

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

**Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

А. Р. ДЕНИСОВА

**ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В
ПРОМЫШЛЕННЫХ И
КОММУНАЛЬНЫХ
ПРЕДПРИЯТИЯХ**

**Программа, методические указания
и контрольные задания**

Казань 2009

УДК 621.311
ББК 31.26
Э65

Денисова А.Р.

Э65 Энергосбережение в промышленных и коммунальных предприятиях; Программа, метод. указания и контрольные задания / А.Р. Денисова. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2009. – 37 с.

Приведены общие рекомендации по работе над дисциплиной, её программа, методические указания по изучению дисциплины, варианты контрольного задания.

Предназначены для студентов заочной формы, обучающихся по специальности 140610.65 «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений».

УДК 621.311
ББК 31.26

ПРЕДИСЛОВИЕ

Данная методическая разработка предназначена для изучения дисциплины «Энергосбережение в промышленных и коммунальных предприятиях». Использование представленного материала даст возможность обучающимся получить базовые знания по энергосбережению в промышленных и коммунальных предприятиях.

Основной целью дисциплины является изучение основных вопросов энергетического обследования промышленных и коммунальных предприятий на предмет рационального использования энергоресурсов, оптимизации схем и режимов электроснабжения, энергосбережения, внедрения современных систем автоматизированного контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ), возможности использования собственных источников энергии и разработка мероприятий по энергосбережению.

Актуальность изучения данной дисциплины студентами электротехнических специальностей вузов, эксплуатирующих электрооборудование и электрические сети промышленных и коммунальных предприятий, определяется тем, что электроэнергетика как отрасль должна обеспечивать надежное удовлетворение потребностей экономики в электрической и тепловой энергии. Надежное и эффективное функционирование электроэнергетики, бесперебойное снабжение потребителей – основа поступательного развития экономики страны и неотъемлемый фактор обеспечения цивилизованных условий жизни всех ее граждан. Снижение уровня объемов инвестирования в энергетическом секторе экономики в 80-х гг. привело к недопустимо низким затратам на техническое обслуживание и модернизацию оборудования. На фоне общеэкономического спада продолжала повышаться энергоемкость экономики, произошло резкое падение объемов инвестиций с одновременным снижением эффективности работы отдельных секторов отрасли. Рациональное расходование топливно-энергетических ресурсов, в том числе электрической энергии, в промышленности приобретает общегосударственное значение. Разработан и принят ряд Федеральных целевых программ и постановлений Российского правительства, направленных на обеспечение перехода отечественной экономики на энергосберегающий путь развития, повышение конкурентоспособности промышленной продукции, оздоровление социальной сферы.

Представленный в методической разработке материал может быть также полезен студентам других технических специальностей при изучении ими дисциплин, связанных с вопросами энергосбережения в промышленности и системах жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ).

Студенты, изучившие данную дисциплину должны:

знать – методы разработки обобщенных вариантов проблем, анализа вариантов, прогнозирование последствий, отыскание компромиссных решений в условиях многокритериальности, неопределенности, планирования реализации проекта, порядок разработки технических условий, стандартов, технических описаний; особенности проведения энергоаудита и составления энергетического баланса промышленного предприятия; достижения науки и техники, передовой и зарубежный опыт в соответствующей области знаний;

уметь – формулировать цели проекта (программы) решения задач, выявлять приоритеты решения задач; разрабатывать эксплуатационную документацию, разрабатывать эксплуатационную документацию; разрабатывать и использовать системы автоматизированного проведения эксперимента; использовать компьютерные технологии моделирования и обработки результатов.

ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАБОТЕ НАД ДИСЦИПЛИНОЙ «ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ПРОМЫШЛЕННЫХ И КОММУНАЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ»

Работа студента над дисциплиной «Энергосбережение в промышленных и коммунальных предприятиях» складывается из следующих элементов: самостоятельное изучение разделов и тем дисциплины по учебникам и учебным пособиям с последующей самопроверкой и выполнением заданий по разделам курса; выполнение контрольной работы; индивидуальные консультации (очные и письменные); посещение лекций; проведение практических занятий и получение зачета по ним; сдача экзамена по всей дисциплине.

САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

Начинать изучение дисциплины необходимо с рассмотрения её содержания по программе, затем приступить к последовательной проработке отдельных тем. При этом рекомендуется первоначально ознакомиться с содержащимися в данной теме вопросами в той последовательности, в которой они приведены в настоящей методической разработке, а затем уже приступать к изучению содержания темы. При первом чтении необходимо получить общее представление о предмете рассмотрения в контексте излагаемых вопросов. При повторном чтении необходимо параллельно вести конспект, в который заносить все основные вопросы и понятия, описания алгоритмов. По возможности следует стараться систематизировать материал, представляя его в

виде удобных для восприятия и анализа графиков, схем, таблиц, диаграмм и т.п. – это облегчает запоминание материала и позволяет легко восстановить его в памяти при повторном обращении. Не следует стараться наполнять конспект отдельными или оторванными от сути излагаемого материала фактами и цифрами, их всегда можно отыскать в соответствующей справочной литературе. Неизмеримо важнее вникнуть в сущность того или иного изучаемого вопроса – это способствует более глубокому и прочному усвоению материала.

Переходить к изучению новой темы следует только после полного изучения теоретических вопросов, решения задач по предыдущей теме.

САМОПРОВЕРКА

Закончив изучение темы, необходимо ответить на вопросы для самопроверки, которые акцентируют внимание на наиболее важных материалах темы. При этом старайтесь не пользоваться конспектом и учебной литературой. Имейте в виду, что частое обращение к конспекту или учебнику свидетельствует о недостаточном усвоении основного материала темы. Необходимость частого обращения к учебнику показывает неумение правильно конспектировать учебный материал. Следует внести коррективы в конспект, который впоследствии поможет при повторении материала в период подготовки к практическим работам и сдаче дифференцированного зачета.

КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ

В процессе изучения дисциплины «Энергосбережение в промышленных и коммунальных предприятиях» студент должен выполнить контрольное задание в виде работы, которая состоит в решении задач, связанных с реконструкцией элементов систем электроснабжения, определением их экономической эффективности. Следует отметить, что задание контрольной работы необходимо выполнять в процессе и после изучения соответствующих тем дисциплины. Неудача при решении задач контрольной работы показывает, что тема не проработана должным образом. Следует вернуться к рассмотрению основных положений теоретического материала с использованием приведенного списка литературы.

Контрольная работа должна выполняться самостоятельно, поскольку она является формой методической помощи студентам при изучении дисциплины. Преподаватель-рецензент указывает студенту на недостатки в усвоении им материала дисциплины, что позволяет устранить эти недостатки к зачету.

Варианты контрольного задания приведены в соответствующем разделе данной методической разработки.

КОНСУЛЬТАЦИИ

При возникновении затруднений в процессе изучения теоретической части дисциплины, ответов на вопросы для самопроверки или решении задач следует обращаться за письменной или устной консультацией к преподавателю в университет. При этом необходимо точно указать вопрос, вызывающий затруднения, место в учебнике, где он разбирается.

ЛЕКЦИИ

В период установочной или лабораторно-экзаменационной сессии студентам читаются лекции обзорного характера, на которых рассматриваются наиболее важные темы и разделы дисциплины, а также вопросы, недостаточно полно или последовательно освещенные в учебной литературе или вызывающие затруднения у большого числа студентов.

ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

Программа изучения дисциплины предусматривает два двухчасовых практических занятия, посвященных решению задач по прогнозированию экономического эффекта от внедрения энергосберегающих технологий.

Студенты сдают зачет после выполнения практических работ. При сдаче зачета студент предъявляет журнал с пометкой преподавателя о выполнении работы, предусмотренной планом.

Зачет предусматривает защиту студентом выполненной практической работы. При этом, студент должен представить письменный отчет по проделанной работе, который должен быть надлежащим образом оформлен. Тематически он должен включать следующие разделы:

- 1) постановка задачи с четкой формулировкой условий и исходных данных;
- 2) основные формулы и соотношения, описывающие задачу;
- 3) изложение используемого метода решения;
- 4) описание (анализ) результатов и выводы.

Отчет о выполнении каждой конкретной задачи, в зависимости от ее специфики, может включать те или иные дополнительные разделы.

При защите практической работы должно быть продемонстрировано четкое понимание физического смысла рассматриваемых (рассчитываемых или моделируемых) процессов и явлений, знание теоретических основ использовавшихся математических методов и применявшегося алгоритма, возможных приложений использовавшейся в работе техники, расчетов к конкретным техническим и физическим системам, умение ясно анализировать и интерпретировать полученные в работе результаты.

ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫЙ ЗАЧЕТ

К сдаче дифференцированного зачета по дисциплине «Энергосбережение в промышленных и коммунальных предприятиях» допускаются студенты, имеющие зачетную контрольную работу и зачет по практическим занятиям. Зачет сдается в устно-письменной форме. Билеты на зачет содержат два теоретических вопроса и задачу по изучаемой дисциплине.

ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ОПД.В1 «ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ПРОМЫШЛЕННЫХ И КОММУНАЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ» цикла общепрофессиональных дисциплин

**Учебного плана специальности 140610.65 «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений»
направления подготовки дипломированного специалиста 140600
«Электротехника, электромеханика и электротехнологии»
для студентов заочной формы обучения**

1. УЧЕБНЫЙ ПЛАН ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Семестр	Контрольная работа	Часы учебных занятий			
		Всего	Лекции	Практические занятия	Самостоятельная работа
9	1	78	6	4	67

2. САМОСТОЯТЕЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ

РАЗДЕЛ 1. ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ

Актуальность энергосбережения в России. Основные направления энергосбережения. Энергоаудит. Целевой энергетический мониторинг. Энер-

гетические балансы. Основные направления по энергосбережению на малых и средних предприятиях. Проведение энергетических обследований организаций бюджетной сферы. Энергетическое обследование предприятий сферы ЖКХ.

Системы учета электроэнергии на промышленном предприятии. Тарифы электроэнергии. Формирование оптового и розничного рынков электроэнергии. Автоматизированные системы контроля и учета электроэнергии.

РАЗДЕЛ 2. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЮ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Снижение потерь электроэнергии в электрических сетях энергоснабжающих организаций. Оптимизация схем и режимов электроснабжения. Выявление нерациональных энергозатрат в трансформаторных подстанциях. Компенсация реактивной мощности как средство сокращения затрат. Влияние загрузки двигателей на потери электроэнергии в них. Внедрение частотно-регулируемого привода. Энергосбережение в системах освещения.

РАЗДЕЛ 3. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ СОБСТВЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Актуальность использования собственных автономных источников энергии. Когенерирующие установки для автономного энергоснабжения промышленного предприятия. Использование Ветроэнергетических установок в системах энергоснабжения. Использование Солнечной энергии.

3. СОДЕРЖАНИЕ ЛЕКЦИЙ

Лекция 1. Обзорная лекция по разделу «Энергетические обследования предприятий» (2 часа).

Лекция 2. Обзорная лекция по разделу «Мероприятия по энергосбережению на промышленных предприятиях» (2 часа).

Лекция 3. Обзорная лекция по разделу «Энергосбережение путем внедрения собственных источников энергии» (2 часа).

4. СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Практическое занятие 1. Выбор экономически целесообразного тарифа на электроэнергию (2 часа).

Практическое занятие 2. Расчет целесообразности и экономической эффективности замены малозагруженных двигателей (2 часа).

5. ОРГАНИЗАЦИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

№ раздела	Вопросы раздела для самостоятельной проработки	Кол-во часов
9 СЕМЕСТР		
1	Понятия, цели и сущность аудита. Аудит учета производственных запасов и учета затрат на производство	16
1	Основные методы расчета составляющих энергобаланса промышленного предприятия	16
2	Организационные и технические мероприятия по энергосбережению. Цель и обоснование необходимости учета электроэнергии	17
3	Использование собственных источников электроэнергии на промышленных предприятиях	18

6. ЛИТЕРАТУРА

Основная:

1. Денисова А.Р. Энергосбережение в промышленных и коммунальных предприятиях / А.Р. Денисова, Н.В. Роженцова. – Казань: КГЭУ, 2009. – 318 с.
2. Колесников А.И. Энергосбережение в промышленных и коммунальных предприятиях. Учеб. пособие / А.И. Колесников, М.Н. Федоров, Ю.М. Варфоломеев. – М.: ИНФРА-М, 2005. – 124 с.
3. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий / Б.И. Кудрин. – М.: Энергоатомиздат, 2004.
4. Иванов В.О. Нормирование расхода электрической энергии на промышленных предприятиях: Учеб. пособие / В.О. Иванов, В.Ю. Белашов, Н.В. Денисова, Е.И. Грачева. – Казань: КГЭУ, 2005.
5. Браславский И.Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод: Учеб. пособие / И.Я. Браславский, З.Ш. Ишматов, В.Н. Поляков; под ред. И.Я. Браславского. – М.: Академия, 2004. – 256 с.
6. Нормирование расхода электрической энергии на промышленных предприятиях: Учеб. пособие / В.О. Иванов [и др]. – Казань: КГЭУ, 2005. – 161 с.

Дополнительная:

7. Рогалев Н.Д. Аудит: Учеб. пособие / Н.Д. Рогалев, Г.Н. Курдюкова. – М.: изд-во МЭИ, 2006. – 40 с.

8. Танков В.А. Основы аудита: вопросы и ответы / В.А. Танков. – М.: ИД Юриспруденция, 2005. – 72 с.

9. Алиев И.И. Справочник по электротехнике и электрооборудованию / Под. ред. И.И. Алиева. – 4-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2005. – 255 с.: ил.

Периодические издания (журналы):

10. Промышленная энергетика. Проблемы энергетики: журнал. – Казань: изд. КГЭУ. – 2007. – №1-12.

11. Промышленная энергетика. Проблемы энергетики: журнал. – Казань: изд. КГЭУ. – 2007. – №1-6.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ «ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ПРОМЫШЛЕННЫХ И КОММУНАЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ»

Программа дисциплины состоит из введения и тематических разделов, посвященных изучению базовых тем. Ниже по каждой теме приводятся ссылки на литературу с указанием глав и параграфов, в которых излагается материал данной темы, а также страниц учебной литературы и номеров вопросов и задач для самостоятельного решения. Номер учебника, указанный в квадратных скобках, соответствует его номеру в списке литературы. Далее приводятся вопросы для самопроверки, на которые следует отвечать после изучения каждой темы. В завершение приводится перечень знаний и умений, которыми должен обладать студент после изучения теоретического материала, проработки вопросов и решения задач по указанной теме.

РАЗДЕЛ 1. ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ

Литература: [1], предисловие; гл. 1, разд. 1.1–1.2; гл. 2, разд. 2.1–2.6; гл. 5, разд. 5.1–5.3; [2], гл. 1–4; [3], гл. 2, 3; [4], гл. 2–4; [5], гл. 3; [6], гл. 1–3; [7], гл. 1–3; [8], гл. 1–3.

Вопросы для самопроверки

1. Чем определяется актуальность энергосбережения в России?

2. Существуют ли нормативные документы, регламентирующие основные направления энергосбережения в России?
3. Перечислите организационные и технические мероприятия по энергосбережению.
4. Каковы этапы энергетического обследования предприятий и организаций?
5. Чем определяется правовая база для выполнения энергетических обследований предприятий?
6. Что такое энергоаудит, какие задачи он решает?
7. Назовите существующие подходы проведения энергоаудита.
8. Какая информация является первичной для проведения энергоаудита?
9. Каково техническое обеспечение для инструментального обследования объектов?
10. Как производится анализ использования электроэнергии на исследуемых объектах?
11. Как классифицируются энергосберегающие мероприятия?
12. Как рассчитывается срок окупаемости и коэффициент эффективности капиталовложений?
13. Как рассчитывается прирост прибыли за счет внедрения энергосберегающих мероприятий?
14. Назначение целевого энергетического мониторинга.
15. На решение каких задач направлены разработка и анализ энергетических балансов?
16. Назовите основные направления по энергосбережению на малых и средних предприятиях.
17. Каковы особенности проведения энергоаудита на предприятиях бюджетной сферы и ЖКХ?

РАЗДЕЛ 2. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЮ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Литература: [1], гл. 3, разд. 3.1–3.7; [2], гл. 1–4; [3], гл. 2, 3; [4], гл. 2–4; [5], гл. 1–3.

Вопросы для самопроверки

1. Перечислите основные мероприятия по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях энергоснабжающих организаций.
2. В какой последовательности производится выбор оптимальных параметров системы электроснабжения?

3. Из каких составляющих складываются потери электроэнергии в различных элементах сети?
4. Какие методы оценки экономической эффективности называются простыми (статистическими), а какие – методами дисконтирования (интегральными)?
5. Какие параметры сети влияют на выбор режима работы нейтрали проектируемой системы электроснабжения?
6. Назовите мероприятия по снижению потерь электроэнергии в заводских сетях.
7. Какие мероприятия по снижению потерь электроэнергии относятся к организационным?
8. От чего зависят потери электроэнергии в трансформаторных подстанциях?
9. Как рассчитывается экономически целесообразный режим работы трансформаторов?
10. Каковы требования энергоснабжающей организации по потреблению и генерации реактивной мощности?
11. Какие задачи решает компенсация реактивной мощности?
12. Перечислите существующие виды компенсации реактивной мощности.
13. Какие существуют способы компенсации реактивной мощности, их достоинства и недостатки?
14. Перечислите мероприятия по энергосбережению в установках, использующих электродвигатели.
15. Как рассчитывается экономическая эффективность замены малозагруженных двигателей?
16. За счет чего достигается экономия электроэнергии при использовании частотно-регулируемого электропривода?
17. Какими способами возможно достичь экономии электроэнергии в осветительных установках?
18. Какие источники света являются более эффективными?

РАЗДЕЛ 3. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ СОБСТВЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Литература: [1], гл. 4, разд. 4.1–4.4; [2], гл. 1–4; [3], гл. 2, 3.

Вопросы для самопроверки

1. Чем определяется актуальность использования собственных авто-

номных источников энергии на промышленных предприятиях?

2. Что такое когенерация?
3. Какие виды топлива могут использоваться в качестве источника энергии на современных мини-ТЭЦ?
4. Каков потенциал для развития ветроэнергетики в России?
5. Назовите основные экологические аспекты использования ветроэнергетических установок.
6. Каковы способы получения электричества и тепла от солнечного излучения.
7. Перечислите достоинства и недостатки солнечной энергетики.
8. Какие существуют типы солнечных электростанций?

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ И ОФОРМЛЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Контрольная работа состоит из трех частей, которые необходимо выполнить каждому студенту. Студент выполняет по каждой из частей вариант задания, обозначенный последней цифрой его учебного шифра в зачетной книжке.

При выполнении контрольной работы необходимо строго придерживаться указанных ниже правил. Работы, выполненные без соблюдения этих правил, не засчитываются и возвращаются студенту для переработки.

1. Каждая контрольная работа должна быть выполнена отдельно, набрана в редакторе Word и распечатана.

2. В заголовке работы на обложке работы должны быть ясно написаны фамилия студента, его инициалы, номер зачетки, название дисциплины. Здесь же следует указать название учебного заведения. В конце работы следует проставить дату ее выполнения и расписаться.

3. В работу должны быть включены все задачи, указанные в задании, строго по положенному варианту. Расчетные работы, содержащие не все задачи задания, а также задачи не своего варианта, не засчитываются.

4. Решения задач надо располагать в порядке номеров, указанных в заданиях, сохраняя номера задач.

5. Перед решением каждой задачи надо выписать её условие.

6. Решения задач следует излагать подробно и аккуратно, объясняя и мотивируя все действия по ходу решения и делая необходимые чертежи.

7. После получения прорецензированной незачтенной работы студент должен исправить все отмеченные рецензентом ошибки и недочеты и выполнить все рекомендации рецензента.

В случае незачета работы и отсутствия прямого указания рецензента на то, что студент может ограничиться предоставлением исправленных решений отдельных задач, вся работа должна быть выполнена заново.

Высылаемые исправления должны обязательно сопровождаться прорецензированной работой и рецензией на неё.

ЧАСТЬ 1. ЭКОНОМИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРИ ВЫБОРЕ ЭКОНОМИЧЕСКИ ЦЕЛЕСООБРАЗНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ТРАНСФОРМАТОРОВ

1. Снижение потерь в трансформаторах путем увеличения их загрузки

Для уменьшения энергозатрат следует обращать внимание на потери электроэнергии, обусловленные ее передачей и трансформацией. Экономически целесообразный режим работы трансформаторов на подстанциях относится к эффективным мероприятиям по снижению потерь электроэнергии.

Эксплуатация систем электроснабжения в ненормальном режиме приводит к увеличению доли потерь, связанных с недогрузкой трансформаторов. Потери в трансформаторах состоят из постоянной (потери в стали) и нагрузочной (в обмотках, коммутаторах и соединительных шинах) составляющих.

Наиболее экономичный режим работы трансформаторов соответствует нагрузке 60–70 % от номинальной мощности и характеризуется коэффициентом загрузки [1]:

$$k_{з \text{ ном}} = \frac{S_{\text{факт}}}{n \cdot S_{\text{ном}}},$$

где $S_{\text{факт}}$ – фактическое значение полной мощности, проходящее через трансформатор в нормальном режиме; $S_{\text{ном}}$ – номинальная мощность одного трансформатора подстанции; n – количество трансформаторов в подстанции.

Согласно «Правил устройства электроустановок» (ПУЭ), коэффициент загрузки трансформаторов зависит от категории по бесперебойности питания нагрузки и может находиться в пределах [1]:

$$k_{з \text{ ном}} = 0,7 \div 0,75 \text{ – для потребителей I категории;}$$

$$k_{з \text{ ном}} = 0,75 \div 0,8 \text{ – для потребителей II категории;}$$

$$k_{з \text{ ном}} = 0,8 \div 0,9 \text{ – для потребителей III категории.}$$

Работа малозагруженных трансформаторов (с $k_{з \text{ ном}} < 0,3$) является экономически не выгодной из-за собственных потерь в каждом из трансфор-

маторов. Необходимо выключать недозагруженные трансформаторы, увеличивая их степень загрузки.

Согласно выражениям для определения потерь мощности в трансформаторе, приведенным ниже, можно видеть, что коэффициент загрузки имеет непосредственное влияние на уровень потерь.

Потери активной электроэнергии в трансформаторе рассчитываются по формуле, кВт · ч:

$$\Delta \mathcal{E}_a = \Delta P'_{xx} T_0 + \Delta P'_{кз} k_3^2 T_p.$$

Приведенные потери мощности холостого хода трансформатора, кВт:

$$\Delta P'_{xx} = \Delta P_{xx} + k_{ип} \Delta Q_{xx}.$$

Приведенные потери мощности короткого замыкания, кВт:

$$\Delta P'_{кз} = \Delta P_{кз} + k_{ип} \Delta Q_{кз}.$$

здесь ΔP_{xx} – потери мощности холостого хода, в расчетах следует принимать по каталогу равными потерям в стали; $\Delta P_{кз}$ – потери мощности короткого замыкания; в расчетах следует принимать равными по каталогу потерям мощности в металле обмоток трансформатора; $k_{ип}$ – коэффициент изменения потерь, зависящий от передачи реактивной мощности (для промышленных предприятий, когда величина его не задана энергосистемой, следует принимать в среднем равным 0,07), кВт/кВАр; T_0 – полное число часов присоединения трансформатора к сети; T_p – число часов работы трансформатора под нагрузкой за учетный период (при односменной работе $T_p = 2400$ ч, при двух – $T_p = 5400$ ч, при трех – $T_p = 8400$ ч);

Постоянная составляющая потерь реактивной мощности холостого хода трансформатора, кВАр:

$$\Delta Q_{xx} = \frac{S_{ном} U_{кз}}{100}, \quad \Delta Q_{кз} = \frac{S_{ном} I_{xx}}{100},$$

где $S_{ном}$ – номинальная мощность трансформатора, кВА; $U_{кз}$ – напряжение короткого замыкания, %; I_{xx} – ток холостого хода, %.

Реактивная мощность, потребляемая трансформатором при полной нагрузке, кВАр:

$$\Delta Q_T = \Delta Q_{кз} + \Delta Q_{xx} \cdot k_3 = \left(\frac{I_{xx}}{100} + \frac{U_{кз} \cdot k_3^2}{100} \right) \cdot S_{ном} \cdot n.$$

Потери реактивной электроэнергии за учетный период, кВт · ч в год:

$$\Delta \mathcal{E}_p = \frac{S_{\text{НОМ}} I_{\text{ХХ}} T_0}{100} + \frac{S_{\text{НОМ}} U_{\text{КЗ}} k_3^2 T_p}{100}.$$

Потери полной электроэнергии за учетный период, кВт · ч в год:

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{п}} = \sqrt{\Delta \mathcal{E}_a^2 + \Delta \mathcal{E}_p^2},$$

Экономический эффект при замене трансформатора большей мощности на трансформатор меньшей мощности за счет уменьшения потерь, руб. в год:

$$\mathcal{E} = (\Delta \mathcal{E}_{\text{п2}} - \Delta \mathcal{E}_{\text{п1}}) \cdot C_3,$$

где $\Delta \mathcal{E}_{\text{п1}}$ – значение потерь полной мощности заменяемого трансформатора; $\Delta \mathcal{E}_{\text{п2}}$ – значение потерь полной мощности нового трансформатора; C_3 – стоимость электроэнергии.

Срок окупаемости реконструкции трансформаторной подстанции, лет:

$$t_{\text{ок}} = K / \mathcal{E},$$

где K – единовременные капитальные вложения на реконструкцию подстанции (стоимость одного трансформатора умноженная на их количество); \mathcal{E} – экономический эффект, получившийся при реконструкции подстанции.

2. Расчет экономически целесообразного режима работы трансформаторов

Экономически целесообразный режим работы трансформаторов определяется в зависимости от суммарной нагрузки числа параллельно включенных трансформаторов, обеспечивающих минимум потерь электроэнергии в этих трансформаторах $\Delta P'_{\Sigma 0} = \min [1]$:

$$\Delta P'_{\Sigma 0} = n (\Delta P_{\text{ХХ}} + k_{\text{ИП}} \Delta Q_{\text{ХХ}}) + \frac{1}{n} (\Delta P_{\text{КЗ}} + k_{\text{ИП}} \Delta Q_{\text{КЗ}}) k_3^2,$$

где n – число включенных трансформаторов одинаковой мощности.

В условиях эксплуатации оптимальным коэффициентом загрузки трансформатора считают такой, который обеспечивает максимальный приведенный КПД, т.е.

$$k_{30} = \sqrt{\Delta P'_{\text{ХХ}} / \Delta P'_{\text{КЗ}}}.$$

Однако, в условиях эксплуатации не всегда возможно регулировать нагрузку трансформатора для получения оптимального коэффициента загрузки, поскольку нагрузка зависит от условий технологического процесса произ-

водства.

При выборе оптимальной мощности трансформаторов необходимо использовать основной экономический критерий, а именно: минимум приведенных годовых затрат. Применение этого критерия позволяет, учитывая эффективность капиталовложений в трансформаторы, с одной стороны, избежать излишних потерь электроэнергии, а с другой – омертвления материальных ценностей и трудовых затрат. При этом условия эксплуатации наиболее выгодным образом сочетаются с параметрами трансформаторов.

Приведенные затраты на один трансформатор в зависимости от нагрузки определяются по выражению

$$Z_{1T} = k_H K + \left[\Delta P'_{XX} + k_3^2 \Delta P'_{K3} \right] T_p C_3,$$

где $k_H = k_3 + k_a$ – нормативный коэффициент; k_3 – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, $k_3 = 0,15$ (из расчета срока окупаемости капиталовложений 6 лет – $k_3 = 1/6 = 0,15$); k_a – нормативный коэффициент амортизационных отчислений, $k_a = 0,06$ (из расчета 6 % в год); K – единовременные капитальные вложения в один трансформатор; C_3 – стоимость (тариф) 1 кВт · ч электроэнергии.

С целью сопоставления k_3 трансформаторов различной мощности можно использовать удельные приведенные затраты, т.е. приведенные затраты, отнесенные к передаваемой мощности S :

$$z_{1T} = Z_{1T} / S = (k_H K) / S + \left(\Delta P'_{XX} + k_3^2 \Delta P'_{K3} \right) T_p C_3 / S. \quad (1)$$

На основании выражения (1) получен оптимальный коэффициент загрузки, соответствующий минимуму приведенных затрат [1]:

$$k_{3M3} = \sqrt{\Delta P'_{XX} / \Delta P'_{K3} + k_H K / C_3 T_p \Delta P'_{K3}}.$$

3. Расчет степени износа трансформаторов

Расчет степени износа подстанций предприятия осуществляется по выражению [1]:

$$И = \frac{2009 - \Gamma_{уст}}{25} \cdot 100 \%,$$

где $И$ – износ трансформатора на сегодняшний день; $\Gamma_{уст}$ – год (дата) ввода

трансформатора в эксплуатацию.

Трансформаторные подстанции, исчерпавшие свой рабочий ресурс, как правило, имеют высокие потери в обмотках и низкие изоляционные характеристики. Массовый выход из строя этих трансформаторов может привести к простоему оборудования основного производства и значительному материальному ущербу на предприятии.

ЧАСТЬ 2. ЭКОНОМИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ УСТРОЙСТВ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

1. Понятие реактивной мощности

В электрических цепях, содержащих комбинированные сопротивления (нагрузку), в частности, активную (лампы накаливания, электронагреватель и др.) и индуктивную (электродвигатели, распределительные трансформаторы, сварочное оборудование, люминесцентные лампы и др.) составляющие, общую мощность, забираемую от сети, можно выразить векторной диаграммой (рис. 1) [1].

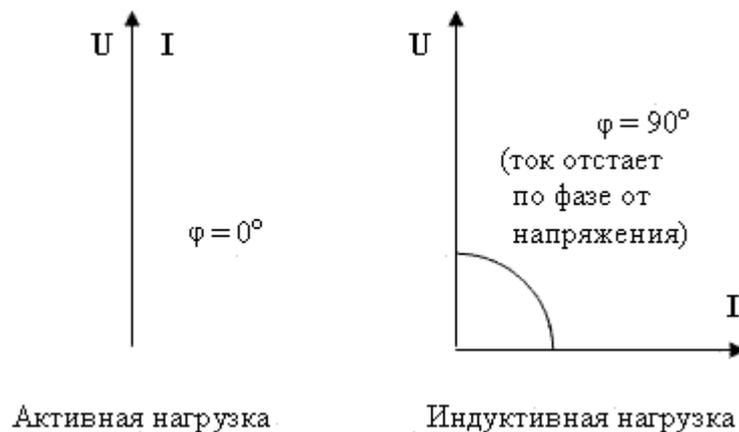


Рис. 1. Векторная диаграмма активной и индуктивной нагрузки

Отставание тока по фазе от напряжения в индуктивных элементах обуславливает интервалы времени (см. рис. 2), когда напряжение и ток имеют противоположные знаки: напряжение положительно, а ток отрицателен и наоборот. В эти моменты мощность не потребляется нагрузкой, а подается обратно по сети в сторону генератора. При этом электроэнергия, запасаемая в каждом индуктивном элементе, распространяется по сети, не рассеиваясь в активных элементах, а совершая колебательные движения (от нагрузки к ге-

нератору и обратно). Соответствующую мощность называют *реактивной*.

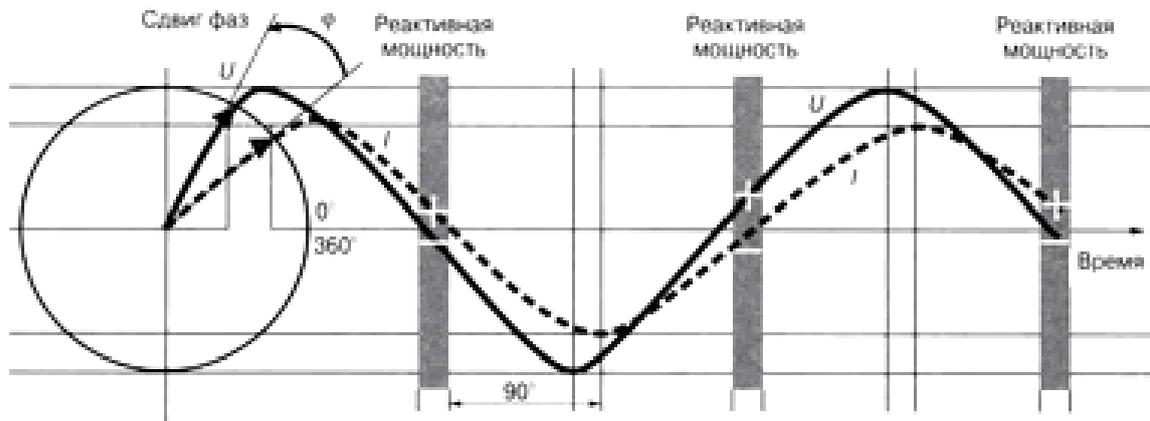


Рис. 2. Отставание тока по фазе от напряжения в индуктивных элементах

Полная мощность складывается из активной мощности, совершающей полезную работу, и реактивной мощности, расходуемой на создание магнитных полей и создающей дополнительную нагрузку на силовые линии питания. Соотношение между полной и активной мощностью (рис. 3), выраженное через косинус угла между их векторами, называется *коэффициентом (фактором) мощности*.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}, \quad \cos \varphi = P/S,$$

где P – активная мощность (кВт); S – полная мощность (кВА); Q – реактивная мощность (кВАр); $\cos \varphi$ – коэффициент мощности.

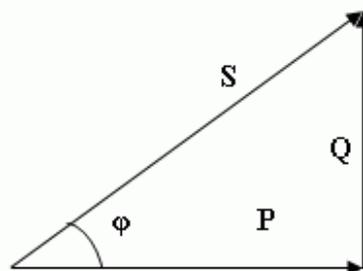


Рис. 3. Соотношение между полной и активной мощностью

Активная энергия преобразуется в полезную – механическую, тепловую и другие виды энергии. Реактивная же энергия не связана с выполнением полезной работы, а расходуется на создание электромагнитных полей в

электродвигателях, трансформаторах, индукционных печах, сварочных трансформаторах, дросселях и осветительных приборах. Таким образом, основными потребителями реактивной мощности на коммунальных промышленных предприятиях являются:

- асинхронные двигатели (45–65 %);
- трансформаторы всех степеней трансформации (20–25 %);
- электропечные установки (8 %);
- воздушные линии электропередачи и другие электроприемники (вентильные преобразователи, сварочное оборудование, люминесцентные лампы, реакторы и т.п.) (10 %).

Реактивная мощность при синусоидальном напряжении однофазной сети равна:

$$Q = P \cdot \operatorname{tg} \varphi,$$

в трехфазной сети – как алгебраическая сумма фазных реактивных мощностей.

Реактивная мощность Q пропорциональна реактивному току, протекающему через индуктивный элемент:

$$Q = U \cdot I_L,$$

где I_L – реактивный (индуктивный) ток, U – напряжение сети.

Таким образом, полный ток, питающий нагрузку, складывается из активной и индуктивной составляющих:

$$I = I_R + I_L.$$

В зависимости от вида используемого оборудования нагрузка подразделяется на *активную*, *индуктивную* и *емкостную*. Наиболее часто потребитель имеет дело со смешанными активно-индуктивными нагрузками. Соответственно, из электрической сети происходит потребление как активной, так и реактивной энергии.

2. Основы компенсации реактивной мощности

В последние годы наблюдается значительный рост производства и развитие инфраструктуры городов. В связи с этим увеличивается число и мощности электроприемников, используемых на производствах в основных технологических и вспомогательных циклах, а объекты инфраструктуры применяют все большее количество осветительных аппаратов для рабочего освещения, рекламы и дизайна. Соответственно, увеличивается потребляемая

электрическая мощность [1].

При передаче потребителям активной P и реактивной Q мощностей в системе электроснабжения имеют место потери активной мощности. Потери активной мощности пропорциональны квадрату реактивной мощности, и при снижении реактивной мощности эти потери уменьшаются. Поэтому, потребление всей реактивной мощности от энергоснабжающей организации нецелесообразно, так как ток, вызванный реактивной мощностью, дополнительно нагружает линии электропередачи. Передача реактивной мощности по сети снижает пропускную способность всех элементов системы электроснабжения. Это приводит к увеличению сечений проводов и кабелей, к увеличению мощности генераторов, трансформаторов, повышению активных потерь, а также падению напряжения (из-за увеличения реактивной составляющей тока питающей сети) и, соответственно, к увеличению капитальных затрат на внешне- и внутривнутриплощадочные сети.

В связи с этим реактивную мощность необходимо получать (генерировать) непосредственно у потребителя.

Снижение реактивной мощности, циркулирующей между источником тока и приемником, а следовательно, снижение реактивного тока в генераторах и сетях называют *компенсацией реактивной мощности* (КРМ). Эту функцию выполняют установки КРМ. Установки КРМ – электроприемники с емкостным током, которые при работе формируют опережающую реактивную мощность (ток по фазе опережает напряжение) для компенсации отстающей реактивной мощности, генерируемой индуктивной нагрузкой.

Компенсация реактивной мощности, или повышение коэффициента мощности электроустановок промышленных предприятий, имеет большое народнохозяйственное значение и является частью общей проблемы повышения КПД работы систем электроснабжения и улучшения качества отпускаемой потребителю электроэнергии.

КРМ является одним из основных направлений сокращения потерь электроэнергии и повышения эффективности электроустановок промышленных предприятий с одновременным повышением качества электроэнергии непосредственно в сетях предприятий.

Цели регулирования реактивной мощности очень кратко можно сформулировать следующим образом:

1. Стабилизация напряжения на высоковольтных шинах предприятий и сетей.
2. Известно, что просадка напряжения на шинах равна:

$$\Delta U = \frac{\Delta Q}{S_{кз}}.$$

Если за счет регулирования изменение реактивной мощности ΔQ будет практически равно 0, то просадка напряжения на шинах при неизменном значении $S_{кз}$ будет также практически равна нулю. Такой режим можно обеспечить, организовав непрерывный переток реактивной мощности между емкостной и индуктивной составляющими компенсирующего устройства.

3. Подавление высших гармоник, присутствующих в сети от работы многочисленных преобразователей частоты и напряжения, причем, по мере развития промышленности доля таких преобразователей, как известно, неумолимо растет.

4. Улучшение коэффициента мощности предприятий $\cos \varphi$.

5. Снижение фликера – низкочастотных колебаний ($f \leq 50$ Гц), оказывающих вредное воздействие на здоровье человека (на зрение).

Правильная компенсация реактивной мощности *позволяет*:

- снизить общие расходы на электроэнергию;
- уменьшить нагрузку элементов распределительной сети (подводящих линий, трансформаторов и распределительных устройств), тем самым продлевая их срок службы;

- снизить тепловые потери тока и расходы на электроэнергию;

- снизить влияние высших гармоник;

- подавить сетевые помехи, снизить несимметрию фаз;

- добиться большей надежности и экономичности распределительных сетей.

Кроме того, в существующих сетях:

- исключить генерацию реактивной энергии в сеть в часы минимальной нагрузки;

- снизить расходы на ремонт и обновление парка электрооборудования;

- увеличить пропускную способность системы электроснабжения потребителя, что позволит подключить дополнительные нагрузки без увеличения стоимости сетей;

- обеспечить получение информации о параметрах и состоянии сети, а во вновь создаваемых сетях – уменьшить мощность подстанций и сечения кабельных линий, что снизит их стоимость.

Чем ниже коэффициент мощности $\cos \varphi$ при одной и той же активной нагрузке электроприемников, тем больше потери мощности и падение напряжения в элементах систем электроснабжения. Поэтому следует всегда

стремиться к получению наибольшего значения коэффициента мощности.

Значения коэффициента мощности некомпенсированного оборудования приведены в табл. 1, а усредненные значения коэффициента мощности для систем электроснабжения различных предприятий – в табл. 2. В оптимальном режиме показатель должен стремиться к единице и соответствовать нормативным требованиям.

Уровень компенсируемой реактивной мощности Q_k определяется как разность реактивных мощностей нагрузки предприятия Q_{Π} и представляемой предприятию энергосистемой Q_{Σ} [1]:

$$Q_k = Q_{\Pi} - Q_{\Sigma} = P \cdot (\operatorname{tg} \varphi_{\Pi} - \operatorname{tg} \varphi_{\Sigma}).$$

Таблица 1

**Значения коэффициента мощности
некомпенсированного оборудования**

Тип нагрузки	Примерный коэффициент мощности
Асинхронный электродвигатель до 100 кВт	0,6–0,8
Асинхронный электродвигатель 100–250 кВт	0,8–0,9
Индукционная печь	0,2–0,6
Сварочный аппарат переменного тока	0,5–0,6
Электродуговая печь	0,6–0,8
Лампа дневного света	0,5–0,6

Таблица 2

**Усредненные значения коэффициента мощности
для систем электроснабжения различных предприятий**

Тип нагрузки	Примерный коэффициент мощности $\cos \varphi$
1	2
Хлебопекарное производство	0,6–0,7
Мясоперерабатывающее производство	0,6–0,7
Мебельное производство	0,6–0,7
Лесопильное производство	0,55–0,65
Молочные заводы	0,6–0,8
Механообрабатывающие заводы	0,5–0,6
Авторемонтные предприятия	0,7–0,8
Пивоваренные заводы	~ 0,6

1	2
Деревообрабатывающие предприятия	~ 0,6
Цементные заводы	~ 0,7
Горные разрезы	~ 0,6
Сталелитейные заводы	~ 0,6
Табачные фабрики	~ 0,8
Порты	~ 0,5

Таким образом, видно, что при отсутствии компенсации реактивной мощности потребитель переплачивает за потребление реактивной энергии 30-40% общей стоимости.

31 августа 2006 года вышло постановление Правительства РФ № 530, которым утверждены изменения «Правил недискриминационного доступа к услугам по передаче электрической энергии и оказания этих услуг». Согласно вышеуказанным правилам потребители электрической энергии должны соблюдать значения соотношения потребления активной и реактивной мощностей, определенных в договоре в соответствии с порядком, утвержденным Минтопэнерго России. А согласно приказу от 22 февраля 2007 года № 49 «О порядке расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощностей для отдельных энергопринимающих устройств электрической энергии» были определены предельные значения коэффициента реактивной мощности для потребителей, присоединенных к сетям напряжением ниже 220 кВ (табл. 3).

Таблица 3

Предельные значения коэффициента реактивной мощности

Положение точки присоединения потребителя к электрической сети	tg φ
напряжением 110 кВ (154 кВ)	0,5
напряжением 35 кВ (60 кВ)	0,4
напряжением 6–20 кВ	0,4
напряжением 0,4 кВ	0,35

КРМ – одно из наиболее доступных, эффективных и простых способов снижения потерь электроэнергии как для потребителя, так и для электросетевой компании, а также снижения себестоимости выпускаемой потребителями продукции.

Снизить потребление реактивной мощности, а следовательно, и потери активной мощности, можно двумя способами:

- без применения компенсирующих устройств (КУ) [1],
- с применением КУ.

3. Мероприятия, связанные с применением компенсирующих устройств

- применение в качестве КУ синхронных двигателей в режиме перевозбуждения ($\cos \varphi > 1$);
- применение синхронных компенсаторов в электрических сетях напряжением 110/35 и 110/6;
- применение в качестве КУ батарей конденсаторов.

Для повышения пропускной способности воздушных линий начинают применять управляемые шунтирующие реакторы, статические тиристорные компенсаторы и статические компенсирующие устройства. Последние позволяют существенно увеличить передаваемую по линии мощность сверхнатурального значения.

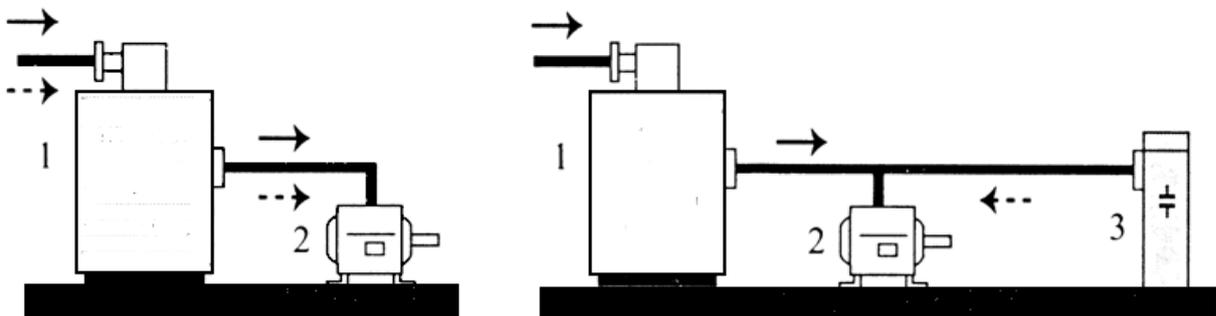


Рис. 4. Схема компенсации реактивной мощности электродвигателя (1 – трансформатор, 2 – электродвигатель, 3 – конденсатор)

Наиболее действенным и эффективным способом снижения потребляемой из сети реактивной мощности является применение *конденсаторных установок*. КУ подключают параллельно нагрузке для снижения доли реактивного тока в системе «генератор–нагрузка» (рис. 4). Реактивная мощность при этом уже не перемещается между генератором и нагрузкой, а совершает локальные колебания между реактивными элементами – индуктивными обмотками нагрузки и конденсатором. Такая компенсация реактивной мощности позволяет передать в нагрузку большую активную мощность при той же номинальной полной мощности генератора.

Основные достоинства КУ следующие:

- малые потери активной мощности (0,3–0,45 кВт на 100 кВАр);
- отсутствие вращающихся частей и их малая масса (нет необходимости в фундаменте);
- простая и дешевая эксплуатация по сравнению с другими КУ;
- возможность изменения их мощности при необходимости;
- возможность установки в любой точке сети.

На практике коэффициент мощности после компенсации находится в пределах от 0,93 до 0,99.

Срок окупаемости конденсаторных установок можно оценить следующим образом:

$$t_{ок} = Z_1 / (Z_2 - Z_3),$$

где Z_1 – стоимость конденсаторной установки, руб.; Z_2 – затраты на электроэнергию без компенсации, руб./мес.; Z_3 – затраты на электроэнергию при применении конденсаторных установок, руб./мес.

В установках напряжением до 1 кВ конденсаторы включаются в сеть и отключаются от сети с помощью автоматических выключателей (автоматов) или рубильников.

В установках напряжением выше 1 кВ для включения и отключения конденсаторов служат высоковольтные выключатели или выключатели нагрузки.

В системах промышленного электроснабжения применяются, как правило, комплектные конденсаторные установки.

ЧАСТЬ 3. ЭКОНОМИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ДВИГАТЕЛЬНОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ

1. Сводка общих мероприятий по энергосбережению в установках, использующих электродвигатели

1. Мощность двигателя должна соответствовать нагрузке.
2. При часто повторяющемся режиме работы на холостом ходу двигатель должен легко выключаться.
3. Необходимо эффективно защищать крыльчатку системы обдува двигателя для устранения его возможного перегрева и увеличения доли потерь.
4. Проверять качество эксплуатации трансмиссии – на эффективность работы системы влияет смазка подшипников и узлов трения; применять пра-

вильно тип трансмиссии.

5. Рассмотреть возможность применения электронных регуляторов скорости вращения в двигателях, часть времени работающих не на полной нагрузке.

6. Экономически оценить возможность применения энергоэффективных (ЭЭ) двигателей.

7. Качественно проводить ремонт двигателей, отказаться от применения неисправных или плохо отремонтированных двигателей.

2. Перечень мероприятий, позволяющих повысить $\cos \varphi$

1. Увеличение загрузки асинхронных двигателей. При снижении до 40 % мощности, потребляемой асинхронным двигателем, переключать обмотки с «треугольника» на «звезду». Мощность двигателя при этом снижается в 3 раза.

2. Применение ограничителей времени работы асинхронных двигателей и сварочных трансформаторов в режиме холостого хода (хх).

3. Замена асинхронных двигателей синхронными.

4. Нагрузка трансформаторов должна составлять более 30 % номинальной мощности.

5. Использовать устройства для компенсации реактивной мощности, такие как:

- синхронные двигатели в режиме перевозбуждения;
- комплектные конденсаторные батареи;
- статические компенсаторы (управляемые тиристорами реакторы или конденсаторы).

Такие компенсаторы должны быть приближены к источникам реактивной мощности. Потребителями реактивной мощности являются: асинхронные двигатели (45–60 %); электропечные установки (8 %); вентильные преобразователи (10 %); трансформаторы всех ступеней трансформации (20–25 %).

3. Расчет целесообразности и экономической эффективности замены малозагруженных двигателей

При нагрузке электродвигателя в пределах 45–70 % номинальной мощности целесообразность его замены двигателем меньшей мощности должна быть обоснована. С этой целью определяют суммарные потери активной мощности в системе электроснабжения и в электродвигателе до заме-

ны $\Delta P_{\Sigma 1}$ и после замены $\Delta P_{\Sigma 2}$ двигателя. Если окажется, что $\Delta P_{\Sigma 2} < \Delta P_{\Sigma 1}$, то такая замена целесообразна:

$$\Delta P_{\Sigma} = \left[Q_{xx} (1-k) + k_3^2 Q_{ном} \right] k_{ип} + \Delta P_{xx} + k_3^2 \Delta P_{ан},$$

где $Q_{xx} = \sqrt{3} U_{ном} I_{xx}$ – реактивная мощность, потребляемая электродвигателем из сети при холостом ходе, кВАр; I_{xx} – ток холостого хода двигателя, А; $U_{ном}$ – номинальное напряжение двигателя, В; $k_3 = P / P_{ном}$ – коэффициент загрузки двигателя; P – средняя нагрузка двигателя, кВт; $P_{ном}$ – номинальная активная мощность двигателя, кВт; $Q_{ном} = (P_{ном} / \eta_d) \operatorname{tg} \varphi_{ном}$ – реактивная мощность двигателя при номинальной нагрузке, кВАр; η_d – КПД двигателя при полной нагрузке; $\operatorname{tg} \varphi_{ном}$ – номинальный коэффициент реактивной мощности двигателя (определяется по паспортной величине $\cos \varphi$); $k_{ип}$ – коэффициент изменения потерь, кВт/кВАр.

Потери активной мощности при холостом ходе двигателя определяются, кВт:

$$\Delta P_{xx} = \Delta P_{ном} \left((1 - \eta_d) / \eta_d \right) \cdot (\gamma / (1 + \gamma)).$$

Прирост активной мощности в двигателе при 100%-ной нагрузке определяются, кВт:

$$\Delta P_{ан} = \Delta P_{ном} \left((1 - \eta_d) / \eta_d \right) \cdot (1 / (1 + \gamma)),$$

где $\gamma = \Delta P_{xx} / \Delta P_{ан}$ – расчетный коэффициент, зависящий от конструкции двигателя и определяемый из выражения:

$$\gamma = \Delta P_{xx100\%} / (1 - \eta_d \%) - \Delta P_{xx100\%},$$

где $\Delta P_{xx100\%}$ – потери холостого хода активной мощности, потребляемой двигателем при нагрузке 100% (в процентах).

Потери электроэнергии за весь период работы составят:

$$\Delta \mathcal{E} = \Delta P T_0,$$

где T_0 – время работы, часов в год.

Проблемы, связанные с заменой малозагруженных двигателей двигателями меньшей мощности, возникают в условиях эксплуатации на промышленных предприятиях при выборе рационального режима работы агрегатов и установок (например, насосов водоснабжения и канализации) и создании систем регулирования с целью экономии электроэнергии при резко изменяющемся графике нагрузки. В таких случаях появляется необходимость замены: например, вместо двух двигателей одинаковой большой мощности ус-

тановить один двигатель большой, а второй – малой номинальной мощности и варьировать этими мощностями в зависимости от графика нагрузки. Целесообразность такой замены следует подтвердить технико-экономическими расчетами. Еще одним вариантом решения данной проблемы является использование частотно-регулируемого электропривода.

Стоимость сэкономленной электроэнергии равна за год:

$$\mathcal{E} = \Delta\mathcal{E} \cdot C_3,$$

где C_3 – цена 1 кВт · ч электроэнергии, руб.

Срок окупаемости можно определить, лет:

$$t_{\text{ок}} = K / \mathcal{E},$$

где K – капитальные затраты на приобретение оборудования, выполнение строительно-монтажных работ и наладок оборудования.

4. Внедрение частотно-регулируемого электропривода

Частотно-регулируемый электропривод (ЧРП) – это электродвигатель, оснащенный регулируемым преобразователем частоты. Предназначен ЧРП для оптимизации режимов работы двигателей с переменной нагрузкой. В частности, эффективен и быстро окупается в насосных и вентиляционных системах, большую часть времени работающих на пониженных подачах, в которых регулирование осуществляется с помощью регулирующих задвижек. При использовании ЧРП устраняются потери энергии в регулирующем устройстве, насос работает в зоне с более высоким КПД. Таким образом, можно добиться значительного снижения затрат предприятия, связанных с потреблением электроэнергии, увеличения межремонтного цикла и уменьшения больших пусковых моментов электродвигателей.

Установка устройств ЧРП на электродвигатели имеет смысл в тех случаях, когда на него подается переменная нагрузка. Например, насосы в водопроводно-канализационном хозяйстве в разное время суток работают с разной производительностью: в ночное время производительность уменьшается, а в дневное – увеличивается. Кроме того, насосы и связанные с ними части установок, такие как трубопроводы, клапаны и резервуары, всегда рассчитывают по максимальному количеству передаваемой жидкости, учитывая растущую потребность в будущем, повышенную производительность при особых ситуациях (например, при осушении и заполнении резервуаров), аварийные ситуации. Регулирование объема воды на таких насосах в настоящее

время осуществляется дроссельными заслонками. Данный способ регулирования является самым неэкономичным, так как КПД электродвигателя насоса в данном режиме намного меньше номинального значения. Предлагается установить преобразователь частоты и запитать электродвигатель от преобразователя.

Рассчитать экономию энергии для одного насоса при установке устройства ЧРП можно по выражению, кВт · ч в год:

$$\Delta W = \frac{(H_{\text{ном}} - H_{\text{факт}}) \cdot Q_{\text{ср}}}{367 \cdot \eta_{\text{ном}} \cdot \eta_{\text{перед}}} \cdot T_0 ,$$

где $Q_{\text{ср}}$ – средняя производительность насоса, м³/с; $\eta_{\text{ном}}$ – коэффициент полезного действия насоса (двигателя); $\eta_{\text{перед}}$ – коэффициент полезного действия передачи между двигателем и механизмом ($\eta_{\text{перед}} = 0,95 \%$); $H_{\text{ном}}$ – номинальный напор насоса, м; $H_{\text{факт}}$ – фактический напор насоса, м.

Годовая экономия денежных средств при этом рассчитывается , руб в год:

$$\mathcal{E} = \Delta W \cdot C_{\mathcal{E}} .$$

Срок окупаемости будет определяться, лет:

$$t_{\text{ок}} \cong K / \mathcal{E} ,$$

где K – капитальные затраты на приобретение устройства ЧРП.

ВАРИАНТЫ КОНТРОЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ

Задание по части 1. ЭКОНОМИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРИ ВЫБОРЕ ЭКОНОМИЧЕСКИ ЦЕЛЕСООБРАЗНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ТРАНСФОРМАТОРОВ

1. Рассчитайте фактический коэффициент загрузки и потери электроэнергии в трансформаторной подстанции с параметрами, представленными в табл. 4. Для расчета используйте паспортные данные трансформаторов, представленные в справочнике [9].

2. Выберите экономически целесообразный режим работы данной подстанции на основании расчета оптимального коэффициента загрузки, соответствующего минимуму приведенных затрат. При необходимости проведите реконструкцию подстанции с заменой трансформаторов на трансформаторы меньшей мощности. Определите экономический эффект от проведенной ре-

конструкции за счет снижения потерь. Капитальные вложения в трансформаторную подстанцию определять по существующей стоимости трансформаторов [10].

3. Рассчитайте степень износа трансформаторной подстанции.

4. Аналогично проведите анализ работы трансформаторных подстанций на предприятии по месту Вашей работы.

Задание по части 2. ЭКОНОМИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ УСТРОЙСТВ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Рассчитайте экономию электроэнергии при использовании компенсирующих устройств (батареи конденсаторов). Для трансформаторной подстанции, рассмотренной в задании к части 1 (табл. 4), по $\cos \varphi$ определите активную и реактивную составляющие нагрузки. Затем рассчитайте мощность, подлежащую компенсации согласно требованиям табл. 3, и выберите по справочнику [9] конденсаторные батареи. Далее рассчитайте потери электроэнергии в сети с учетом конденсаторных батарей. Сравните их уровень с ранее посчитанными потерями электроэнергии без КРМ (расчет задания части 1). Определите срок окупаемости выбранных конденсаторных установок.

Этапы выполнения задания по части 2:

1. Определяют номинальную мощность трансформаторов:

$$S_{\text{ном.р}} = \frac{S_{\text{р}}}{n \cdot k_3}, \quad S_{\text{ном.р}} \leq S_{\text{ном}}$$

где $k_3 = 0,7 \div 0,9$, $n = 1 \div 2$ шт.; $S_{\text{ном}}$ – справочная величина стандартной мощности трансформатора.

2. Выбирают мощность трансформаторов и проверяют ее по коэффициентам загрузки в нормальном $k_{3.н}$ и аварийном режимах $k_{3.ав}$:

$$k_{3.н} = \frac{S_{\text{р}}}{n \cdot S_{\text{ном}}},$$

$$k_{3.ав} = \frac{S_{\text{р}}}{S_{\text{ном}}} \leq 1,4.$$

3. Потери в трансформаторной подстанции определяются активными потерями, состоящими из потерь холостого хода $\Delta P_{\text{хх}}$ и короткого замыкания $\Delta P_{\text{кз}}$, и реактивными потерями, состоящими из реактивных потерь холо-

стого хода ΔQ_{XX} и короткого замыкания ΔQ_{K3} .

Активные и реактивные потери в трансформаторной подстанции определяются по формулам:

$$\Delta P = \Delta P_{XX} + \Delta P_{K3} \cdot k_3^2.$$

$$\Delta Q = \Delta Q_{XX} + \Delta Q_{K3} \cdot k_3^2 = \frac{S_{НОМ} \cdot I_{XX}}{100} + \frac{S_{НОМ} \cdot U_{K3} \cdot k_3^2}{100},$$

где k_3 – коэффициент загрузки трансформатора в нормальном режиме; I_{XX} – ток холостого хода, % и U_{K3} – напряжение короткого замыкания, %, определяются паспортными параметрами [9].

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi,$$

4. Определяют расчетную мощность компенсирующих устройств:

$$Q_{КУ} = P_p (\operatorname{tg} \varphi_H - \operatorname{tg} \varphi_3) = P_p \left(\frac{Q_p}{P_p} - \operatorname{tg} \varphi_3 \right),$$

где $\operatorname{tg} \varphi_3$ - коэффициент реактивной мощности определяемый требованиями энергосистемы (табл. 4).

По справочнику выбирают стандартное значение мощности компенсирующих устройств КУ и определяют некомпенсированную мощность:

$$Q_p' = Q_p - n_{КУ} \cdot Q_{КУ.СТ},$$

где $n_{КУ}$ - количество компенсирующих устройств; $Q_{КУ.СТ}$ - стандартная (номинальная) мощность конденсаторной батареи (согласно справочнику [9]).

5. Определяют расчетную полную мощность питающуюся от данной трансформаторной подстанции:

$$S_p' = \sqrt{P_p^2 + Q_p'^2}.$$

6. Находим новый коэффициент загрузки трансформаторной подстанции с учетом компенсации реактивной мощности:

$$k_{3.Н} = \frac{S_p'}{n \cdot S_{НОМ}}.$$

Задание для 1 и 2 частей контрольной работы

№ варианта	$S_{\text{факт}}$, кВА	$S_{\text{ном}}$, кВА	Марка трансформатора	Кол-во трансформаторов n	$\cos \varphi$	T_0 , час	Кол-во смен	Стоимость электроэнергии $C_э$, руб	Напряжение трансформаторов ВН/НН, кВ	Год ввода в эксплуатацию $\Gamma_{\text{уст}}$
1	250	630	ТСЗ	2	0,65	4200	2	2,00	10/0,4	1978
2	300	630	ТМ	2	0,55	5000	2	1,70	6/0,4	1989
3	545	1000	ТМ	2	0,40	7800	3	0,89	10/0,4	1990
4	115	400	ТСЗ	1	0,70	2200	1	1,25	6/0,4	1985
5	1050	2500	ТСЗ	2	0,45	3300	2	2,10	10/0,4	2000
6	2800	6300	ТДН	2	0,25	5000	2	1,90	35/10	1995
7	800	2500	ТМ	1	0,75	1450	1	2,15	6/0,4	2002
8	40000	63000	ТРДН	2	0,36	5400	2	1,98	110/10	1996
9	650	1600	ТМ	2	0,50	1200	1	1,77	10/0,4	2005
0	95	250	ТМ	2	0,60	2800	2	2,35	6/0,4	1987

7. Определяем активные и реактивные потери в трансформаторной подстанции с учетом компенсации реактивной мощности:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{XX}} + \Delta P_{\text{КЗ}} \cdot k_{3.Н}^2,$$

$$\Delta Q = \Delta Q_{\text{XX}} + \Delta Q_{\text{КЗ}} \cdot k_{3.Н}^2 = \frac{S_{\text{НОМ}} \cdot I_{\text{XX}}}{100} + \frac{S_{\text{НОМ}} \cdot U_{\text{КЗ}} \cdot k_{3.Н}^2}{100},$$

где $k_{3.Н}$ – коэффициент загрузки трансформатора в нормальном режиме с учетом компенсации реактивной мощности; I_{XX} – ток холостого хода, % и $U_{\text{КЗ}}$ – напряжение короткого замыкания, % – определяются паспортными параметрами.

8. Далее рассчитаем затраты на электроэнергию за рассматриваемый период:

$$З_1 = C_э S_p T_0, \quad З_2 = C_э S_p' T_0,$$

где $З_1$ – затраты на электроэнергию без компенсации, руб./мес.; $З_2$ – затраты на электроэнергию при применении конденсаторных установок, руб./мес; T_0 – время работы трансформаторной подстанции, часов в год.

9. Срок окупаемости конденсаторных установок можно оценить следующим образом, лет:

$$t_{\text{ок}} = K / (З_2 - З_3),$$

где K – капитальные вложения (стоимость) в конденсаторную установку, руб.;

Задание по части 3. ЭКОНОМИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ДВИГАТЕЛЬНОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ

1. Проведите расчет целесообразности и экономической эффективности замены малозагруженных двигателей в системе водопроводно-канализационного хозяйства (по данным табл. 5).

2. Рассчитайте экономию энергии для предложенного насоса (табл. 5) при установке устройства ЧРП (считать, что насос имеет двигатель табл. 5).

3. Аналогично проведите анализ работы электродвигателей, имеющих-ся на предприятии по месту Вашей работы.

Таблица 5

Задание для 3 части контрольной работы

№ варианта	Средняя загрузка двигателя P , кВт	Марка насоса	Марка двигателя	Номинальная мощность $P_{\text{ном}}$, кВт	T_0 , час	Стоимость электроэнергии $C_{\text{э}}$, руб	Напряжение, кВ	Потери холостого хода при загрузке 100% $\Delta P_{\text{хх}100\%}$	Ток холостого хода двигателя $I_{\text{хх}}$, А	Подача насоса, м ³ /ч	Номинальный напор насоса $H_{\text{ном}}$, м	Фактический напор $H_{\text{факт}}$, м
1	7,6	СД 80/32	RA200LA6	18,5	4200	2,00	0,38	5,5	5,7	80	32	20
2	20	СД 250/22,5б	RA200 LA2	30	5000	1,70	0,38	5,5	8,7	250	22,5	15
3	145	СД 800/62а	4A355S2Y3	250	7800	0,89	0,66	5,5	10,2	800	62	45
4	115	СД 250/22,5б	4A315S2Y3	160	2200	1,25	0,38	5,5	7,5	250	22,5	12
5	150	СД 450/95-2б	4AH355M4Y3	400	3300	2,10	0,66	5,5	31,0	450	95	70
6	280	СД 160/25б	АТД4	630	5000	1,90	6,0	5,5	72,0	160	25	16
7	1800	СД 500/56а	АТД4	2500	1450	2,15	10,0	5,5	279,0	500	56	44
8	40000	СД 500/10а	АТД4	4000	5400	1,98	10,0	5,5	444,0	500	10	5
9	65	СД 100/40б	АИР250М2	90	1200	1,77	0,38	5,5	7,2	100	40	23
0	950	СД 160/45б	АДО	1600	2800	2,35	6,0	5,5	355,0	160	45	28

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАБОТЕ НАД ДИСЦИПЛИНОЙ «ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ПРОМЫШЛЕННЫХ И КОММУНАЛЬ- НЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ».	4
ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ОПД.В1 «ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ПРОМЫШЛЕННЫХ И КОММУНАЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ» цик- ла общепрофессиональных дисциплин учебного плана специальности 140610.65 «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений» направления подготовки дипломирован- ного специалиста 140600 «Электротехника, электромеханика и элек- тротехнологии» для студентов заочной формы обучения.	7
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ «ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ПРОМЫШЛЕННЫХ И КОММУНАЛЬ- НЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ».	10
Методические указания по выполнению и оформлению контрольной работы.	13
Варианты контрольных заданий.	30

Учебное издание

Денисова Алина Ренатовна

**ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ПРОМЫШЛЕННЫХ
И КОММУНАЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

Программа, методические указания и контрольные задания
по дисциплине «Энергосбережение в промышленных и коммунальных
предприятиях»

Кафедра «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий,
организаций и учреждений»

Редактор издательского отдела *М.С. Беркулова*
Компьютерная верстка *М.С. Беркулова*

Подписано в печать 23.12.09.

Формат 60×84/16. Бумага «Business». Гарнитура «Times». Вид печати РОМ.
Усл. печ. л. 2,4. Уч.-изд. л. 2,5. Тираж 600 экз. Заказ № 3076.

Издательство КГЭУ, 420066, Казань, Красносельская, 51
Типография КГЭУ, 420066, Казань, Красносельская, 51