метода ремонта оборудования;

в) повышение технической вооруженности труда, применение средств механизации, специализированного инструмента и приспособлений для выполнения демонтажнo-монтажных и разборочно-сборочных работ;

г) совершенствование ремонтных нормативов электрооборудования и повышение уровня обеспеченности предприятий ремонтной документацией;

д) внедрение прогрессивных форм организации труда и оплаты ремонтного персонала.

Ремонт оборудования может осуществляться собственными силами предприятий, эксплуатирующих оборудование, сторонними специализированными ремонтными предприятиями, а также заводами-изготовителями оборудования. Оптимальная пропорция перечисленных организационных форм ремонта зависит от возможностей предприятия, наличия и оснащенности собственной ремонтной базы, ее удаленности от предприятий-изготовителей оборудования и специализированных ремонтных организаций.

Крупные промышленные предприятия проводят ремонт оборудования собственными силами в ремонтных электротехнических и теплотехнических цехах. Эти цеха выполняют капитальный ремонт оборудования и отдельных элементов, изготавливают быстроизнашивающиеся детали. В некоторых случаях текущий ремонт сложного оборудования проводится силами специализированных участков и бригад. Специализированные бригады ориентированы на ремонт конкретного типа оборудования. Комплексные бригады ведут ремонт многих типов оборудования.

На средних предприятиях создаются комплексные бригады оперативных дежурных, слесарей-ремонтников всех специальностей, ремонтников-электриков, станочников и др. Комплексные бригады выполняют ремонтные работы широкой номенклатуры оборудования и участвуют в выполнении отдельных наиболее сложных операций текущего ремонта, а также по скользящим графикам ТО.

На мелких предприятиях выполнение ремонтно-профилактических работ оборудования возлагается на дежурных электриков и ремонтников энергетического хозяйства.

Ценозологические представления [21, 22] могут быть положены в основу улучшения организации системы ТОР ЭО. Для этого применяется не видовое распределение по назначению установленного ЭО, а ранговое по всему перечню электрооборудования в форме Н-распределения. Например, все множество установленных электрических машин ранжируется по их значимости, важности в технологическом процессе. Каждой машине присваивается свой ранг (номер). Первый ранг присваивается электрической машине, которая в наибольшей степени определяет производственный процесс. Второй – следующей по важности машине и т.д., так что последние ранги достанутся машинам, отказ которых не влияет или влияет крайне незначительно на технологический процесс предприятия. Практика подтверждает, что на любом предприятии выделению по важности подлежат 10% электродвигателей, которые должны быть охвачены системой ППР в полном ее виде с введением учетных карточек по каждому двигателю. Примерно половина (50–60%) общего количества электродвигателей может быть исключена из системы ППР вообще, не требуя планового обслуживания, переходя к аварийно-восстановительной системе ремонта. Для оставшейся части (30–40%) предусматривается упрощенная система ППР. Подобное изменение организации ремонта не только дает возможность официально отказаться от фактически невыполняемых ППР, но и повысить качество обслуживания наиболее ответственных двигателей при общем снижении трудовых и материальных затрат.

**Совершенствование ТОР.** Система ТОР ЭО основана на теории, науке и практике ремонта и восстановления ПОФ, техники и оборудования промышленных предприятий [4, 52]. Однако нормы и нормативы ориентированы, прежде всего, на организацию *технического* обслуживания. Общими недостатками ТОР являются:

- избыточность выполняемых ремонтных работ;
- охват *части* жизненного цикла ЭО. ТОР не распространяется на оборудование за пределами сроков амортизационных отчислений;
- нормы не учитывают реального режима работы ЭО;
- не рассматриваются вопросы организации эксплуатации ЭО, хотя ТОР и является некоторой частью эксплуатации;
- несмотря на название «система» ТОР не учитывает в полной мере многих системных аспектов.

Сложившаяся система ТОР ЭО энергохозяйств предусматривает проведение периодических ППР, что не всегда является оптимальным мероприятием. Отключение для профилактики и плановых ремонтов исправного ЭО приводит к неоправданным затратам. В промежутке между ППР не выявляются скрытые и развивающиеся дефекты, приводящие к необходимости проведения более дорогих и продолжительных аварийных ремонтов. Хотя считается, что при надлежащем выполнении ТОР ППР аварий не должно быть.

Более рациональной системой является обслуживание по *состоянию электрооборудования*. **ТОР СЭО** – это плановый вид ремонта, срок и необходимый объем работ которого определяется функцией выявленных дефектов. Для организации такого обслуживания необходимы средства, позволяющие оценить состояние объекта на данный момент, проследить изменение состояния в последнее время и спрогнозировать его возможность функционирования на ближайшее будущее. Переход к ТОР СЭО связан с использованием новых диагностических параметров, новых методик для их получения и последующего анализа. Проведенный анализ подводит к рассмотрению двух путей (рис. 3.1), решающих в итоге общую проблему проектирования вида ТОР.

Аппаратный путь связан с введением новых или дополнительных систем управления. По технико-экономическим соображениям этот путь эффективен на небольших предприятиях, не имеющих развитых АСУЭ.

В связи с обработкой поступающей нечеткой, многосвязанной и неопределенной информации, предлагается, в частности, извлечение дополнительных данных с помощью информационного пути и методов теории нечетких множеств [32]. Использование нового математического аппарата в построении моделей электрохозяйств позволяет: заполнить нишу в сфере преодоления неопределенности информации в условиях невозможности

корректного применения обычных математических и статистически-вероятностных методов; связать нечеткие понятия, которыми оперируют лица, принимающие решения (ЛПР), с их числовым представлением; преодолеть неопределенность информации с двух сторон, во-первых, формализуя нечеткость, а, во-вторых, осуществляя обработку неполной информации – в реальных задачах с неопределенностью получить больше информации, чем с помощью других методов, или получить те же результаты, но с меньшими затратами. Автоматизация выработки управляющих решений перекладывается на системы поддержки принятия решений и экспертные системы.



Рисунок 3.1 – Пути совершенствования системы TOP ЭО

В качестве первого этапа перехода к TOP СЭО предложена система технического обслуживания и ремонта (СТОИР) [20], учитывающая техническое состояние ЭО и сооружений электростанций. Переход к СТОИР носит комплексный организационно-технический характер и позволяет сохранить преемственность с существующей системой ППР. В зависимости от динамики производства критериями вывода в ремонт энергоблоков служат: непрогнозируемый отказ основного ЭО, прогнозируемый отказ базовых узлов основного ЭО, назначенный ресурс основного ЭО. Критерии вывода в ремонт энергоблоков связаны с наработкой между ремонтными остановами и межремонтными ресурсами отдельных единиц ЭО и их узлов.

СТОИР базируется на следующих основных положениях.

1. Структура ремонтного цикла сохраняется. В нее входят капитальный, средний и текущий ремонты. Продолжительность ремонтного цикла носит расчетный прогнозный характер и называется эквивалентным ремонтным циклом. Объемы, номенклатура и продолжительность ремонтных работ уточняются по результатам технического контроля и испытаний.

2. Вывод энергоблоков в капитальный ремонт осуществляется при достижении ими установленного межремонтного ресурса. Межремонтный ресурс определяется на основании опыта эксплуатации и ремонта, а также достигнутого времени наработки между капитальными ремонтами – назначенного межремонтного ресурса.

3. В средний ремонт энергоблоки выводятся при достижении ими наработки между средними ремонтами в предыдущий период или половины наработки между капитальными ремонтами.

4. Текущие ремонты выполняются в соответствии с необходимостью устранения неисправности и для выполнения контроля и испытаний, периодичность которых устанавливается в технических условиях и других документах по каждому виду ЭО.

5. При формировании прогнозной структуры ремонтного цикла используются данные по перспективной загрузке энергоблоков, а также сведения о периодичности и продолжительности капитальных и текущих ремонтов.

Ожидается, что СТОИР будет распространена на другие виды электрооборудования.

Одним из перспективных методов ремонта ЭО является агрегатно-узловая схема замены неисправных элементов новыми или отремонтированными. Перевод на этот метод ремонта сложного и ответственного оборудования основан на выделении в оборудовании сменных ремонтных агрегатов, узлов и деталей, установлении оптимальных сроков их замены, разработке номенклатуры и необходимого запаса сменных элементов. Таким подходом к осуществлению организации ремонта ЭО по СЭО является вариант, связанный с «выработкой и потреблением ремонтной услуги». Суть метода заключается в том, что через определенный промежуток времени по мере увеличения износа основных деталей ИЭО возникает необходимость их замены новыми деталями или заранее отремонтированными. Это является спросом ЭО на ремонтную услугу. Если спрос не удовлетворить, то изношенная деталь через некоторое время разрушится с прекращением функционирования единицы ЭО в производственном

процессе и возникнет уже аварийный спрос на ремонтную услугу. При этом могут быть повреждены другие детали и узлы вплоть до полного разрушения и списания единицы ЭО. Процесс выработки и потребления ремонтной услуги протекает наиболее эффективно, когда участвующие в нем рабочие места ремонтной службы действуют согласованно и при полной загрузке, а предложения ремонтной услуги совпадают со спросом на нее со стороны конкретной единицы ЭО. Критериями оптимизации задач выработки и потребления ремонтной услуги являются: 1) точность прогнозирования моментов появления спроса на ремонтную услугу; 2) возможность предложения ремонтной услуги в размере спроса для каждого момента времени; 3) обеспечение высокого качества ремонтной услуги; 4) максимальное снижение стоимости простоя ЭО в ремонте.

Все проблемы, обусловленные старением ЭО (снижение надежности, рост ремонтных затрат, увеличение потерь на собственные нужды и др.), распространяются и на комплектные распределительные устройства напряжением 6–10 кВ собственных нужд электростанций, подстанций и промышленных предприятий. Ресурс большинства аппаратов, находящихся в эксплуатации, выработан в среднем на 50–60%. В этих условиях для обеспечения безотказной работы КРУ цикл технического обслуживания (межремонтный период) необходимо сократить с трех до двух лет. Учитывая, что в настоящее время расходы на ремонт КРУ в общей стоимости ремонта ЭО составляют 7–9%, обеспечение безотказной работы КРУ за счет сокращения межремонтного периода приведет к росту общих ремонтных затрат в электроэнергетике.

Московский завод «Электроцит», основной поставщик КРУ в 1950–1980-х гг., предложил новый подход к продлению срока службы изготовленных им ранее КРУ [9]. Комплектная поставка быстро изнашивающихся узлов КРУ, определяющих и обеспечивающих надежность их дальнейшей работы, названа «*ретрофитом*». После удачных испытаний завод начал серийное производство и поставку потребителям выкатных элементов с элегазовыми и вакуумными выключателями для модернизации ячеек КРУ и замены масляных и электромагнитных выключателей. Учитывая, что замене подлежат и аппараты релейной защиты, завод изготавливает релейные шкафы по усовершенствованным схемам как с электромеханическими реле, так и комплектными микропроцессорными устройствами без каких-либо доработок металлоконструкций.

Расходы по «ретрофиту» могут учитываться в составе ремонтных затрат, т.е. дополнительные инвестиции не потребуются. «Ретрофит» позволяет снизить затраты на ремонт КРУ примерно в 3 раза по сравнению с вариантом полной замены КРУ. Исключаются затраты на демонтаж старой ячейки и монтаж новой, изменение ошиновки, строительных конструкций, кабельных коммуникаций и др. Значительно сокращается время на ремонтные работы и появляется возможность их выполнения практически в любое время, а не только в период капитальных ремонтов или остановки энергоблоков.

**Диагностика и мониторинг.** Для оценки остаточного ресурса и проектирования мероприятий по восстановлению ресурса оборудования выполняется диагностический контроль с целью подтверждения его работоспособности и раннего определения начала и последующего процесса развития дефекта. Такой контроль объединяет два направления: диагностику и мониторинг.

*Диагностика* позволяет оценить состояние оборудования и определить вид развивающегося в нем дефекта, а также блокировать процесс развития дефекта, обеспечивая надежную работу оборудования. Выявленный вид дефекта связывается с планированием необходимого минимума ремонта и/или модернизации в наиболее удобное время, принятием мер для предотвращения простоя или аварии, корректировкой режимов и порядком эксплуатации. Правильно спланированные диагностические мероприятия могут значительно увеличить срок эксплуатации оборудования, снизить затраты на обслуживание.

Современные системы диагностики ЭО по способу воздействия на оборудование подразделяются на две группы:

1) тестовая диагностика, требующая формирования искусственных возмущений, воздействующих на оборудование (измерение сопротивления изоляции, токов утечки, внутреннего сопротивления обмоток, тангенса угла диэлектрических потерь, испытания трансформаторного масла и др.);

2) функциональная диагностика, ориентирующаяся на источники естественных возмущений в процессе работы ЭО (контроль прессовки обмоток и магнитопровода силовых трансформаторов по вибропараметрам, метод обнаружения источников внутреннего газовыделения на основе использования акустических датчиков и др.).

В настоящее время тестовое диагностирование – основной вид выявления дефектов ЭО в отечественной энергетике. Оно

определило сложившуюся структуру регламентированного ТОР. Оперативное или функциональное диагностирование развито меньше, существующие методы контроля и диагностики обладают значительной трудоемкостью, хотя они экономически предпочтительнее, так как не требуют даже временного вывода ЭО из эксплуатации.

При замере параметров режима электрохозяйств все чаще используется анализ показателей качества электроэнергии. Современная аппаратура позволяет по спектральным составляющим диагностировать состояние элементов СЭС. Спектральный анализ состояния коммутационного оборудования и средств защиты дает возможность своевременно избежать необоснованных отключений и предотвратить развитие аварии при возникновении повреждений в сети.

Измерение частичных разрядов позволяет эффективно оценить состояние изоляции, выявлять степень ее разрушения и старения, а также осуществлять контроль процесса старения во времени.

Периодический контроль масла, проводимый в рабочем порядке, уменьшает его расход, сокращает простои оборудования, снижает затраты на ремонты и замены. Существующие системы экспресс-анализа масел позволяют оперативно, с минимальными затратами отслеживать изменения в состоянии смазки и состоянии смазываемого оборудования. Параметры трансформаторного масла, например, позволяют оценить состояние различных элементов. Высокой информативностью и достоверностью обладают результаты хроматографического анализа растворенных в масле газов и анализа масла на содержание фурановых составляющих. Анализ отказов силовых трансформаторов позволил сформулировать задачи диагностики [32]:

- 1) выявление опасного ухудшения изоляционных свойств и начальных повреждений изоляции обмоток, отводов и узла РПН;
- 2) обнаружение перегревов токоведущих соединений и изоляции отводов, контактов РПН;
- 3) обнаружение механических деформаций обмоток и ослабление их прессовки;
- 4) выявление дефектов во вводах и предупреждение пробоя их изоляции;
- 5) выявление местных перегревов в остове, его креплениях в баке и электромагнитных шунтах;
- 6) предупреждение механических повреждений устройств РПН.

Контроль фактического состояния вращающегося оборудования, как правило, связывают с вибродиагностикой. Диагностика оборудования по замерам вибрации основана на существующих нормах РД 34.45–51.300–97 «Объем и нормы испытаний электрооборудования» и международных стандартах ISO. Отслеживание изменения состояния оборудования во времени решается путем мониторинга.

*Мониторинг* является непрерывно действующей системой предупреждения аварийного развития события. Анализ отказов ЭО позволил выделить три направления мониторинга [32]:

- 1) контроль и управление нормальными режимами;
- 2) контроль и ограничение аномальных режимов, вызывающих повышенные и недопустимые воздействия на оборудование;
- 3) контроль и диагностика состояния оборудования, предупреждение отказов и опасного развития начальных повреждений.

Анализ динамики изменения во времени контролируемых параметров для оценки степени опасности выявленных дефектов желательно проводить без отключения оборудования от сети, в режиме *On-line Monitoring* (ОЛМ).

**Внедрение системы ОЛМ.** Существующие на предприятиях АСУЭ приобретают дополнительные функции системы ОЛМ и более полной диагностики основных элементов электрохозяйств. ОЛМ – это сервис ЭО под напряжением с целью обеспечения бесперебойного электроснабжения за счет продолжения работы электроустановок во включенном состоянии. Подобная техника контроля и диагностики СТ стала реальностью и уверенно вытесняет традиционные приемы эксплуатации и обслуживания ЭО, например с помощью ОЛМ-подсистемы АСУЭ. Основой этой подсистемы является ЭС, выполняющая интеллектуальную поддержку мониторинга и сигнализации предельных состояний и режимов, диагностики и перевода ЭО на специальный тестовый контроль, управление некоторыми параметрами режима и состояния, обучение персонала. Диагностический мониторинг осуществляется для принятия оперативных решений без отключения ЭО в условиях сложности (отсутствия) полной теории процессов и/или невозможности прямой ее реализации. При этом использованы установленные корреляционные связи и сформулированные экспертные правила.

Режим управления осуществляется с помощью коррекции параметров режима и состояния через выработку взвешенных

решений. Параметрами и режимами управления являются: уровень потерь напряжения и активной мощности; величина потребляемой реактивной мощности; поддержка оптимальных условий эксплуатации ЭО; ограничение динамики развития дефектов и продление работы ЭО в условиях развивающихся дефектов.

**Управление в функции надежности ЭО.** Обеспечение необходимых показателей надежности ЭО является одним из основных направлений снижения производственных затрат в электрохозяйстве. Требуемый уровень надежности ЭО достигается при максимальном использовании совокупного интеллекта предприятия и отрасли – суммы профессиональных знаний, способностей и навыков руководителей, главных специалистов, инженерно-технических работников и рабочих. При этом система должна быть равновесной. Так как если приоритет отдается отдельным составляющим, например, технике, персоналу, или инструкциям, то система в меньшей степени обеспечивает надежность. Обязательными условиями являются предельная объективность в оценке состояния каждой из составляющих и наличие обратной связи в контроле над продуктивностью и результативностью управленческих действий. Формированием технической политики управления надежностью на основе единоначалия занимается главный инженер (энергетик) или коллегиально – технический совет. Считается, что консолидированная схема управления надежностью, не отменяя принципов единоначалия и персональной ответственности руководителя за результаты принимаемых решений, приводит к более эффективному использованию совокупного интеллекта и соответственно к лучшему результату. На практике надежность электрохозяйств обеспечивается техническими и организационными мероприятиями – дублированием подсистем и элементов СЭС и их функций, использованием при управлении избыточной информации, совершенствованием конструкций, материалов и операций технического обслуживания, снижением продолжительности аварийных ремонтов, совершенствованием систем контроля и управления.

**Реализация новых функций АСУЭ.** Основной задачей управления в АСУЭ является необходимость воздействовать на оборудование электрохозяйств и взаимодействовать с внешними системами. Требования, предъявляемые к модернизации АСУЭ по схеме рис. 3.1, включают: функционирование системы в долгосрочной перспективе; автоматизированное управление в усло-

виях нечеткости и неопределенности имеющейся информации; ориентацию как на существующие условия, так и на те, которым предстоит сложиться; осуществление новой системы ТОР СЭО. Опыт и исследования показывают, что наиболее целесообразным направлением решения этих задач является использование компонентов новой информационной технологии и экспертных систем (ЭС). Наличие ЭС, синтезирующих интеллектуальные решения, позволяет сократить число вариантов для принятия решения, свести к минимуму неполноту и противоречивость в исходной информации. Применение статических, динамических и гибридных ЭС, содержащих компоненты многокритериального вывода и обработки ограниченной информации, обеспечивает генерацию новых фактов и данных путем логического вывода из хранящегося набора знаний, позволяет вносить изменения и дополнения в ход решения текущих задач, обеспечить доступ пользователей к знаниям высококвалифицированных специалистов.

Режим реального времени обеспечивает взаимодействие ЭВМ с внешними по отношению к ней процессами в темпе, соизмеримом со скоростью протекания этих процессов. Однако в жизненном цикле ЭО электрохозяйств скорость протекающих процессов находится в диапазоне от долей секунды (электромагнитные процессы) до нескольких лет (изменение показателей надежности). Наиболее различающиеся по времени жизненные циклы процессов наблюдаются при эксплуатации, а постоянные времени длящихся процессов и развивающихся дефектов имеют большой диапазон значений.

Основное свойство проблем управления в реальном времени состоит в решении задач в заданных отрезках времени, поэтому определяющие требования предъявляются к временным характеристикам и скорости быстрогодействия ЭС. Характеристики ЭС распределены и согласованы со скоростью ввода и вывода информации, темпом и режимом процесса управления. При этом следует учитывать роль ЛПР, являющегося преобразователем информации, со своим временем реакции. В связи с разделением времени решения задачи на части для ЭС важно не повышение абстрактного быстрогодействия, а обеспечение такого оптимального распределенного по всем стадиям быстрогодействия, которое требуется ЭС для выполнения решения в заданных временных границах. Следовательно, повышения скорости быстрогодействия следует добиваться не только от ЭС реального времени, но и от других компонентов, обеспечивающих своевременное

поступление информации. Как видно, ускорение вычислений в ЭС реальном времени связано с организацией планирования всех действий при решении задач уникального объекта управления – электрохозяйств, имеющих в своем составе ИЭО.

Реализация новых функций АСУЭ имеет возможность облегчить решение комплекса задач электрогериатрии. Поскольку встроенные ЭС обладают возможностью приобретения знаний экспертов, других источников специальной информации о предметной области и эффективного использования накопленных знаний в нужный момент, то появляется возможность автоматизировать интеллектуальные процессы принятия решений, ранее считавшиеся ограниченно доступными для вычислительной техники. Еще одним важным преимуществом является концентрация принципиальных методов управления в одном месте – централизации и децентрализации функций автоматизации управления, единоначалия и коллегиальности, научной обоснованности принимаемых решений, плановости, иерархичности и обратной связи в процессе прохождения управляющего решения.

Принятие решения по выбору вида ТОР ЭО основывается на технико-экономической целесообразности мероприятий: стоимость оборудования – стоимость систем диагностического контроля – стоимость ремонта – ущерб.

**Оценка целесообразности замены ИЭО.** Для электрохозяйств с ИЭО существуют два варианта функционирования СЭС: замена ИЭО и продолжение его эксплуатации в течение некоторого времени.

При замене ИЭО необходимы дополнительные инвестиции  $\Delta K$ , включающие затраты  $K_d$  на демонтаж ИЭО и  $K_{nm}$  на приобретение и монтаж нового ЭО, обладающего улучшенными техническими характеристиками [38]. Например, если износ изоляции силового трансформатора, определенный в результате исследования его предшествующей нагрузки, возникавших перегрузок, воздействий сквозных токов КЗ, окажется ниже нормативного износа, то допустимо продолжить эксплуатацию трансформатора на дополнительное время  $t_{дон}$  ( $t_{дон} > t_{норм}$ ). В этом случае экономия инвестиционных затрат определяется по выражению:

$$\mathcal{E} = \Delta K \cdot t_{норм} / t_{дон}, \quad (3.1)$$

где  $t_{норм}$  – нормативный срок службы силового трансформатора.

При этом также возможно увеличение параметра потока отказов и повышение расходов на ТОР. Кроме того, изношенные силовые трансформаторы обладают повышенными на 30–50% потерями холостого хода, чем у новых трансформаторов.

Дисконтированные затраты при замене изношенного силового трансформатора новым находятся по выражению (2.22):

$$Z_{зам} = \Delta K \cdot t_{норм} / t_{дон} + \sum_{t=1}^{t_{дон}} K_{зам} / (1 + E_p)^t . \quad (3.2)$$

В состав инвестиционных вложений  $K_{зам}$  входят расходы на амортизацию и ТОР, а также на потери электроэнергии.

В случае продолжения эксплуатации изношенного силового трансформатора формула затрат имеет вид:

$$Z_{пр\ экпл} = \sum_{t=1}^{t_{дон}} K_{пр\ экпл} / (1 + E_p)^t . \quad (3.3)$$

В состав инвестиционных вложений  $K_{пр\ экпл}$  входят увеличенные по сравнению с предыдущим периодом расходы на ТОР, и возможная увеличенная стоимость недоотпущенной электроэнергии потребителям.

Сравнивая затраты и инвестиционные вложения, входящие в (3.2) и (3.3), возможны следующие варианты эксплуатации силовых трансформаторов:

- в резервированной электрической сети следует стремиться к максимально возможному отдалению срока замены работающих трансформаторов новыми при условии, что износ изоляции окажется ниже нормативного износа;

- в нерезервированной электрической сети продолжение эксплуатации изношенного трансформатора возможно лишь в тех случаях, когда годовой ущерб от вероятных недоотпусков электроэнергии потребителям не превышает 10–30% от стоимости самого трансформатора, что практически свидетельствует о неэффективности его дальнейшей эксплуатации.

Для каждого вида ЭО необходима своя математическая модель учета изменения ремонтно-эксплуатационных затрат во времени, в которой учитывается ухудшение технического состояния изношенного электрооборудования.

## **Вопросы для самостоятельной подготовки**

1. В чем заключается задача проектирования и разработки регламента технического обслуживания и ремонта электрооборудования электрохозяйств?
2. Что входит в состав технических осмотров, текущих и капитальных ремонтов электрооборудования?
3. Каковы основные направления повышения эффективности ремонтного производства?
4. В чем особенности ценологических представлений, положенных в основу улучшения организации системы ТОР ЭО?
5. Какими общими недостатками характеризуется система технического обслуживания и ремонта электрооборудования?
6. С какими особенностями связан переход к техническому обслуживанию и ремонту по техническому состоянию электрооборудования?
7. В чем специфика аппаратного пути перехода к техническому обслуживанию и ремонту электрооборудования электрохозяйств по его состоянию?
8. В чем особенности информационного пути перехода к техническому обслуживанию и ремонту электрооборудования по его состоянию?
9. Каковы особенности системы технического обслуживания и ремонта СТОИР?
10. Каковы преимущества агрегатно-узловой схемы замены неисправных элементов?
11. В чем состоит новый подход к продлению срока службы электрооборудования, называемый «ретрофитом»?
12. Каковы основные задачи диагностики электрооборудования СЭС?
13. В чем сущность трех направлений мониторинга ЭО?
14. Какие дополнительные функции приобретает АСУЭ при внедрении ОЛМ-подсистем?
15. Как осуществляется управление в функции надежности электрооборудования?
16. Какие требования предъявляются к модернизации АСУЭ при реализации новых функций?
17. Как проводится оценка целесообразности замены ИЭО?

### 3.4. Реконструкция электрохозяйств



На предприятиях реконструкция технологических объектов и электрохозяйств имеет ряд особенностей: специфичность проектных решений, ограничения по площади, занимаемой оборудованием, необходимость поддержания непрерывного технологического процесса, ограниченные сроки проведения перевооружения. В таких условиях основными целями технического перевооружения и реконструкции электрохозяйства промышленных предприятий являются [1, 22, 42, 47]:

- улучшение технико-экономических показателей;
- рост производительности;
- повышение надежности;
- совершенствование условий эксплуатации;
- улучшение экологической обстановки и условий труда;
- обеспечение электромагнитной совместимости;
- снижение потерь и потребляемой электроэнергии;
- повышение напряжения питания;
- увеличение числа присоединений;
- повышение пропускной способности;
- ограничение токов КЗ и ряд других.

При проектировании реконструкции целесообразно руководствоваться опытом успешного проведения технического перевооружения действующих электроустановок в соответствующих отраслях промышленности и энергетике [42, 47]. Реконструкция электрохозяйств, как правило, подчинена требованию нахождения в границах ранее отведенной территории или не расширения существующего производственного здания. При этом условия для установки дополнительного оборудования или использования оборудования с большими габаритами необходимо более компактное его расположение. Основными направлениями «компактной реконструкции» для электрооборудования электрохозяйств являются:

- совершенствование строительной части открытых распределительных устройств (применение конструкции блочного рамочного типа, использование подвесок и несущих тросов, использование трубчатых и коробчатых порталов);
- совершенствование существующей строительной части закрытых устройств (надстройка зданий дополнительными эта-

жами, размещение открытых РУ на крыше здания, использование подземных этажей и подвалов);

- совершенствование строительной части закрытых устройств при строительстве новых зданий (использование многоэтажных зданий, совмещение – блокировка открытых РУ со зданиями закрытых распределительных устройств);

- совершенствование компоновки оборудования (уплотнение, многоярусное размещение, смешанное размещение в помещении и вне его);

- снижение уровня перенапряжений (глубокие ограничения перенапряжений, схемные и режимные ограничения);

- применение специально усовершенствованного оборудования (например, КРУ типа К-66).

При реконструкции ГПП, РП и других подстанций могут быть использованы следующие варианты технических решений использования:

- фиксированной ошиновки (жесткой ошиновки и пространственных шинных конструкций, фиксация расположения гибких шин);

- многофункционального оборудования (выкатного типа и комбинированных аппаратов);

- усовершенствованных коммутационных аппаратов (разъединителей с новыми кинематическими схемами, подвесных выключателей);

- элегазового оборудования;

- изоляционных конструкций уменьшенных габаритов (изоляторов внутренней установки; изоляторов, рассчитанных на глубокие ограничения перенапряжений; изоляторов с усовершенствованной формой поверхности, с увеличенной активной высотой за счет внутренней заделки арматуры).

Для реконструкции электрохозяйства действующих предприятий необходима разработка соответствующих проектных решений и требований к проекту реконструкции. Проектирование технического перевооружения РУ и ТП носит комплексный характер как по содержанию, так и по виду работ. Это означает, что электротехническая часть проекта в значительной степени зависит от смежных с ней частей (технологической, строительной, сантехнической и др.), поэтому для ввода новых объектов в короткие сроки и с наименьшими затратами крайне важна их взаимная и своевременная увязка. При выполнении всех видов работ: предварительные изыскания и обследование объекта, проектирование, изготовление технической документации,

согласование ее со службами завода и инспектирующими организациями, курирование строительства и монтажа (см. гл. 1), которые проектная организация чаще всего осуществляет сама, должен учитываться опыт аналогичного строительства и эксплуатации, что способствует совершенствованию проектируемых объектов. При компоновке электротехнических помещений и размещении электрооборудования необходимо принимать во внимание все влияющие факторы: производительность установок, надежность электрооборудования, занимаемую им площадь, объем помещения, численность персонала, безопасность обслуживания, простоту замены оборудования, удобство монтажа, ремонта и эксплуатации, стоимость сооружения.

Принятие оптимального компоновочного решения ограничено размерами и конфигурацией существующих электротехнических помещений. Следует, с одной стороны, наиболее рационально расположить оборудование, а с другой – не выйти за границы ранее отведенной территории, как правило, не увеличивая объема зданий. Применение более компактного оборудования позволит решить эту проблему и высвободить место для установки дополнительного оборудования, например для реализации энергосберегающих мероприятий. Дополнительной площади требует и оборудование, устанавливаемое в связи с увеличением производительности или повышением мощности технологических установок.

Учитывая это, проект предусматривает несколько вариантов расстановки оборудования для нахождения наиболее благоприятной.

**Структура и объем проектных работ.** Исполнитель проекта должен выполнить следующие подготовительные мероприятия:

- при необходимости обследовать объект с целью формулирования технических требований для получения исходных данных на проектирование и согласование их с отделом главного энергетика;
- определить согласно ПУЭ класс объекта по условиям взрыво- и пожаробезопасности;
- разработать рабочую документацию, включающую обычно проекты электротехнической и строительной частей, отопления и вентиляции, автоматики, пожарной сигнализации, а также сметную документацию и общую пояснительную записку.

В проектах следует учитывать также перспективы внедрения энергообъектов с конкретными техническими и потреби-

тельными требованиями, например, возможность развития сети, РУ и ТП, повышение надежности электроснабжения в целом и каждого аппарата в отдельности, снижение потерь электроэнергии, обеспечение безопасности персонала и исключение неправильных его действий, уменьшение трудовых затрат на эксплуатацию, формализацию эксплуатационных проверок и ремонтов, улучшение технических и эксплуатационных характеристик устройств релейной защиты и коммутационных аппаратов, возможность организации новой АСУТП или привязки к существующей, а также повышение уровня пожаро- и взрывобезопасности. Кроме того, надо принимать во внимание степень готовности объекта, наличие сертификатов, согласований с органами Энергонадзора, отраслевыми органами по эксплуатации и отраслевыми проектными организациями, полного комплекта заводской документации на языке страны-заказчика, а также возможность комплексной поставки энергосберегающих устройств в составе распределительных подстанций.

**Технические требования к проекту.** Технические требования к основным разделам проекта являются типовыми (см. гл. 1–2). Следует рассмотреть лишь специфику трех дополнительных разделов, отражающих особенности реконструкции электроустановок действующих предприятий: техническое задание для проведения тендера на поставку оборудования, принципиальные схемы управления электроприводами с привязкой их к АСУТП и АСУЭ, проект временного электроснабжения установки на период замены оборудования. Это позволит более качественно, в короткие сроки и с меньшими затратами провести реконструкцию электроустановок действующих предприятий.

*Техническое задание на проведение тендера* по поставке оборудования – задание заводу-изготовителю. Этот раздел проекта предусматривается для особо ответственных электроустановок. Выдача его в виде отдельного тома целесообразна как для отдела главного энергетика заказчика, так и для участвующих в тендерах заводов-изготовителей. Отказ от этого этапа существенно снизит качество выполняемого проекта. Как показывает опыт [42], такое техническое задание должно включать:

- расчет электрических нагрузок и выбор мощности цеховых трансформаторов;
- рассмотрение вариантов принципиальных однолинейных схем основного силового оборудования для выбора оптимального варианта по согласованию с заказчиком;

- разработку при необходимости принципиальных схем управления электроприводами для включения их в задание заводу-изготовителю;
- компоновку на основе выбранных однолинейных схем силовых шкафов, РУ и ТП с учетом резервирования;
- разработку по результатам компоновочных решений планов расстановки электрооборудования в помещениях и затем составление задания на строительство;
- подготовку и оформление технических требований на изготовление и поставку электрооборудования в виде пояснительной записки.

*Принципиальные схемы* управления электроприводами с привязкой их к АСУТП и АСУЭ. Этот раздел предусматривается для общецеховых механизмов (вентиляторов, насосов, компрессоров), имеющих разветвленные цепи управления, связи с другими механизмами и устройствами, сложную пускорегулирующую аппаратуру, выходы в системы сигнализации и АСУТП. Выдача этого раздела проекта в виде отдельного тома также целесообразна как для отдела главного энергетика заказчика, так и для участвующих в тендерах заводов-изготовителей. Без него невозможно подготовить полноценный кабельный журнал, а также осуществить привязку схем управления, сигнализации и АСУТП к схемам силового оборудования. Раздел должен включать:

- принципиальные схемы и схемы соединений и подключений шин управления;
- принципиальные схемы и схемы соединений и подключений устройств группового управления электроприводами;
- принципиальные электрические схемы управления и схемы соединения электроприводов;
- шкафы вторичных соединений, расположение аппаратов и схемы соединений;
- кабельный журнал и/или таблицы подключения кабелей;
- спецификации оборудования и материалов.

Как показывает опыт, данный раздел проекта может быть использован при проведении тендера на изготовление шкафов и щитов вторичных соединений (при большом количестве и плотности коммутационных и релейных элементов).

*Проект временного электроснабжения* установки на период замены электротехнического оборудования включает:

- принципиальную схему временной сети напряжением 6–10 кВ, в том числе проект этой сети и план ее прокладки, расчет токов КЗ и уставок релейной защиты;

- принципиальную схему временной сети напряжением до 1 кВ, в том числе расчет нагрузок, токов КЗ, падений напряжения по каждому присоединению, выбор кабелей и проверку коммутационных аппаратов, план сети напряжением до 1 кВ по отдельным участкам объекта и временные кабельные сети напряжением до 1 кВ;

- проект подключения существующей и дополнительной временной сети сварочных постов и распределительных щитов;

- задание заводу-изготовителю на производство временных распределительных щитов для электроприемников;

- схему заземления электрооборудования;

- кабельный журнал, ведомость объема работ, спецификации оборудования, изделий и материалов.

Данный том проекта реконструкции представляет собой небольшой вполне самостоятельный проект электроснабжения, требующий согласования в инспектирующих органах в установленном порядке.

### **Вопросы для самостоятельной подготовки**

---

1. Какие особенности имеет реконструкция технологических объектов и электрохозяйств предприятий?

2. С какими целями осуществляется техническое перевооружение и реконструкция электрохозяйств предприятий?

3. Каковы основные направления «компактной реконструкции» электрооборудования электрохозяйств?

4. Какова структура и объем проектных работ при реконструкции электрохозяйств промышленных предприятий?

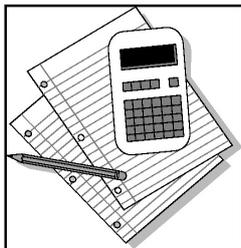
5. В чем особенность трех дополнительных проектных разделов, отражающих особенности реконструкции электроустановок действующих предприятий?

6. Что предусматривает раздел проекта «техническое задание на проведение тендера по поставке оборудования – задание заводу-изготовителю»?

7. Что включает раздел проекта «принципиальные схемы управления электроприводами с привязкой их к АСУТП и АСУЭнерго»?

8. Каково содержание раздела «проект временного электро-снабжения установки на период замены электротехнического оборудования»?

### 3.5. Проектирование энергосбережения



#### **Основные направления энергосбережения.**

Энергосбережение является самостоятельным и крупным источником энергоснабжения предприятий всех отраслей. **Энергосбережение** – это комплекс правовых, организационных, научных, производственных, технических и экономических мероприятий, направленных на эффективное использование энергетических ресурсов. Энергосберегающая политика государства закреплена в Федеральных законах «Об электроэнергетике» и «Об энергосбережении». На основании федеральных документов разработаны и действуют отраслевые и региональные программы по энергосбережению [3, 18, 22, 29, 50, 51]. Важнейшим звеном комплексных программ является система нормирования и планирования энергопотребления, включающая:

- научное обоснование норм, определяемое зависимостями, связывающими потребление энергоресурсов с факторами производства; возможность определения норм расхода энергии как агрегированием норм расхода низшего уровня, так и прогнозируемому уровню энергопотребления как отдельного цеха, так и предприятия в целом;
- обеспечение оптимального режима потребления энергоресурсов путем установления удельного расхода энергии как минимально возможной величины или величины, соответствующей оптимальным значениям других производственных показателей;
- методическое обеспечение нормирования на высших иерархических уровнях предприятия и отрасли, предусматривающее классификацию объектов по условиям производства и величине потребления энергии. Установление закономерностей потребления для однородных групп объектов и определение плановой меры расхода энергии для соответствующих условий производства каждой группы.

Промышленность является одновременно крупным энергопотребителем и источником *вторичных энергетических ресурсов* (ВЭР), использование которых сокращает использование других

энергоносителей. ВЭР классифицируются обычно следующим образом:

- образующиеся горючие энергетические ресурсы;
- тепловые энергетические ресурсы – физическое тепло отходящих газов и пара;
- ресурсы технологических газов с избыточным давлением и образующиеся при переработке природного газа.

Большое значение имеет возвращение ВЭР непосредственно в технологический процесс и использование утилизируемой энергии для выработки энергоресурсов в виде электроэнергии, пара или горячей воды. Нереализованный потенциал энергосбережения в части утилизации ВЭР на отечественных предприятиях довольно высок. Энергоемкость промышленной продукции в России в 2–5 раз выше, чем в ведущих странах Евросоюза, а энергетические затраты в себестоимости металлопродукции в России составляют 30–35%, а на аналогичных зарубежных предприятиях – 18–22%. Наибольшие резервы экономии топливно-энергетических ресурсов на отечественных предприятиях скрыты в технологических процессах.

В современных экономических условиях требуются новые подходы в организации электропотребления: снижение общезаводских расходов электроэнергии; замена недогруженного оборудования; разработка энергосберегающих режимов при простое оборудования или отключении; применение более эффективного оборудования, с меньшими непроизводительными расходами; постоянный контроль показателей электропотребления, энергетический мониторинг. Передовой опыт промышленно развитых стран определил концептуальные подходы к менеджменту энергоресурсами с целью их оптимизации.

**Принципы энергоменеджмента** включают концепции энергетического менеджмента, энергоаудита и энергетического мониторинга.

**Энергоменеджмент** обеспечивает планирование, управление, контроль энергетических потоков и балансов энергоресурсов с целью их оптимизации и повышения энергоэффективности предприятий. Энергоменеджмент предполагает: организацию учета энергопотребления; разработку планов и режимов по управлению энергопотоками; проведение энергоаудита, составление энергопаспорта предприятия, его структурных подразделений; разработку прогнозных моделей энергопотребления; подготовку рекомендаций по эффективному, рациональному использованию энергоресурсов; организацию эффективного контроля

использования энергоресурсов; анализ новых проектов с учетом их энергоэффективности.

Реализация мероприятий по энергосбережению требует инвестиций, которые могут быть:

– без затрат и не требуют инвестиций в новое оборудование, быстро внедряются, но могут привести к изменению методов работы и потребовать соответствующего обучения обслуживающего персонала;

- малозатратными, требующими небольших затрат и обеспечивающие возврат вложенных средств до одного года;

- долгосрочными с крупными инвестициями в новое оборудование и технологии. Основной причиной внедрения долгосрочных проектов может служить не только снижение энергопотребления, но и модернизация, выпуск новой продукции и улучшение ее качества, увеличение объема производства, уменьшение загрязнения окружающей среды.

Система энергетического менеджмента должна быть согласована на техническом уровне с целью создания информационной системы, и на уровне управления – для создания структуры менеджмента, несущей ответственность за информационное обеспечение и разработку необходимых решений.

**Энергоаудит** позволяет выполнить анализ использования энергоресурсов и их стоимости, выявить места их нерационального использования, разработать программу энергосбережения предприятия. Основные цели энергоаудита – количественная оценка потребления энергоресурсов на предприятии и разработка энергосберегающих проектов. Эта информация должна давать возможность проводить эффективный бенчмаркинг (сравнение с данными по различным предприятиям отрасли или другими аналогами). При реализации энергоаудита выделяются следующие этапы:

- расчет энергопотребления и затрат (исследование предприятия; сбор и анализ информации по энергопотреблению; составление плана действий на основе списка вопросов; организация сбора данных по бухгалтерским отчетам; формирование группы специалистов по направлениям, которые помогают на всех этапах аудита);

- расчет энергетических потоков (составление баланса по всем энергоресурсам, выявление основных потребителей и зон наиболее вероятной экономии энергоресурсов);

- критический анализ энергопотоков и предложение путей снижения энергозатрат на основе собранной информации;

- разработка энергосберегающих проектов (анализ и проработка идей до обоснованных энергосберегающих проектов; сравнение альтернативных и выбор лучших; разработка системы проектов);
- экспертиза энергосберегающих проектов (оценка последствий внедрения проектов, их технологической целесообразности и реализуемости, стоимости и окупаемости, приоритетов);
- представление результатов (составление отчетов и представление результатов энергетического обследования руководителям и заинтересованным специалистам предприятия).

Энергоаудит рассматривается не только как техническая задача, он подкрепляется юридической системой взаимоотношений энергоснабжающей организации и потребителя, а также экономически обоснованными источниками финансирования договорных отношений.

Решение проблемы энергосбережения на промышленном предприятии связано с разработкой системы **целевого мониторинга** – создания АСУЭ с подсистемой АСКУЭ (автоматизированной системы контроля и учета энергоресурсов) для минимизации энергозатрат, составления и ведения энергетических балансов. Потребление энергоресурсов в промышленности зависит от множества производственных и технологических факторов, большинство из которых в настоящее время не учитываются при анализе, планировании и управлении энергопотоками. Эффективное управление промышленным объектом возможно только в случае, когда основные закономерности, присущие объекту, определены и представлены в виде математических моделей – *энергетических балансов* объекта энергопотребления – цеха, производства, предприятия, отрасли.

*Энергобалансы*, в зависимости от их функционального назначения, классифицируются по следующим признакам: время разработки, объект энергопотребления, целевое назначение, совокупность видов анализируемых потоков энергии, способ разработки и форма составления. Энергобалансы формируются из объемов энергопотребления, производства и утилизации как покупных, так и собственных энергоносителей и топлива для выпуска основной и побочной продукции. Помимо общего баланса и структуры энергозатрат, которые характеризуют энергоемкость отдельных производств и цехов, для правильного анализа, планирования и прогнозирования, определения путей энергосбережения немаловажна также и динамика энергопотребления по основным подразделениям предприятия.

**Сокращение электропотребления.** Важной составляющей промышленных энергобалансов является значительный уровень электропотребления. Для решения проблемы электросбережения выделяют два основных направления:

- 1) снижение себестоимости потребленной электроэнергии;
- 2) сокращение объема электропотребления.

*Первое направление* связано с совершенствованием тарифов на электроэнергию, широким использованием собственных электростанций, регулированием графиков электрических нагрузок предприятия.

*Второе направление* определяется разработкой научно обоснованных норм расхода электроэнергии и прогнозных моделей, учитывающих основные факторы, влияющие на электропотребление; утилизации вторичных энергетических ресурсов и сокращения выбросов парниковых газов.

Анализ вводимых энергетических мощностей для выработки электрической энергии показывает перспективность электростанций единичной мощностью 0,5–30 МВт, например, турбодетандерных агрегатов, использующих энергию сжатого природного газа. Они позволяют более чем в два раза сократить расход топливных ресурсов по сравнению с традиционными технологиями, обеспечить низкую себестоимость вырабатываемой электроэнергии, сократить выбросы в атмосферу. Такие электростанции требуют на 35–55% меньших инвестиций по сравнению с крупными ТЭЦ, что достигается отказом от сооружения систем циркуляционного водоснабжения, удешевлению электрической части, упрощению оборудования турбинного цеха, тепловой схемы и снижению стоимости техобслуживания; снижению удельных расходов топлива; уменьшению срока окупаемости и сокращению до 2–3 лет сроков ввода в эксплуатацию. Себестоимость электрической энергии, вырабатываемой собственными энергетическими мощностями, в 2–3 раза ниже, чем стоимость из региональной энергосистемы. Применение малой энергетики связано с определенной реконструкцией системы электроснабжения: ограничением возможных токов КЗ; обеспечением селективности действия релейной защиты; обеспечением динамической устойчивости генераторов при КЗ в распределительной сети 6–10 кВ; повышением качества электроэнергии.

Большие возможности для сокращения электропотребления имеются в сфере различных технологических режимов и способов их регулирования.

**Совершенствование и рационализация технологических процессов.** Энергосбережение и рационализация производства сводится в первую очередь к снижению потерь энергии. Анализ структуры потерь в области производства, распределения и потребления электроэнергии показывает, что до 90% приходится на сферу энергопотребления, тогда как потери при передаче электроэнергии составляют лишь 10%. Усредненная структура потребителей электроэнергии выглядит следующим образом: электроприводы – 60%, электрический транспорт – 9%, электротермия и электротехнология – 10%, освещение и прочие потребители – 21% [3, 51]. Возможности для сокращения электропотребления заключаются в проектировании и реализации следующих операций: применения новых, энергосберегающих технологий; автоматизации технологических процессов с целью их оптимального протекания; уплотнения технологических циклов; использования вторичных энергоресурсов и других технологических мероприятий.

**Внедрение прогрессивных технологий и режимов работы оборудования.** Потери электроэнергии, вызванные нерациональной технологией и организацией производства, в ряде случаев могут превышать потери основных энергетических процессов. Применение индукционной термообработки деталей и закалки их токами высокой частоты вместо термообработки в печах сопротивления позволяет в 2–3 раза сократить расход электроэнергии. В цветной металлургии внедрение автогенной плавки медно-никелевого сырья в агрегатах непрерывного действия позволяет сократить удельный расход электроэнергии более чем в 2 раза.

**Улучшение качественных характеристик используемого оборудования.** Анализ энергобалансов электротермических печей, которые являются одними из самых энергоемких электроустановок, показывает, что потери теплоты через их поверхность составляют до 50% от всей потребляемой электроэнергии, что свидетельствует об имеющихся резервах экономии.

**Совершенствование конструкций промышленных зданий и сооружений.** Опыт зарубежной энергетики показывает, что только за счет применения таких очевидных мероприятий, как усиление теплоизоляции зданий, устройство уплотняющих прокладок окон и дверей, рациональное сокращение площади окон и т.д., можно снизить до 50% потребления энергии на отопление и кондиционирование промышленных зданий и сооружений.

**Конструкционные мероприятия** также связаны с уменьшением материалоемкости изделий; заменой металла синтетическими материалами; заменой литых деталей штампованными; применением точного литья. В результате изменения механической обработки ковкой и штамповкой, а также точным литьем за счет уменьшения обработки резанием удельный расход электроэнергии сокращается на 15–20%.

**Внедрение прямого технологического использования электроэнергии.** Наибольший эффект от применения электроэнергии достигается в том случае, когда электроэнергия используется непосредственно на выполнение технологической операции.

**Регулирование скорости производственных механизмов.** Отсутствие возможности для регулирования скорости большинства производственных механизмов не позволяет обеспечить режим рационального энергопотребления при изменении технологических нагрузок, поэтому появляется необходимость в реконструкции электроприводов переменного тока для получения регулировочных возможностей [22, 51]:

- отключения электродвигателей в результате вынужденных и плановых простоев с последующей реализацией управляемого «мягкого» пуска с ограничением динамических моментов и пусковых токов;
- создания ступенчатого регулирования скорости, обеспечивающего экономичные режимы работы;
- плавного регулирования частоты вращения двигателя с высокой точностью и в широком диапазоне.

Первые два направления могут дать ощутимый эффект при незначительных затратах и использовании тиристорных преобразователей постоянного тока, освобождаемых в результате реконструкции ряда цехов.

Современный уровень развития силовой электроники, микропроцессорных средств управления и контроля, средств автоматического регулирования позволяет широко использовать эти технические достижения для решения задач снижения электропотребления по следующим актуальным эффективным направлениям:

- внедрение частотно-регулируемых асинхронных электроприводов в технологических системах водоснабжения, водоотведения, отопления и вентиляции для регулирования скорости вращения насосов, вентиляторов, нагнетателей, воздуходувок и компрессоров;

- применение динамичных электроприводов и средств автоматизации в металлургическом производстве и в других энергоемких процессах;
- модернизация подъемно-транспортных механизмов (кранов, подъемников, лифтов) путем установки частотно-регулируемых электроприводов, имеющих возможность рекуперации энергии в сеть при опускании груза;
- применение в электроприводах переменного тока современных частотных преобразователей со встроенной функцией оптимизации энергопотребления.

**Применение частотно-регулируемого электропривода в системах водоснабжения, водоотведения, отопления и вентиляции** позволяет получить весьма высокий технико-экономический эффект. Электроприводы подобных механизмов потребляют не менее 20–25% всей вырабатываемой электроэнергии и в большинстве случаев остаются нерегулируемыми, что не позволяет получить режим рационального энергопотребления и расхода воды, пара, воздуха при изменении технологических потребностей в широких пределах. Силовое оборудование выбирается на максимальную производительность, в действительности же его среднесуточная загруженность может составлять около половины от номинальной мощности. Значительное снижение момента нагрузки при снижении скорости вращения приводного двигателя, характерное для рассматриваемых механизмов, обеспечивает до 50% экономии электроэнергии при использовании регулируемого электропривода и позволяет создать принципиально новую регулируемую технологию транспортировки воды и воздуха. Кроме того, поддержание в системе минимально необходимого давления приводит к существенному уменьшению непроизводительных расходов транспортируемого продукта и снижению аварийности гидравлических и пневматических сетей. Опыт применения частотно-регулируемых электроприводов в водоснабжении показывает, что можно сэкономить до 25% воды, что также дает значительную экономию эксплуатационных затрат.

Невысокие требования к качеству регулирования давления и расхода обуславливают возможность применения наиболее простых и, следовательно, относительно недорогих преобразователей частоты, которые являются наиболее удобными с точки зрения проектирования и наладки. Положительным моментом является также то, что преобразователь частоты может быть легко внедрен в уже существующую установку без какой-либо

реконструкции системы в целом. Сочетание высокой экономичности регулирования и относительно низкой стоимости оборудования обеспечивает минимальный срок его окупаемости. В целом применение частотно-регулируемого асинхронного электропривода в насосных и вентиляторных установках дает следующие преимущества:

- экономию до 50% электроэнергии;
- экономию до 25% транспортируемого продукта за счет снижения непроизводительных расходов;
- снижение аварийности гидравлической или пневматической сети за счет поддержания минимально необходимого давления;
- снижение аварийности сети и самого агрегата за счет возможности применения плавного пуска;
- повышение надежности и снижение аварий.

**Модернизация подъемно-транспортных механизмов**, в большинстве из которых используются асинхронные двигатели с фазным ротором и релейно-контакторной схемой управления. Перевод на частотно-регулируемый привод связан со следующими преимуществами:

- преобразователи частоты повышают энергетические характеристики электроприводов по сравнению с параметрическими преобразователями и реостатным регулированием; преобразователи с возможностью рекуперации могут обеспечить возврат электроэнергии в сеть вместо сброса ее на тормозные сопротивления в цепи ротора;
- существенно повышаются точность и качество регулирования скорости;
- улучшается плавность пуска и торможения, сокращаются резкие толчки, продлевается срок службы всех механических элементов крана, повышается комфортность управления и сохранность груза;
- асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором при такой замене дешевле и надежнее двигателей с фазным ротором.

Отдельным классом подъемно-транспортных механизмов являются лифты, для которых используются двухскоростные асинхронные двигатели с контакторным управлением. Переход к частотно-регулируемому электроприводу позволяет до 50–60% снизить расход электроэнергии, увеличить надежность работы схемы благодаря ограничению ударных моментов в переходных режимах, обеспечить эргономические требования по ограниче-

нию рывков и ускорений, применять более дешевые односкоростные асинхронные двигатели.

**Применение регулируемого электропривода для поддержания уровня жидкости в резервуарах.** В подобных системах при использовании нерегулируемого электропривода задача обычно решается работой двигателя в кратковременном режиме, когда происходит периодическое включение–отключение двигателя при достижении минимальных–максимальных значений уровня. Использование частотно-регулируемых асинхронных электроприводов позволяет снизить расход электроэнергии, поддерживая практически постоянным уровень жидкости независимо от ее расхода и притока, исключая гидроудары в системе, связанные с частыми пусками двигателя.

**Оптимизация энергопотребления в частотно-регулируемых приводах.** Многие современные преобразователи частоты содержат в себе функции энергосберегающего управления, которое заключается в более гибком изменении напряжения двигателя при регулировании нагрузки, что позволяет в некоторых режимах дополнительно сэкономить до 30% потребляемой электроэнергии за счет снижения потерь в двигателе. Режим энергосбережения особенно актуален для механизмов, которые часть времени работают с пониженной нагрузкой, например конвейеры, насосы, вентиляторы. Учитывая тот факт, что во многих случаях асинхронные двигатели выбираются с существенным запасом по мощности и, следовательно, часто работают с неполной нагрузкой, можно ожидать высокой эффективности широкого использования энергосберегающих преобразователей частоты.

### **Экономия электроэнергии в осветительных установках**



На предприятиях в зависимости от характера технологического процесса затрачивается на электрическое освещение в среднем около 10% потребляемой электроэнергии. Наиболее распространенными источниками света являются:

- лампы накаливания (имеют простую схему включения, что делает этот источник наиболее надежным; они практически не критичны к изменениям условий внешней среды, включая температуру, но очень чувствительны к отклонениям питающего напряжения; основным недостатком ламп накаливания является низкий, около 2%, КПД);

- газоразрядные лампы (трубчатые люминесцентные лампы низкого давления, ртутные лампы высокого давления, металлогалогенные, натриевые и ксеноновые);

- кварцевые галогенные лампы (трубчатые лампы типа КГ мощностью 1–5 кВт; перспективные источники мощностью до 20 кВт).

*Люминесцентные лампы низкого давления* работают до 10 тыс. ч; в меньшей степени, чем лампы накаливания реагируют на отклонения напряжения; но при низком напряжении зажигание ламп не обеспечивается; отрицательно влияют на работу ламп колебания напряжения питающей сети; срок службы ламп сокращается при значительном снижении напряжения и частом включении; наиболее широко применяются лампы мощностью 40 и 80 Вт.

Среди *ртутных ламп высокого давления* широкое применение получили дуговые *ртутные люминесцентные (ДРЛ)* мощностью 0,25–1 кВт; изменение внешней температуры на эти лампы практически не влияет; средний срок службы составляет 10 тыс. ч; при зрительной работе высокой точности эти лампы применять нежелательно.

*Трубчатые ксеноновые лампы*, у которых параметры практически не зависят от температуры окружающей среды, имеют большую единичную мощность и применяются для освещения площадей, территорий различных объектов.

*Металлогалогенные лампы – дуговые ртутные с добавками йодидов металлов (ДРИ)* – имеют высокую световую отдачу и хорошую цветопередачу; параметры ламп сильно зависят от колебаний напряжения сети; срок службы ламп составляет в среднем 1–5 тыс. ч.

*Натриевые лампы высокого давления (НЛВД)* являются весьма эффективными источниками света; они малочувствительны к изменению температуры окружающей среды и работают в диапазоне от –60 до +50 °С; электрические параметры ламп сильно зависят от напряжения сети; имеют высокую светоотдачу и срок службы, являются перспективными источниками света.

Экономия электроэнергии в осветительных сетях обычно получают за счет [3, 22, 51]:

- применения надежных и экономичных источников света, пускорегулирующей аппаратуры, систем комбинированного освещения;

- автоматического регулирования освещения путем включения и отключения источников света по специальной программе;
- нормализации режимов изменения напряжения в осветительных сетях;
- рационального размещения источников света;
- надлежащей эксплуатации систем цехового освещения.

Одной из основных проблем, определяющих экономичность внутреннего освещения, является правильный выбор системы освещения (общее, комбинированное), который зависит во многом от технологических особенностей производства. Немаловажным при этом является применение источников света с высокой световой отдачей (металлогалогенных, натриевых ламп и др.). Опыт эксплуатации осветительных сетей показал высокую эффективность применения газоразрядных ламп, установок смешанного света (например, натриевых ламп высокого давления в сочетании с лампами типа ДРИ и ДРЛ). Общим недостатком газоразрядных ламп является наличие стробоскопического эффекта, обусловленного пульсацией светового потока, проявляющегося, например, в восприятии вращающихся частей машины неподвижными. При этом одной из действенных мер по снижению пульсаций светового потока служит включение ламп на разные фазы трехфазной электрической сети. По данным [51] снижение электропотребления при замене источника искусственного освещения может составлять 24–68% (табл. 3.1).

Таблица 3.1-Экономия электроэнергии за счет перехода на более эффективные источники света

Заменяемые источники света	Среднее значение экономии электроэнергии, %
Люминесцентные лампы на металлогалогенные	24
Ртутные лампы на:	
• металлогалогенные	42
• люминесцентные	22
• натриевые	45
Лампы накаливания на:	
• металлогалогенные	66
• люминесцентные	55
• ртутные	42
• натриевые	68

В перспективе при разработке новых источников света значительную экономию электроэнергии до 14% может дать перевод питания осветительных установок на напряжение 380 В вместо 220 В.

Правильное размещение выбранных светильников определяет доступность обслуживания и экономичность осветительных сетей. Эффективным считается пакетный способ размещения светильников (вместо линейного), при котором над приемником электроэнергии располагают по три-четыре светильника, потребность светильников уменьшается в 2 раза.

Действенным средством экономии электроэнергии в осветительных сетях является применение рациональных систем автоматического управления освещением в течение суток и ограничение повышенных уровней напряжения на зажимах источника света. Для автоматизации управления включением и отключением осветительных установок применяют: фотоавтоматы, фотореле, программные реле времени. Однако регулирование освещенности отключением групп источников света сокращает срок службы некоторых типов ламп и усложняет осветительные сети. Так, каждое включение сокращает срок службы ламп примерно на 2 ч.

Работа газоразрядных ламп сопровождается потреблением из сети реактивной мощности. Для снижения потребления вместо дроссельных пускорегулирующих устройств используются электронные (в частности, высокочастотные). Однако главными причинами перехода на новые, более современные устройства являются экономия электроэнергии в светильниках и повышение качества освещения.

Перспективным путем экономии электроэнергии в осветительных сетях является разработка и внедрение новых высокоэкономичных источников света.

Экономия электроэнергии на освещение, получаемая при замене старых источников света (индекс 1) на новые, высокоэкономичные (индекс 2):

$$\Delta W = T_{oc} (k_1 \cdot p_1 \cdot n_1 \cdot N_1 - k_2 \cdot p_2 \cdot n_2 \cdot N_2), \quad (3.4)$$

где  $T_{oc}$  – число часов использования максимума осветительной нагрузки в год (750 ч. при одной смене; 2250 ч. при двух сменах; 4150 ч. при трех сменах);  $k_{1,2}$  – коэффициент, учитывающий потери мощности в сетях и пускорегулирующей аппаратуре (для ламп накаливания – 1,3; люминесцентных – 1,23; газоразрядных высокого давления – 1,13);  $p_{1,2}$  – мощность одной лампы, Вт;  $n_{1,2}$  – число ламп в одном светильнике;  $N_{1,2}$  – число светильников.

**Снижение электропотребления в системах электро-снабжения.** Основные пути снижения потерь электроэнергии в системах электроснабжения связаны с несовершенством СЭС, передачей реактивной энергии, технологическими потерями, нарушением электромагнитной совместимости и ухудшением показателей качества электроэнергии, недостатками в организации производства.

**Экономия электроэнергии при компенсации реактивной мощности.** Компенсация реактивной мощности у потребителей позволяет:

- снизить ток в передающих элементах сети, что приводит к уменьшению сечения сетей;
- уменьшить полную мощность, что снижает мощность трансформаторов и их число;
- уменьшить потери активной мощности.

При проектировании средств компенсации следует рассмотреть возможность «естественных» мероприятий по снижению реактивной мощности:

- повысить загрузку технологических агрегатов и их использования по времени;
- применить ограничители холостого хода асинхронных электродвигателей и сварочных агрегатов;
- заменить, переключить или отключить трансформаторы, загруженные в среднем менее 30% от их номинальной мощности;
- заменить малонагруженные двигатели двигателями меньшей мощности;
- заменить асинхронные двигатели синхронными в новых установках электропривода там, где это приемлемо. Это мероприятие может осуществляться без предварительных технико-экономических расчетов. Основными достоинствами синхронных двигателей, кроме выдачи в сеть реактивной мощности, является более высокий на 1–3% КПД по сравнению с асинхронными и меньшая чувствительность к изменению напряжения;
- учесть особенности конструктивного выполнения асинхронных двигателей, которые влияют на их реактивную мощность. Закрытые и взрывозащищенные асинхронные двигатели имеют увеличенный по сравнению с обычным объем магнитной цепи и большую реактивную мощность, следовательно, их использование должно быть обосновано. Тихоходные двигатели имеют также больший объем магнитопровода, поэтому их применение должно по возможности ограничиваться.

Наиболее распространенным средством компенсации реактивной мощности в промышленных СЭС является применение конденсаторных установок. Это дает возможность не только повысить коэффициент мощности ( $\cos\varphi$  или в международном обозначении PF – power factor) до требуемой величины и уменьшить потери электроэнергии в элементах сети электроснабжения, но и является, наряду с другими мероприятиями, средством регулирования напряжения в различных точках сети и повышения качества электроэнергии. Для достижения оптимального коэффициента мощности наиболее эффективны автоматические установки, которые подключают необходимое количество конденсаторов в зависимости от реактивной нагрузки сети, а включение конденсаторов управляется микропроцессорным регулятором. Автоматические конденсаторные установки обеспечивают среднесуточный  $\cos\varphi$  не ниже 0,97; исключают генерацию реактивной энергии в сеть в часы минимальных нагрузок и делают возможным получение информации о параметрах и состоянии электрической сети.

Если для СЭС предприятия характерны значительные колебания реактивной мощности, целесообразно применять конденсаторные установки с автоматическим регулированием мощности.

На тех участках энергосистемы, где реактивные нагрузки в сети присутствуют практически постоянно, возможно размещение нерегулируемых, непрерывно действующих конденсаторных установок, которые значительно дешевле оборудования с автоматическим регулированием мощности.

Оптимальное по цене и эффективности решение достигается сочетанием нерегулируемых и автоматических конденсаторных установок, которые размещаются на участках электрических сетей с соответствующим режимом реактивной мощности.

По месту подключения различают централизованную, групповую и индивидуальную схемы компенсации.

При централизованной компенсации конденсаторная установка подсоединяется к шинам цеховой трансформаторной подстанции. В результате от реактивной мощности разгружаются сети напряжением 6–10 кВ и трансформаторы на подстанции, а внутрицеховые распределительные сети напряжением до 1 кВ остаются неразгруженными.

При групповой компенсации конденсаторные установки размещаются на шинах групповых силовых щитов. При этом разгружаются и внутрицеховые распределительные сети напря-

жением до 1 кВ, но могут оставаться неразгруженными сети отдельных электроприемников.

При индивидуальной компенсации конденсаторная установка подключается непосредственно к зажимам электроприемника, что является наиболее эффективным вследствие полной компенсации реактивной мощности распределенной сети электроприемника в момент его работы, но и самым дорогостоящим способом, так как во время простоя электроприемника конденсаторы также не используются. Преимуществом индивидуальной компенсации является и то, что для конденсаторов используется то же коммутационное устройство, что и для электроприемника, а разрядным сопротивлением служит электроприемник, что позволяет предельно упростить как само устройство компенсации реактивной мощности, так и его обслуживание.

Снизить стоимость проектного решения возможно за счет гибкого сочетания централизованного, группового и индивидуального видов компенсации.

По типу регуляторов компенсирующие установки делятся на *обычные* – в которых коммутация конденсаторов производится с помощью электромеханических реле и *статические тиристорные*, в которых применяются тиристорные ключи.

В статических установках коммутация конденсаторов происходит в момент нулевого напряжения, вследствие чего они приобретают, по сравнению с обычными, следующие преимущества:

- высокое быстродействие – до 14 коммутаций в секунду вместо одного в 5–20 секунд;
- малый уровень помех вследствие отсутствия бросков тока в момент коммутации;
- малый износ конденсаторов по той же причине;
- высокая надежность ключевой аппаратуры вследствие отсутствия механических частей;
- пониженные потери вследствие отсутствия разрядных резисторов.

Внедрение автоматизированной системы компенсации реактивной мощности позволяет:

- снизить расход электроэнергии на 3–5%;
- уменьшить потребление реактивной энергии;
- снизить затраты на эксплуатацию сетей;
- минимизировать потери активной мощности и энергии в элементах сети электроснабжения;
- повысить коэффициент мощности до требуемой величины;

- передать большую мощность через существующую кабельную сеть;
- оптимизировать режим работы электрических сетей;
- исключить генерацию реактивной энергии в сеть в часы минимальных нагрузок;
- разгрузить питающие линии электропередачи, трансформаторы и распределительные сети;
- обеспечить получение информации о параметрах и состоянии электрической сети;
- обеспечить автоматический контроль изменения реактивной мощности и других параметров сети.

В среднем система окупается в течение 8–18 месяцев.

### **Экономия электроэнергии в силовых трансформаторах.**

Основными мероприятиями по снижению электропотребления являются:

- отключение малонагруженных трансформаторов, например при сезонном снижении нагрузки;
- обеспечение работы трансформаторов с оптимальным коэффициентом загрузки;
- использование экономически целесообразных режимов работы трансформаторов.

Экономически целесообразный режим работы трансформаторов в зависимости от суммарной нагрузки позволяет найти оптимальное число параллельно работающих трансформаторов. Если в цехе установлены два трансформатора Т1 и Т2 с разной номинальной мощностью ( $S_{ном1} < S_{ном2}$ ), то при росте нагрузки для уменьшения потерь выгодно при минимальной нагрузке включить в работу трансформатор Т2 вместо находящегося в работе трансформатора Т1, а затем – оба трансформатора [31]. При этом не должна снижаться надежность электроснабжения потребителей; трансформаторы должны снабжаться устройством АВР; операции включения и отключения трансформаторов целесообразно автоматизировать, однако для сокращения числа оперативных переключений рекомендуется отключать трансформаторы не более 2–3 раз в сутки.

Экономии электроэнергии можно добиться за счет сокращения числа трансформаций – в среднем на каждой проводимой трансформации теряется до 7% передаваемой электроэнергии. Основными причинами излишнего числа трансформаций являются: неправильный выбор напряжения питающей и распределительной сети без учета перспективы развития предприятия;

использование на предприятии двигателей на напряжение 6 кВ при выполнении распределительной сети предприятия на 10 кВ.

Экономия электроэнергии можно получить, применив при реконструкции или проектировании системы электроснабжения для потребителей 2 категории также однострансформаторные подстанции с резервированием по низкому напряжению вместо двухтрансформаторных подстанций. Возможно использование одной трехтрансформаторной КТП вместо двух двухтрансформаторных.

### **Вопросы для самостоятельной подготовки**

---

1. Что понимается под энергосбережением?
2. Что включает система нормирования и планирования энергопотребления?
3. Как классифицируются вторичные энергоресурсы?
4. Каковы основные принципы энергоменеджмента?
5. Каковы основные цели и этапы реализации энергоаудита?
6. Для чего осуществляется целевой мониторинг?
7. Каковы основные направления сокращения электропотребления?
8. Каковы энергосберегающие возможности совершенствования и рационализации технологических процессов?
9. Какие возможности предоставляет регулирование скорости большинства производственных механизмов?
10. Каковы основные направления по экономии электроэнергии в осветительных установках?
11. В чем сущность основных путей снижения потерь электроэнергии в системах электроснабжения?
12. Что позволяет осуществить компенсация реактивной мощности у потребителей?
13. Каковы основные мероприятия по снижению электропотребления в силовых трансформаторах?

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

---

Проектирование систем электроснабжения с точки зрения теории принятия решений представляется как процесс реализации проектно-конструкторских решений, направленных на получение описания СЭС с заданной степенью детализации. Проектирование СЭС рассматривается и как реализация цикла управления в операциях анализа и синтеза, оценки и выработки управляющего воздействия, а также создания проектных документов по фазам жизненного цикла.

Проектирование – это итерационный процесс, связанный с большим объемом перерабатываемой информации, когда каждая итерация направлена на уточнение принятых проектных решений. Наиболее эффективным является системный подход, обеспечивающий по минимальному объему исходной информации решение серии технологически связанных проектных задач.

В основе проектирования СЭС лежит блочно-иерархический подход – СЭС разделяется на иерархические уровни. На высшем уровне со стороны энергосистемы используется представление с наименьшей степенью детализации, отражающее только общие черты и особенности проектируемой СЭС (электропотребление, присоединенная мощность, уровни напряжения и категории надежности). На следующих уровнях степень детальной проработки возрастает. При этом система электроснабжения рассматривается отдельными блоками (источники питания, линии электропередачи, преобразователи и потребители). Это позволяет на каждом уровне решить как последовательно, так и параллельно задачи меньшей сложности в соответствии с имеющимися методиками и средствами проектирования.

Электрооборудование СЭС начинает проектироваться на четвертом этапе жизненного цикла инвестиционного проекта и осуществляется в две стадии. На первой стадии проводится предварительный выбор электрооборудования по параметрам продолжительных режимов, включая режимы допустимых перегрузок. На второй стадии проектирования проводится проверка предварительно выбранного электрооборудования по условиям кратковременных утяжеленных режимов, определяющим из которых является режим расчетного КЗ.

Система электроснабжения создается из готовых электродвигателей, силовых трансформаторов, выключателей, проводов, шин и кабелей. Знание конструкции электрооборудования

нужно для правильного выбора и последующей эксплуатации изделия. От проектировщика в большинстве случаев требуется не конструирование нового изделия, а умение дать заключения по существующему электрооборудованию и сформулировать требования, которые улучшат функционирование СЭС.

Инженерные расчеты, в том числе и по электроснабжению, являются приближенными, точность которых определяется, в первую очередь, точностью исходных данных. Цель расчета при проектировании СЭС, как правило, может заключаться в выборе стандартного электрооборудования или стандартных элементов электрической сети, в проверке выбранного оборудования на различные дополнительные условия, в определении показателей режима работы системы электроснабжения, в определении стоимости и сроков окупаемости электрооборудования. Поэтому расчеты при проектировании СЭС достаточно проводить с точностью  $\pm 5\%$ , и в соответствии с этим следует записывать результаты расчетов с двумя-тремя значащими цифрами. Такой способ записи содержит в себе погрешность не более  $\pm 0,5\%$ . Большее число значащих цифр записывать нет смысла, так как вероятности точности каждой из последующих цифр будут случайными. Подобный подход относится не только к техническим, но и к технико-экономическим расчетам.

Надежность СЭС определяется безотказностью, долговечностью, ремонтпригодностью, сохраняемостью входящего электрооборудования.

В процессе проектирования особое внимание уделяется предотвращению появления отрицательного воздействия будущей СЭС на работающий персонал и окружающую среду. Электробезопасность обеспечивается: конструкцией электроустановок; техническими способами и средствами; организационными и техническими действиями. В проектах СЭС необходимо осуществить применение конструктивных и технических методов и средств повышения безопасности труда, используя три основные группы мероприятий: обеспечение недоступности для персонала токоведущих частей электрооборудования; снижение возможного значения тока через тело человека до безопасного значения; ограничение времени воздействия электрического тока на организм человека.

В современных СЭС все сильнее ощущается необходимость обеспечения совместной работы ЭО с различными характеристиками, что приводит к возникновению проблемы электромагнитной совместимости – взаимному влиянию электрооборудова-

ния, связанного электрической сетью. Под ЭМС понимается также способность электрооборудования противостоять электромагнитным воздействиям и не вызывать таких воздействий на другие устройства, а также нормально функционировать в образованной электромагнитной среде и электромагнитной обстановке, не внося недопустимых электромагнитных помех в электромагнитную среду и не испытывая подобных воздействий с ее стороны.

Инвестиционная деятельность предполагает также решение и других задач оптимизации проекта. Варианты системы электроснабжения промышленных предприятий выбираются на основе технико-экономического сравнения сопоставимых вариантов по минимуму приведенных затрат. При выполнении технико-экономических сравнений пользуются укрупненными показателями стоимости строительства и элементов СЭС. В стоимостной форме показатели эффективности инвестиционных вложений в проекты СЭС могут отражать как общую абсолютную, так и сравнительную относительную экономическую эффективность затрат. Показатели сравнительной эффективности используются для выбора наиболее рационального решения. Показатели общей эффективности позволяют оценить действенность вкладываемого капитала по выбранному инвестиционному проекту. Если для расчета сравнительной экономической эффективности достаточно учесть только изменяющиеся по вариантам части затрат и частного результата, то при определении общей экономической эффективности учитываются полностью все затраты и в полном объеме результат, обуславливаемый этими затратами.

При вариантном анализе инвестиций показатели сравнительной эффективности крупных проектов должны дополняться показателями общей эффективности затрат, так как выбранное решение должно соответствовать требуемой инвестором норме дохода на вкладываемый капитал. Без глубокого анализа показателей как общей, так и сравнительной эффективности нельзя быть уверенным в выборе наиболее качественного решения, поэтому анализ показателей общей и сравнительной эффективности необходимо проводить в неразрывном единстве. Эффективность инвестиций формируется на четырех стадиях: планирование инвестиций, проектирование инвестиционного строительства, строительное производство, освоение введенных в действие проектных мощностей.

Многие направления повышения эффективности инвестиций и использования основных фондов являются общими для

всех отраслей хозяйства. Однако конкретное проявление тех или иных закономерностей зависит от специфики процесса производства, назначения продукции, предметов труда. В инвестиционном строительстве, которое ведут предприятия, наиболее выгодно концентрировать материальные, финансовые и трудовые ресурсы, прежде всего на техническом перевооружении и реконструкции действующих предприятий. Новое строительство в энергетике целесообразно лишь при остром дефиците больших объемов энергии, который нет возможности покрыть за счет расширения производства или его технического перевооружения.

Энергосбережение является самостоятельным и крупным источником энергоснабжения предприятий всех отраслей. Энергосбережение и рационализация производства сводится в первую очередь к снижению потерь энергии. Возможности для сокращения электропотребления заключаются в проектировании и реализации следующих операций: применения новых, энергосберегающих технологий; автоматизации технологических процессов с целью их оптимального протекания; уплотнении технологических циклов; использовании вторичных энергоресурсов и других технологических мероприятиях. Основные пути снижения потерь электроэнергии в системах электроснабжения связаны с совершенствованием СЭС, сокращением передачи реактивной энергии, снижением технологических потерь, улучшением показателей электромагнитной совместимости, устранением недостатков в организации производства.

## 📖 БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

**1. Авдеев, В. А.** Основы проектирования металлургических заводов [Текст]: справ. изд. / В. А. Авдеев, В. М. Друян, Б. И. Кудрин. – М.: Интермет Инжиниринг, 2002.

**2. Автоматизация** проектирования систем электроснабжения [Текст] / В. Н. Винославский, В. И. Тарадай, У. Бутц, Д. Хайнце. – Киев: Выща школа, 1988.

**3. Анчарова, Т. В.** Экономия электроэнергии на промышленных предприятиях [Текст] / Т. В. Анчарова, С. И. Гамазин, В. В. Шевченко. – М.: Высшая школа, 1990.

**4. Афанасьев, Н. А.** Система технического обслуживания и ремонта оборудования энергохозяйств промышленных предприятий (система ТОР ЭО) [Текст] / Н. А. Афанасьев, М. А. Юсипов. – М.: Энергоатомиздат, 1989.

**5. Беренс, В.** Руководство по подготовке промышленных технико-экономических исследований [Текст] / В. Беренс, П. М. Хавранек. – М.: АОЗТ «Интерэксперт», 1995.

**6. Веников, В. А.** Переходные электромеханические процессы в электрических системах [Текст]. – М.: Высшая школа, 1985.

**7. ВСН 381-87.** Инструкция о составе и оформлении электротехнической рабочей документации для строительства [Текст]. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 1987.

**8. Грибалев, Н. П.** Бизнес-план. Практическое руководство по составлению [Текст] / Н. П. Грибалев, И. Г. Игнатьева. – СПб.: Белл, 1994.

**9. Головкин, С. А.** Эффективные методы продления службы комплектных распределительных устройств [Текст] / С. А. Головкин // Энергетик. – 2001. – №4.

**10. ГОСТ Р 32144-2013.** Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Стандартинформ, 2013.

**11. ГОСТ 12.1.030-81.** Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1996.

**12. ГОСТ 21.101-97.** Система проектной документации для строительства. Основные требования к проектной и рабочей документации [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1998.

**13. ГОСТ Р 50571.1-93 (МЭК 364-1-72, МЭК 364-2-70).** Электроустановки зданий. Основные положения [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1993.

**14. ГОСТ Р 50571.3-94** (МЭК 364-4-41-92). Требования по обеспечению безопасности. Защита от поражения электрическим током [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1993.

**15. Жежеленко, И. В.** Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий [Текст] / И. В. Жежеленко. – М.: Энергоатомиздат, 1994.

**16. Жилин, Б. В.** Расчет электрических нагрузок и параметров электропотребления на ранних стадиях проектирования [Текст]: ч. 1, 2 / Б. В. Жилин // Электрика. – 2001. – № 10,11.

**17. Инструкция** по устройству сетей заземления и молниезащите [Текст]. – М.: Концерн «Электромонтаж», 1993.

**18. Киреева, Э. А.** Автоматизация и экономия электроэнергии в системах электроснабжения [Текст]: справочные материалы и примеры расчетов / Э. А. Киреева, Т. Юнес, М. Айюби. – М.: Энергоатомиздат, 1998.

**19. Ковалев, В. В.** Методы оценки инвестиционных проектов [Текст] / В. В. Ковалев. – М.: Финансы и статистика, 1999.

**20. Косинов, Ю. П.** О новой системе технического обслуживания и ремонта ТЭС [Текст] / Ю. П. Косинов // Энергетик. – 1997. – № 1.

**21. Кудрин, Б. И.** Проблемы эффективности электроремонта вчера и сегодня [Текст] / Б. И. Кудрин // Промышленная энергетика. – 1999. – № 8.

**22. Кудрин, Б. Н.** Электроснабжение промышленных предприятий [Текст] / Б. Н. Кудрин. – М.: Интернет Инжиниринг, 2006.

**23. Кучеров, Ю. Н.** О ресурсе энергетических объектов [Текст] / Ю. Н. Кучеров, В. А. Купченко, В. В. Демкин // Электрические станции. – 2001. – № 11.

**24. Марка, Д. А.** SADT – методология структурного анализа и проектирования [Текст] / Д. А. Марка, К. Л. МакГоуэн. – М.: Метатехнология, 1993. – 472 с.

**25. Правила** устройства электроустановок. 7-е изд. [Текст]. – М.: Главгосэнергонадзор России, 2007.

**26. Практическое** пособие по обоснованию инвестиций в строительство предприятий, зданий и сооружений [Текст]. – М.: Центринвестпроект, 1995.

**27. Р50.1.028–2001.** Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования: Рекомендации по стандартизации [Текст]. – М.: Госстандарт России, 2001. – 50 с.

**28. РД 153.-34.0-20.527-98.** Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования [Текст] / под ред. Б.Н. Неклепаева. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2001.

**29. Ристхейн, Э. М.** Электроснабжение промышленных установок [Текст] / Э. М. Ристхейн. – М.: Энергоатомиздат, 1991.

**30. Сазыкин, В. Г.** К вопросу о выборе формы инвестиционной поддержки эксплуатации электрооборудования [Текст] / В. Г. Сазыкин // Промышленная энергетика. – 2001.–№ 11.

**31. Сазыкин, В. Г.** Оптимизация режимов трансформаторных подстанций [Текст] / В. Г. Сазыкин // Промышленная энергетика. – 1989. – № 5.

**32. Сазыкин, В. Г.** Технология упорядоченного функционирования электрооборудования [Текст]: монография / В. Г. Сазыкин; Норильский индустр. ин-т. – Норильск: НИИ, 2002.

**33. Сазыкин, В. Г.** Электрогериатрия – новая технология эксплуатации электрооборудования [Текст] / В. Г. Сазыкин // Промышленная энергетика. – 2000. – № 11.

**34. Сазыкин, В. Г.** Электромагнитная совместимость в системах электроснабжения: [Текст] учебное пособие / В. Г. Сазыкин; Норильский индустр. ин-т. – Норильск: НИИ, 2005.

**35. Сазыкина, О. В.** Экономика и исследование рынка в энергетике [Текст]: учебное пособие / О. В. Сазыкина; Норильский индустр. ин-т. – Норильск: НИИ, 1999.

**36. СНиП 11-01-95.** Инструкции о порядке разработки, согласования, утверждения и состава проектной документации на строительство предприятий, зданий и сооружений [Текст]. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 1994.

**37. Советов, Б. Я.** Моделирование систем [Текст] / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. – М.: Высшая школа, 2005.

**38. Справочник** инженера по наладке, совершенствованию технологии и эксплуатации электрических станций и сетей [Текст] / под ред. А. Н. Назарычева. – М.: Инфра – Инженерия, 2006.

**39. Справочник** по проектированию электроснабжения [Текст] / под ред. Ю. Г. Барыбина, Л. Е. Федорова, М. Г. Зименкова, А. Г. Смирнова. – М.: Энергоатомиздат, 1990.

**40. СТО 34.01-21.1-001-2017** «Распределительные электрические сети напряжением 0,4–110 кВ. Требования к технологическому проектированию. – М. ПАО «Россети», 2017.

**41. Технологические** правила проектирования объектов строительства. Методическое руководство [Текст]. – М.: ГП ЦНС Госстрой России, 1998.

**42. Титков, Н.А.** Основные положения проекта реконструкции электроустановок действующих предприятий [Текст] / Н.А. Титков, С.Г. Зайцев // Промышленная энергетика. – 2005. – № 10.

**43. Толковый** словарь по Управлению проектами [Текст] / под ред. В.Д. Шапиро и М.В. Шейнберга. – СПб.: Два-Три, 1993.

**44. Управление** инвестициями [Текст]: в 2 т. / В.В. Шеремет, В.М. Павлюченко, В.Д. Шапиро и др. – М.: Высшая школа, 1998.

**45. Управление** проектами / под общ. ред. В.Д. Шапиро [Текст]. – СПб.: Два-Три, 1996.

**46. Фокин, Ю.А.** Надежность и эффективность сетей электрических сетей [Текст] / Ю.А. Фокин. – М.: Высшая школа, 1989.

**47. Цирель, Я.А.** Основные типовые положения реконструкции распределительных устройств действующих подстанций [Текст] / Я.А. Цирель // Электрические станции. – 1993. – № 11.

**48. Черемных, С.В.** Моделирование и анализ систем. IDEF-технологии [Текст]: практикум / С.В. Черемных, И.О. Семенов, В.С. Ручкин. – М.: Финансы и статистика, 2002.

**49. Черемных, С.В.** Структурный анализ систем: IDEF-технологии [Текст] / С.В. Черемных, И.О. Семенов, В.С. Ручкин. – М.: Финансы и статистика, 2001.

**50. Электропривод** и автоматизация промышленных установок как средство энергосбережения [Текст] / И. Авербах, Е. Барац, И. Браславский, З. Ишматов // Главный энергетик. – 2004. – № 4.

**51. Электроснабжение** и электрооборудование цехов [Текст] / В.И. Григорьев, Э.А. Киреева, В.А. Миронов, А.Н. Чохонелидзе. – М.: Энергоатомиздат, 2003.

**52. Ящура, А.И.** Система технического обслуживания и ремонта энергетического оборудования [Текст]: справочник. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2005.

**53. LabVIEW: User Manual** [Текст]. – National Instruments, 1998.

**54. National** Institute of Standards and Technology. Integration Definition For Function Modeling (IDEF0) [Текст]. – Washington: Draft Federal Information, 1993.

## **ОГЛАВЛЕНИЕ**

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	<b>3</b>
<b>СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ</b> .....	<b>4</b>
<b>Глава 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ</b> .....	<b>6</b>
1.1. Стандартное проектирование. Основные определения .....	6
1.2. Основы управления инвестиционными проектами .....	23
1.3. Основные принципы проектирования систем электроснабжения .....	33
1.4. Технологические основы проектирования систем электроснабжения .....	38
1.5. Требования, предъявляемые к проектам систем электроснабжения .....	41
1.6. Автоматизация проектных работ .....	46
<b>Глава 2. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ</b> .....	<b>63</b>
2.1. Порядок проектирования системы электроснабжения .....	63
2.2. Расчетные условия проектирования электрооборудования .....	71
2.3. Особенности инженерных расчетов в электроснабжении .....	74
2.4. Обеспечение надежности электроснабжения.....	77
2.5. Защитные меры электробезопасности .....	88
2.6. Обеспечение электромагнитной совместимости.....	128
2.7. Экономическая оценка проектной инвестиционной деятельности .....	159
<b>Глава 3. ФОРМЫ ОБНОВЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ СРЕДСТВ ЭЛЕКТРОХОЗЯЙСТВ</b> .....	<b>187</b>
3.1. Общие положения .....	187
3.2. Основные проблемы функционирования изношенного электрооборудования .....	194
3.3. Организация модернизации и продления сроков службы оборудования.....	197
3.4. Реконструкция электрохозяйств.....	215
3.5. Проектирование энергосбережения .....	221
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....	<b>239</b>
<b>БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК</b> .....	<b>243</b>

Сазыкин Василий Георгиевич

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Книга 1. Организация проектирования

Учебное пособие  
по направлению подготовки  
13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»,  
направленность «Электроэнергетика»  
по программе бакалавриата

Электронное издание