

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ

ФГБОУ ВО «БРЯНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

Инженерно-технологический институт

А.И. Купреенко, В.И. Чащинов, Х.М. Исаев

Теплоэнергоснабжение предприятий

РАЗДЕЛ

Электроснабжение и использование электроэнергии на предприятии

Учебное пособие

Брянск 2017

УДК 621.1 (075)

ББК 31.31

К - 30

Купреенко А.И. Теплоэнергоснабжение предприятий. Раздел Электроснабжение и использование электроэнергии на предприятии: учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению подготовки 19.03.03 – Продукты питания животного происхождения / А.И. Купреенко, В.И. Чащинов, Х.М. Исаев – Брянск: Издательство Брянского ГАУ, 2017. – 140 с.

В учебном пособии излагаются вопросы электроснабжения предприятий и использования электроэнергии на предприятии. Приводятся краткие сведения по некоторым вопросам электротехники и преобразованию электрической энергии в механическую и в теплоту. В пособии существенное внимание уделено оборудованию для тепловой обработки продуктов с электрическими теплогенерирующими элементами. Пособие составлено с учетом рабочей программы дисциплины «Теплоэнергоснабжение предприятий» для студентов бакалавриата по направлению подготовки 19.03.03 Продукты питания животного происхождения, профиль Технология мяса и мясных продуктов. Пособие может оказаться полезным и для других студентов по направлениям подготовки, связанным с технологией перерабатывающих и пищевых производств, а также эксплуатацией оборудования предприятий этих отраслей.

Рецензент:

А.И. Куличенко – к.т.н., доцент Брянского государственного университета.

Рекомендовано методической комиссией инженерно-технологического института Брянского государственного аграрного университета для подготовки бакалавров по направлению подготовки 19.03.03 Продукты питания животного происхождения, профиль Технология мяса и мясных продуктов, протокол № 9 от 14 июня 2017 г.

© Брянский ГАУ, 2017

© Купреенко А.И., 2017

© Чащинов В.И., 2017

© Исаев Х.М., 2017

Предисловие

Настоящее учебное пособие охватывает вторую часть общего курса по дисциплине «Теплоэнергоснабжение предприятий» для студентов бакалавриата по направлению подготовки 19.03.03 – Продукты питания животного происхождения, профиль 1 «Технология мяса и мясных продуктов» и посвящено вопросам электроснабжения и использования электроэнергии на предприятиях.

В пособии излагаются общие вопросы электроснабжения предприятий и приводятся краткие сведения об электричестве и электроэнергии. Рассматривается устройство электрических сетей и аппаратов систем электроснабжения предприятий. Представлены разделы, посвященные некоторым вопросам электротехники и преобразования электрической энергии в механическую и в теплоту. Существенное внимание уделено оборудованию для тепловой обработки продуктов с электрическими теплогенерирующими элементами.

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ И ЭЛЕМЕНТЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

1. Системы электроснабжения. Основные требования и принципы построения

1.1. Общие сведения о системах электроснабжения предприятий

Система электроснабжения (СЭС) является составной частью энергоснабжения практически любого предприятия и представляет собой совокупность устройств для производства, передачи и распределения электрической энергии.

В общем случае система электроснабжения представляет совокупность электроустановок, состоящих из машин, аппаратов, линий передачи и вспомогательного оборудования (вместе с сооружениями и помещениями, в которых они установлены), предназначенных для производства, преобразования, передачи, распределения электрической энергии и преобразования ее в другой вид энергии

В системе электроснабжения можно выделить три составных части:

- устройства по производству электрической энергии – электрические станции;
- устройства по передаче, преобразованию и распределению электроэнергии – электрические сети и подстанции;
- устройства по потреблению электрической энергии в производственных и бытовых нуждах – приемники электрической энергии.

Электрическая станция – это установка или группа установок для производства электроэнергии или электрической и тепловой энергии.

Под линией электропередачи понимается устройство, предназначенное для передачи и распределения или только для передачи электроэнергии на расстояние.

Подстанция – это электроустановка для приема, преобразования и распределения электроэнергии.

Совокупность электроустановок для передачи и распределения электроэнергии, состоящая из подстанций, линий электропередачи, токопроводов, аппаратуры присоединения, защиты и управления называется **электрической сетью**.

Электроприемник, как составляющая часть электрического хозяйства предприятия, организации, любого электрифицированного объекта представляет собой аппарат, агрегат или механизм, предназначенный для преобразования электрической энергии в другой вид энергии, например, электродвигатель, электрический источник света или нагревательный элемент.

Электроприемник или группу электроприемников, объединенных технологическим процессом и размещенных на определенной территории, например, станок, цех, предприятие, называют **потребителем электрической энергии**.

В настоящее время основная часть производимой электроэнергии вырабатывается на высокотехнологичных установках, включенных в общую электрическую сеть. Такое административно-техническое образование называется электроэнергетической системой, которую при

электроснабжении потребителей называют *централизованным источником электроэнергии*.

При обслуживании больших территорий от единой электроэнергетической системы получают электроэнергию множество систем электроснабжения, преобразующих, передающих и распределяющих ее среди электроприемников различных потребителей таких как промышленные предприятия, сельское хозяйство, жилищно-коммунальное хозяйство, транспорт, и т.д.

По способу использования системы электроснабжения относятся к непрерывно работающим. Режимы производства, передачи и распределения электроэнергии в системах электроснабжения неразрывно связаны с режимами питающих энергосистем. Потребители задают режим нагрузок и формируют график нагрузки питающей энергосистемы. Энергосистема оказывает влияние на систему электроснабжения изменением располагаемой мощности источников питания, уровнями напряжения и частоты, величинами токов короткого замыкания, требованиями устойчивости и надежности.

1.2. Требования к системам электроснабжения

Кроме общих требований к системам энергоснабжения предприятий к системе электроснабжения предъявляется ряд дополнительных требований, обусловленных спецификой электроэнергии и потребителей электроэнергии. В частности, это проявляется в требованиях к надежности системы, уровень которой определяется требуемым уровнем надежности электропитания электроприемников.

В соответствии с Правилами устройства электроустановок (ПУЭ) все электроприемники подразделяются на три категории. Для каждой категории свои требования к надежности.

Электроприемники первой категории – электроприемники, перерыв электроснабжения которых может повлечь за собой опасность для жизни людей, угрозу для безопасности государства, значительный материальный ущерб, расстройство сложного технологического процесса, нарушение функционирования особо важных элементов коммунального хозяйства, объектов связи и телевидения. В соответствии с ПУЭ для электроприемников первой категории должны предусматриваться два независимых взаимно резервируемых источника питания.

Из состава электроприемников первой категории выделяется особая группа электроприемников, бесперебойная работа которых необходима для безаварийного останова производства с целью предотвращения угрозы жизни людей, взрывов и пожаров.

Для них предусматривается третий независимый источник питания. В качестве третьего источника питания для особой группы и в качестве второго независимого источника питания для остальных электроприемников первой категории могут быть использованы собственные электростанции или электростанции энергосистемы (в частности, шины генераторного напряжения), агрегаты бесперебойного питания, аккумуляторные батареи и т.п. Назначение третьего независимого источника питания – обеспечение безаварийного останова производства.

Электроприемники второй категории – электроприемники, перерыв электроснабжения которых приводит к массовому недоотпуску

продукции, массовым простоям рабочих, механизмов и промышленного транспорта, нарушению нормальной деятельности значительного количества городских и сельских жителей. Электроприемники второй категории в нормальных режимах должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых взаимно резервирующих источников питания. Для них, при нарушении электроснабжения от одного из источников питания, допустимы перерывы электроснабжения на время, необходимое для включения резервного питания действиями дежурного персонала или выездной оперативной бригады, но не более двух часов.

Допускают питание электроприемников второй категории по одной кабельной линии, состоящей не менее чем из двух кабелей, присоединенных к общему аппарату. Питание электроприемников второй категории, как правило, предусматривают от однострансформаторных ТП при условии организации централизованного резерва трансформаторов и при обеспечении возможности замены поврежденного трансформатора за время не более одних суток.

Электроприемники третьей категории – все остальные электроприемники, не подпадающие под определения первой и второй категорий. Для них электроснабжение может выполняться от одного источника питания при условии, что перерывы электроснабжения, необходимые для ремонта или замены поврежденного элемента системы электроснабжения, не превышают одних суток. В большинстве случаев к данной категории относятся электроприемники, расположенные в сельской местности или на удаленном расстоянии от городских подстанций и распределительных узлов.

Особенное внимание при разработке систем электроснабжения потребителей уделяется требованиям безопасности. В непосредственной близости от низковольтного электротехнического оборудования находится, как правило, большое количество людей, не относящихся к электротехническому персоналу и не имеющих специального образования. Это многочисленные рабочие в цехах промышленных предприятий, жители городов и поселков и др. Эта особенность определяет главное требование к системам электроснабжения – обеспечение безопасности не только обслуживающего персонала, но и людей, которые подчас недостаточно полно осознают опасность близости элементов электрических сетей и электроустановок.

1.3. Структура систем электроснабжения предприятий

Структуры систем электроснабжения имеют некоторое разнообразие, которое определяется характером потребителя и источника электроэнергии, а также степенью удаленности их друг от друга. Тем не менее можно представить некую обобщенную упрощенную структуру электроснабжения предприятия, показанную на рисунке 1.1.

Границы СЭС определены вниз от границы раздела потребитель – энергоснабжающая организация (граница балансовой принадлежности) до индивидуального электроприемника.

Упрощенная схема электроснабжения объекта включает:

источник питания (ИП);

линии электропередачи (ЛЭП), осуществляющие транспорт электрической энергии от ИП к предприятию;

пункт приема электрической энергии (ППЭ);

распределительные сети;

приемники электрической энергии (ЭП).

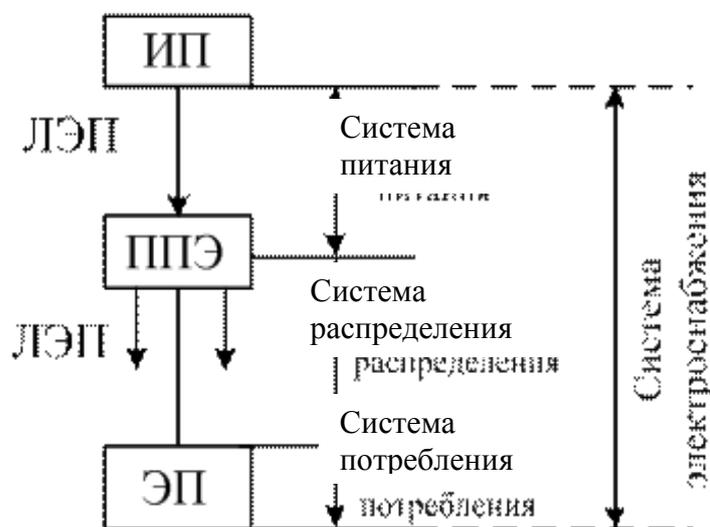


Рис. 1.1. Структура электроснабжения объекта

Систему электроснабжения предприятия можно условно разбить на три части: систему питания, систему распределения и систему потребления.

В качестве источника питания (ИП) могут быть:

- электрическая станция или подстанция энергосистемы;
- электрическая станция предприятия.

Собственная электростанция на предприятии строится в случаях:

- при большом потреблении тепла;
- при размещении предприятия в районах, имеющих слабые электрические связи с энергосистемой;
- при наличии специальных требований к надежности электроснабжения.

В качестве пункт приема электрической энергии ППЭ может быть:

- подстанция глубокого ввода (ПГВ) – служит, как правило, для питания локального объекта или мощного обособленного производства предприятия и находится в центре электрических нагрузок объекта (производства);

- главная понизительная подстанция (ГПП) – служит для питания нескольких потребителей (объектов).

Схемы с одним ППЭ следует применять при отсутствии специальных требований к надежности питания приемников электроэнергии и компактном их расположении на территории предприятия.

Схемы с двумя и более ППЭ следует применять:

- при наличии специальных требований к надежности электропитания;

- при наличии на предприятиях двух и более относительно мощных обособленных групп потребителей;

- во всех случаях, когда применение нескольких ППЭ целесообразно по экономическим соображениям;

- при поэтапном развитии предприятия, когда для питания вновь вводимых мощных узлов нагрузок в будущем целесообразно сооружение отдельного ППЭ.

Питание ППЭ при наличии приемников электроэнергии первой категории осуществляется от двух независимых взаимно резервирующих источников питания. При этом питание ППЭ осуществляется по двум одноцепным воздушным линиям или по двум кабельным линиям, проложенным по разным трассам.

При выходе из строя одной линии оставшаяся в работе должна обеспечить питание всех приемников электроэнергии первой катего-

рии, а также приемников электроэнергии второй и третьей категорий, работа которых необходима для безаварийного функционирования основных производств технологического процесса предприятия

2. Общие сведения об электричестве и электроэнергии

Электричество – это совокупность явлений, обусловленных существованием, взаимодействием и движением электрических зарядов.

Электрический заряд – это свойство тел (количественно характеризуемое физической величиной того же названия), проявляющееся, прежде всего, в способности создавать вокруг себя *электрическое поле* и посредством него оказывать воздействие на другие заряженные (то есть обладающие электрическим зарядом) тела. Электрические заряды разделяют на положительные и отрицательные (выбор, какой именно заряд назвать положительным, а какой отрицательным, считается в науке чисто условным, однако этот выбор уже исторически сделан и теперь за каждым из зарядов закреплен вполне определенный знак). Тела, заряженные зарядом одного знака, отталкиваются, а противоположно заряженные – притягиваются.

В структуре материи электрический заряд как свойство тел связан с заряженными элементарными частицами, например, электрон имеет отрицательный заряд, а протон и позитрон – положительный. *Электрический заряд* (количество электричества) измеряется в *кулонах*.

Хотя на явление электричества обращали внимание еще в древности, в частности, греческий философ Фалес Милетский в VII веке до н. э. обнаружил, что потёртый о шерсть янтарь приобретает свойства притягивать легкие предметы, однако на протяжении длительно-

го времени знания об этом явлении не имели сколь-нибудь заметного развития. Собственно, сам термин «электричество» был введен в 1600 году английским естествоиспытателем Уильямом Гилбертом в его сочинении «О магните, магнитных телах и о большом магните – Земле», в котором объясняется действие магнитного компаса и описываются некоторые опыты с наэлектризованными телами.

Достаточно активное изучение электрических явлений началось лишь в XVIII веке, а в категорию точной науки изучение электричества переходит лишь после открытия в 1785 году закона Кулона, в котором устанавливается сила взаимодействия точечных электрических зарядов. Вклад в теорию и практику использования электрических явлений внесли многие ученые и изобретатели, в том числе и российские.

Среди знаковых достижений в этой области можно отметить создание в 1800 году итальянцем Вольта первого источника постоянного тока (гальванического элемента), представляющего собой столб из цинковых и серебряных кружочков, разделенных смоченной в подсоленной воде бумагой. Большое значение в познание электрических явлений имеют работы британского физика Майкла Фарадея, который опираясь на исследования Эрстеда и Ампера, в 1831 году открывает явление *электромагнитной индукции* и создает на его основе первый в мире генератор электроэнергии, вдвигая в катушку намагниченный сердечник и фиксируя возникновение тока в витках катушки. Фарадей ввел понятие электрического и магнитного полей, высказал мысль о том, что носителем электрических сил являются не какие-либо электрические жидкости, а атомы – частицы материи, сыграв тем самым принципиальную роль в становлении электронной

теории электричества. Он создал также первый в мире электродвигатель, представляющий проволочку с током, вращающуюся вокруг магнита. Таким образом, Фарадея можно считать родоначальником современной электротехники. Вполне завершённый вид теория электромагнетизма получила в работах английского физика Д. К. Максвелла, который в 1873 году вывел уравнения, связывающие воедино электрические и магнитные характеристики поля.

Электрические явления являются неотъемлемой частью материи, живой и неживой природы. Они лежат в основе многих процессов, протекающих в живых организмах, в том числе человека. Начиная с XIX века, электричество активно внедряется в различные сферы деятельности человека, и сейчас невозможно представить существование современного общества без широкого использования электричества. Электрическую энергию используют для трансформации в другие виды энергии (механическую и тепловую) и в различных технологических процессах, в том числе для получения материалов (электролиз), их обработки (сварка, резка, плавление). Электричество применяют для хранения, обработки и передачи информации (компьютеры, телеграф, телефон, радио, телевидение). Широкому использованию электричества способствует также удобство передачи электрической энергии на значительные расстояния. *Электрическая энергия, по существу, является формой проявления и количественной мерой движения электрических зарядов.* Это движение носителей электрических зарядов называют *электрическим током*. В металлах свободными носителями заряда являются электроны, в электролите и плазме – ионы. *Единицей измерения тока является*

ампер (А). Эта единица соответствует величине тока, при котором за секунду переносится электрический заряд равный одному кулону.

Различают электрический ток проводимости и электрический ток смещения. Если заряженные частицы движутся внутри макроскопических тел относительно той или иной среды, то такой ток называют электрическим током проводимости. В случае, когда электрический заряд, находясь относительно проводника в покое, движется вместе с этим проводником относительно других тел, то такой ток носит название тока смещения (конвекционного тока).

При токе проводимости электрически заряженные частицы движутся под действием электрического поля. **Электрическое поле** представляет собой вид материи, посредством которой осуществляется взаимодействие электрических зарядов на расстоянии. Электрическое поле всегда существует вокруг электрического заряда и имеет две характеристики: силовую (напряженность электрического поля в данной точке) и энергетическую (потенциал электрического поля в данной точке).

Напряженность E электрического поля в какой-либо точке измеряется силой F , с которой поле действует на единичный положительный точечный заряд q , помещенный в эту точку: $E = F/q$. Напряженность электрического поля – векторная величина. Направление вектора напряженности совпадает с направлением вектора силы F , действующей в данной точке на положительный заряд.

Потенциалом электрического поля в данной точке называется величина, численно равная значению потенциальной энергии единичного положительного точечного заряда, помещенного в этой точке.

Потенциал наэлектризованного проводника становится тем больше, чем больше электричества сообщается ему.

Разность потенциалов между двумя точками электрического поля получила название **напряжения** (U). Напряжение численно равно работе A , которую производят электрические силы при перемещении единичного положительного заряда q между двумя точками: $U = A / q$. В системе **СИ за единицу разности потенциалов (единицу напряжения) принимается один вольт** (1 В) – разность потенциалов между двумя точками электрического поля, при которой силы поля, перемещая один кулон электричества из одной точки в другую, совершают работу в один джоуль.

Для поддержания разности потенциалов или напряжения в электрической цепи требуется наличие электродвижущей силы неэлектрической природы, то есть какого-то внешнего источника энергии. Такими источниками энергии являются так называемые источники электрического тока, в качестве которых могут использоваться гальванические элементы, аккумуляторы или электрогенераторы. Электродвижущая сила, как и электрическое напряжение, измеряется в вольтах.

По способности проводить электрический ток материалы можно разделить на **проводники, диэлектрики и полупроводники**. В качестве параметра, характеризующего противодействие проводящей среды электрическому току, выступает **электрическое сопротивление** R . Единицей измерения электрического сопротивления является Ом. Величина, обратная сопротивлению, называется **электрической**

проводимостью G . Единица измерения электрической проводимости – сименс (См).

Хорошими проводниками являются металлы, среди которых наименьше удельное сопротивление имеют серебро, медь и алюминий. С учетом того, что алюминий среди них наиболее дешевый, он чаще других металлов используется для изготовления электрических проводов.

Диэлектрики имеют очень малую удельную электрическую проводимость. Они бывают газообразные, жидкие и твердые. Особенно большим разнообразием отличаются твердые диэлектрики. К ним относятся резина, сухое дерево, керамические материалы, пластмассы, картон, пряжа и др. материалы. Твердые диэлектрики обычно используются как электроизоляционные материалы в электрических цепях и электрооборудовании.

Полупроводники по электропроводимости занимают промежуточное положение между проводниками и диэлектриками. Простые полупроводниковые вещества – германий, кремний, селен, сложные полупроводниковые материалы - арсенид галлия, фосфид галлия и др. В чистых полупроводниках концентрация носителей заряда – свободных электронов и дырок мала и эти материалы не проводят электрический ток. При введении в полупроводниковый материал примеси полупроводник становится обладателем или электронной (n) проводимости (избыток электронов), или дырочной (p) проводимости (избыток положительных зарядов – дырок). Полупроводники находят широкое применение при изготовлении различной электротехнической, радиотехнической и электронной аппаратуры.

По характеру изменения во времени и направлению движения электрических зарядов различают **постоянный и переменный электрический ток**. Постоянный ток – ток, направление и величина которого не меняются во времени. Переменный ток – это ток, величина и направление которого меняются во времени. В широком смысле под переменным током понимают любой ток, не являющийся постоянным. Среди переменных токов основным является ток, величина которого изменяется по синусоидальному закону.

Основными характеристиками переменного тока являются:

- **Период** – время одного цикла изменения тока по направлению и числовому значению (T , с).
- **Частота** – это число циклов изменения тока в единицу времени. $f=1/T$ (величина обратная периоду с^{-1} , Гц)
- **Круговая частота** (ω , $2\pi/T$ радиан/с)
- **Фаза** (φ) – это величина, определяющая во времени взаимоотношение тока и напряжения в электрической цепи.
- **Мгновенное значение тока и напряжения** - значение этих величин в данный момент времени (I , U).
- **Амплитудное значение тока и напряжения** – это максимальное за полупериод значение этих величин (I_m , U_m).
- **Среднеквадратическое (действующее, эффективное) значение тока и напряжения** - вычисляется как положительный квадратный корень из среднего значения квадрата напряжения или тока по формулам:

$$I = \sqrt{I_{\text{cp}}^2} ; \quad U = \sqrt{U_{\text{cp}}^2} .$$

На практике среднеквадратическое значение определяется по эффективному (действующему) значению. ($I_{эф}$, $U_{эф}$), которое для синусоидального тока вычисляется по формулам:

$$I_{эф} = I = 0,707 I_m ; \quad U_{эф} = U = 0,707 U_m .$$

Среднее значение (U_{cp}) за период (постоянная составляющая)

– это среднее арифметическое мгновенных значений ток или напряжения за период.

В настоящее время для электроснабжения предприятий используется трехфазная система переменного тока. При помощи этой системы обеспечиваются оптимальные условия для передачи по проводам электроэнергии на большие расстояния, возможность для создания простых по устройству и удобных в эксплуатации электродвигателей. Трехфазная система переменного тока состоит из трех цепей с действующими электродвижущими силами (ЭДС) одинаковой частоты. Эти ЭДС сдвинуты относительно друг друга по фазе на одну треть. Каждая отдельная цепь в системе называется фазой. Вся система трех переменных токов, сдвинутых по фазе, и называется трехфазным током.

Источниками трехфазного тока являются трехфазные генераторы переменного тока, которые установлены практически на всех электростанциях. В их конструкции соединены в одном агрегате три генератора переменного тока. Электродвижущие силы, индуцированные в них, как сказано ранее, сдвинуты на одну треть периода относительно друг друга. Частота переменного тока в энергосистеме нашей страны составляет 50 герц (Гц).

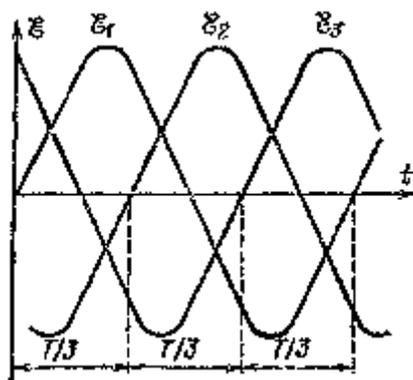


Рис. 2.1. Графики зависимости от времени ЭДС, индуцированных в обмотках якоря генератора трехфазного тока

Количество энергии в электроэнергетике обычно измеряют в киловатт-часах (кВт·ч). При этом $1 \text{ кВт}\cdot\text{ч} = 3600 \text{ кДж}$.

3. Источники питания

Основными и наиболее надежными источниками питания (ИП) предприятий электроэнергией являются электростанции и сети районных энергосистем. В последнее время проявляется тенденция питания потребителей с шин районных подстанций на напряжениях 110-220 кВ и на многих строящихся электростанциях вообще не предусматриваются распределительные устройства 6, 10 и 35 кВ, предназначенные для потребителей электроэнергии, вся мощность передается на напряжениях 110 и 220 кВ к ближайшим районным подстанциям. Собственные электростанции сооружаются на предприятиях с большим теплотреблением, когда они служат для комбинированного снабжения предприятия электроэнергией и теплом. Собственный ИП может применяться при размещении предприятий в удаленных районах, не имеющих связи с энергосистемой или же при

недостатке мощности в энергосистеме данного района, а также при наличии специальных требований к бесперебойности питания.

Электроэнергия, поступающая в единую энергосистему (ЕЭС), вырабатывается на электростанциях. Ежегодно все станции России вырабатывают около 1 трлн кВт·ч электроэнергии. Структура выработки электроэнергии в ЕЭС России (по данным за 2015 год) выглядит следующим образом: тепловые электростанции (ТЭС) – 65,4 %, атомные электростанции (АЭС) – 19,0 %, гидроэлектростанции (ГЭС) – 14,8 %, прочие (ветровые, солнечные, геотермальные, приливные) – 0,8 %. Таким образом, основу современной электроэнергетики составляют тепловые электростанции, которые работают на органическом топливе (газ, уголь, нефтепродукты). Тепловые электростанции характеризуются большим разнообразием и их можно классифицировать по различным признакам. Классификация ТЭС представлена ниже на рис. 3.1.

По назначению и виду отпускаемой энергии электростанции разделяются на *районные* и *промышленные*. Районные электростанции – это самостоятельные электростанции общего пользования, которые обслуживают все виды потребителей района (промышленные предприятия, транспорт, население и т.д.). Районные конденсационные электростанции, вырабатывающие в основном электроэнергию, часто сохраняют за собой историческое название – ГРЭС (государственные районные электростанции). Районные электростанции, вырабатывающие электрическую и тепловую энергию (в виде пара или горячей воды), называются *теплоэлектроцентралями* (ТЭЦ). Как правило, ГРЭС и районные ТЭЦ имеют мощность более 1 млн кВт. Промыш-

ленные электростанции – это электростанции, обслуживающие тепловой и электрической энергией конкретные производственные предприятия или их комплекс. Промышленные электростанции входят в состав тех промышленных предприятий, которые они обслуживают. Их мощность определяется потребностями промышленных предприятий в тепловой и электрической энергии и, как правило, она существенно меньше, чем районных ТЭС. Часто промышленные электростанции работают на общую электрическую сеть, но не подчиняются диспетчеру энергосистемы.

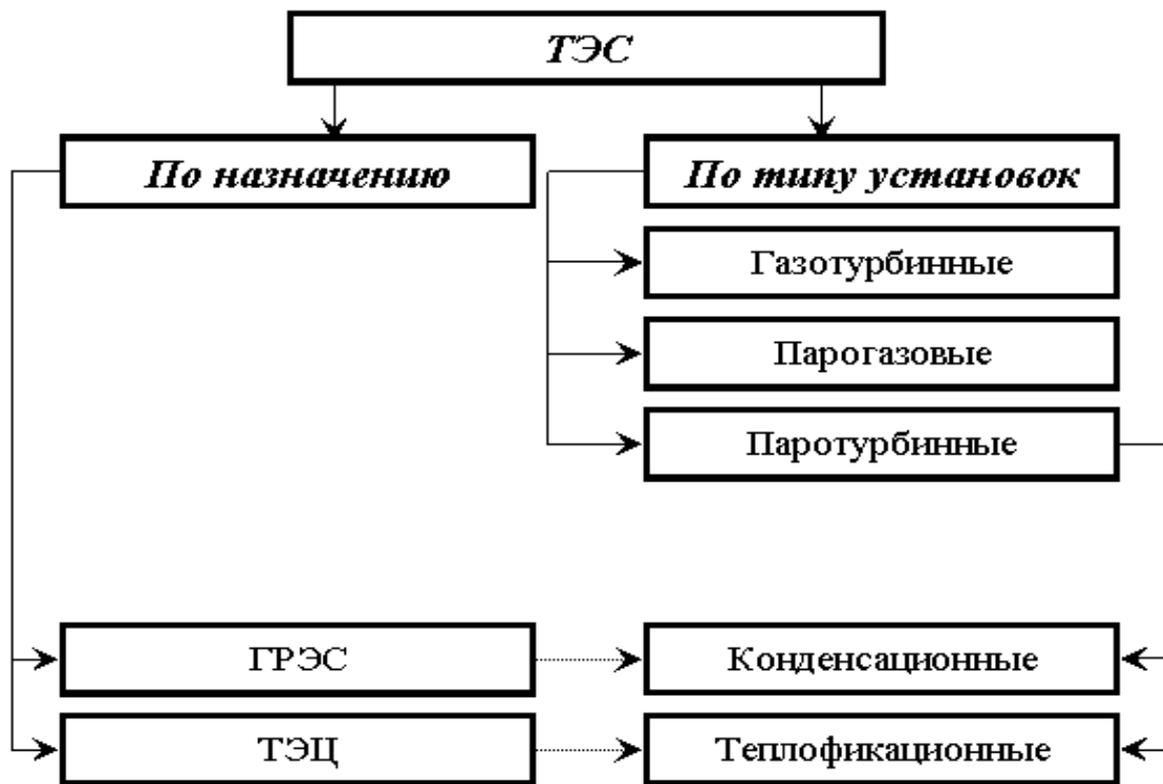


Рис. 3.1. Типы тепловых электростанций на органическом топливе

По типу теплосиловых установок, используемых на ТЭС для преобразования тепловой энергии в механическую энергию вращения роторов турбоагрегатов, различают паротурбинные, газотурбинные и парогазовые электростанции.

Для преобразования тепловой энергии в механическую на паротурбинных электростанциях используют сложную, мощную и высокотехнологичную энергетическую машину – паровую турбину. Паротурбинные установки (ПТУ) являются основным элементом ТЭС, ТЭЦ и АЭС. ПТУ, имеющие в качестве привода электрогенераторов конденсационные турбины и не использующие тепло отработавшего пара для снабжения тепловой энергией внешних потребителей, называются *конденсационными электростанциями*. ПТУ оснащённые теплофикационными турбинами и отдающие тепло отработавшего пара промышленным или коммунально-бытовым потребителям, называют *теплоэлектроцентралями* (ТЭЦ).

Газотурбинные тепловые электростанции (ГТЭС) оснащаются газотурбинными установками (ГТУ), работающими на газообразном или, в крайнем случае, жидком (дизельном) топливе. Поскольку температура газов за ГТУ достаточно высока, то их можно использовать для отпуска тепловой энергии внешнему потребителю. Такие электростанции называют *ГТУ-ТЭЦ* и позволяют наиболее эффективно использовать теплоту сжигаемого топлива для целей энергоснабжения потребителей. Гораздо больший КПД (до 60%) можно получить, совмещая паровой и газовый циклы. Такие установки называются *парогазовыми*. В них вместо обычного котла установлен котел-утилизатор, не имеющий собственных горелок. Теплоту он получает от выхлопа газовой турбины. В настоящее время ПГУ активнейшим образом внедряются в нашу жизнь, но пока в России их немного.

Практически на всех электростанциях электроэнергия вырабатывается трехфазными генераторами. Схема устройства такого генератора представлена на рис. 3.2.

Представленный на рисунке синхронный трёхфазный генератор состоит из электромагнита, вращающегося вместе с валом турбогенератора (это обмотка возбуждения) и 3-х обмоток статора, смещенных относительно друг друга на 120 градусов. *Каждая обмотка – это фаза*. Концы этих обмоток соединяются специальным образом (обычно в треугольник), как показано на рис. 3.3., а начала выводятся.

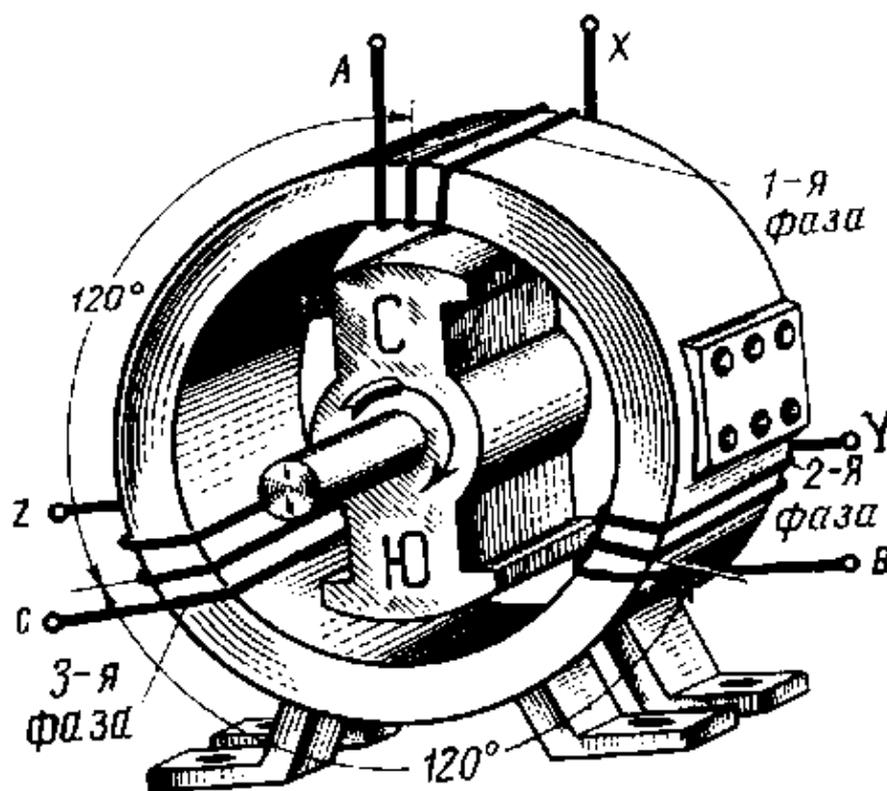


Рис. 3.2. Схема устройства генератора трехфазного тока

Приведенный на рисунке синхронный трёхфазный генератор состоит из электромагнита, вращающегося вместе с валом турбогенерато-

ра (это обмотка возбуждения) и 3-х обмоток статора, смещенных относительно друг друга на 120 градусов. *Каждая обмотка – это фаза.*

Концы этих обмоток соединяются специальным образом (обычно в треугольник), как показано на рис. 3.3., а начала выводятся.

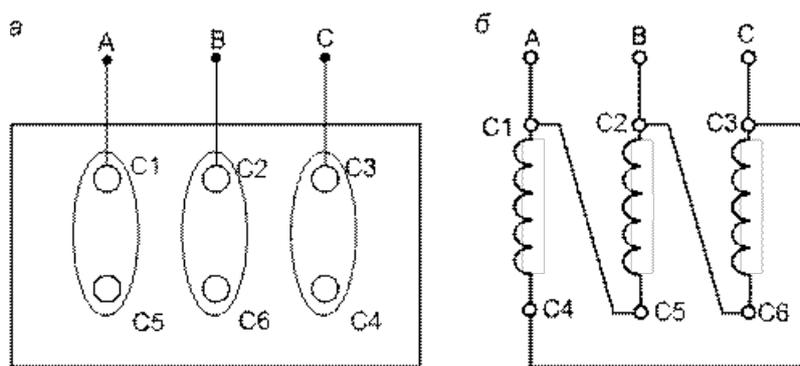


Рис. 3.3. Схема соединения обмоток генератора в треугольник

Изображенный на рис. 3.2. генератор имеет одну пару полюсов, а это значит, что для выработки тока с частотой 50 Гц, он должен вращаться с частотой 3000 об/мин. (такие турбогенераторы называют быстроходными). При двух парах полюсов необходимо вращение с частотой 1500 об/мин., и так далее. Чем больше пар полюсов, тем больше становится турбогенератор. Оптимальную частоту выбирают исходя из параметров теплоносителя. На КЭС устанавливают, в основном, быстроходные турбогенераторы.

На гидроэлектростанциях используются тихоходные гидроагрегаты с многополюсными обмотками возбуждения и вертикальной осью вращения.

По токопроводам выработанная энергия (с номинальным напряжением до 24 кВ) поступает на повышающий трехфазный трансформатор (или на группу 3-х однофазных трансформаторов).

Трансформаторы повышают напряжение до стандартного значения (35-110-220-330-500-750 кВ). При этом следует отметить, что под классом напряжения понимают линейное (междуфазное) напряжение.

Повышение напряжения производят для уменьшения потерь энергии на линиях электропередачи, что особенно важно при передаче электроэнергии на дальние расстояния.

4. Электрические сети

Электрическая сеть – совокупность электроустановок, служащих для передачи и распределения энергии, состоящая из подстанций, распределительных устройств, воздушных и кабельных линий, работающих на определенной территории. На практике чаще используется более узкое определение электрических сетей, когда *электрической сетью* называют гальванически связанные между собой линии электропередач одного напряжения. То есть в электрическую сеть входят линии электропередач (ЛЭП) и распределительные устройства (РУ) подстанций.

Электрические сети являются одной из основных частей энергетической системы и имеют сложную структуру. Свое начало они берут от источников производства электрической энергии (ТЭС, АЭС, ГЭС, и др.). Таким образом, электрические сети выполняют главную роль в доставке и распределении электроэнергии. Она состоит из множества элементов, каждый из которых выполняет свои функции.

Передача электроэнергии осуществляется по проводам или по кабелям. На небольших территориях (заводы, фабрики) для передачи высокого напряжения чаще используют кабельные линии, которые

прокладываются под землей. Их продолжительность обычно небольшая. Кабели покрыты толстым слоем изоляционного материала.

Провода используются для передачи электроэнергии на большие расстояния. Они проводятся над поверхностью земли и закрепляются с помощью изоляторов на опорах. Функция изоляторов – предотвратить замыкание провода, находящегося под напряжением, с землей и между фазами.

Классификация электрических сетей производится по ряду признаков, основные из которых:

- по напряжению;
- по назначению;
- по виду потребителя;
- по конфигурации схемы;
- по режиму заземления нейтралей;
- по конструктивному исполнению.

Каждая из сетей характеризуется номинальным напряжением. (ГОСТ 7 71-62) – $U_{\text{ном}} = 220, 380, 660 \text{ В}; 3, 6, 10, 35, 110, 150, 220, 330, 500, 750 \text{ кВ}$. Номинальное напряжение сети соответствует номинальному напряжению электроприемников, подключенных к этой сети. Сети напряжением ниже 1000 В называют сетями **низкого напряжения НН**. Сети напряжением выше 1000 В называют сетями **высокого напряжения ВН**.

По назначению сети бывают **межсистемные, системообразующие районных энергосистем, питающие и распределительные**.

Межсистемные – это сети напряжением 330 кВ и выше, объединяющие две районные энергосистемы или крупные узловые подстанции энергосистем.

Системообразующие районных энергосистем – это сети напряжением 110, 220 кВ, которые объединяют отдельные подстанции в единую районную энергосистему.

Питающие линии – это линии напряжением 35, 110, 220 кВ, по которым электрическая энергия от подстанций энергосистемы поступает на приемную подстанцию предприятия. Иногда, при питании от ТЭЦ, питающие линии имеют напряжение 6 кВ

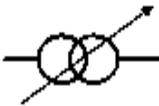
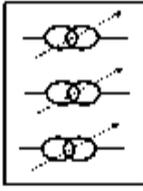
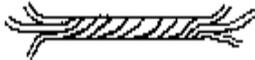
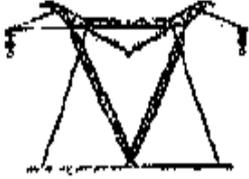
Распределительные сети – это сети напряжением 35; 10; 6; 0,4 кВ, иногда 110 кВ, по которым электрическая энергия распределяется между отдельными потребителями внутри предприятия.

По конструктивному исполнению выделяют **воздушные сети** (сети на основе ВЛ), **кабельные линии** (сети на основе КЛ), **токопроводы** (сети на основе токопроводов), **внутренняя проводка**.

Основные элементы электрических сетей и их обозначение на схемах приведены в табл. 4.1.

Воздушная линия – это устройство для передачи электроэнергии по проводам, расположенных на открытом воздухе и прикрепленных при помощи изоляторов и арматуры к опорам на некотором расстоянии от поверхности земли. Требования и нормы устройства воздушных линий электропередачи устанавливаются **правилами устройства электроустановок (ПУЭ)**.

Таблица 4.1

№ п/п	Элемент сети	Обозначение
1	Электрическая сеть	ЭС
2	Трансформатор	
3	Трансформаторная подстанция	
4	Кабельная линия, кабель, воздушная линия	
5	Провод	
6	Опора	
7	Изолятор	

Главные элементы воздушной линии электропередачи (ЛЭП):

- провода, которые служат для передачи электроэнергии;
- грозозащитные тросы для защиты от атмосферных перенапряжений (грозовых разрядов). Они монтируются в верхней части опор;
- опоры, поддерживающие провода и тросы на определенной высоте над поверхностью;
- изоляторы, изолирующие провода от тела опоры;

- арматура, при помощи которой провода закрепляются на изоляторах, а изоляторы на опоре.

По конструктивному исполнению различают одноцепные и двухцепные ЛЭП. Под цепью понимают три провода (трехфазная цепь) одной ЛЭП.

Конструктивная часть воздушной линии электропередачи характеризуется типами опор, длинами пролетов, габаритными размерами, конструкцией фазы и типами гирлянд изоляторов. Опоры воздушных электропередач по своему типу делятся на промежуточные и анкерные. Промежуточные и анкерные опоры различаются способом подвески проводов. На промежуточной опоре провод подвешивается с помощью поддерживающих гирлянд изоляторов. На анкерных опорах провода закреплены жестко и натянуты до заданного натяжения при помощи натяжной гирлянды изоляторов (см. рис. 4.1).

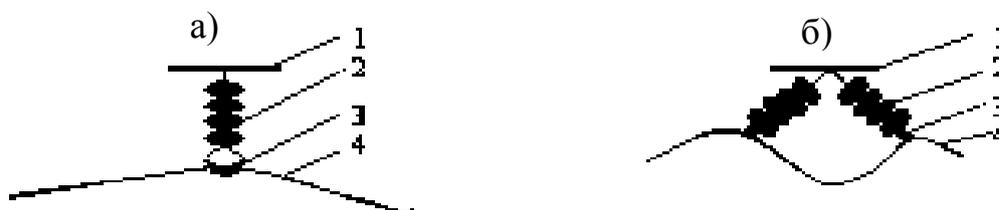


Рис. 4.1. Крепление провода в фазе на промежуточной (а) и анкерной (б) опорах:

1 – траверса; 2 – гирлянда изоляторов; 3 – зажим; 4 - провод

Провода воздушных линий по материалу могут быть алюминиевые (А), медные (М) и стальные (С). По конструкции – изолированные и неизолированные, однопроволочные и многопроволочные. Многопроволочные могут быть из разных материалов, самые распространенные провода воздушных линий – *сталеалюминевые марки АС*. Марки ста-

леалюминевых проводов обозначаются по площади поперечного сечения – АС- 10 (16, 25, 35, 50, 70, 95, 120, 150, 180, 240) мм².

Провод марки АС содержит n отдельных алюминиевых проволок и $n/(4-8)$ стальных проволок. Стальные проволоки добавлены для увеличения механической прочности и называются сердечником провода. Такие провода широко применяются в сетях напряжением 6 кВ и выше. Для защиты от коррозионного воздействия окружающей среды сталеалюминевые провода покрывают защитным покрытием, полиэтиленовой пленкой или другой синтетической пленкой.

Алюминиевые провода (А) имеют пониженную механическую прочность, их не рекомендуется применять в районах, где повышена опасность гололедных явлений и сильных ветров.

Медные провода (М). Для их применения требуется специальное экономическое обоснование. Применяют в районах с повышенной коррозионной активностью среды (где есть нефтеперерабатывающие заводы, также вблизи соленых озер и морей).

Стальные провода (С) применяются также только при специальном экономическом обосновании. Достоинством этих проводов является повышенная механическая прочность, а недостатком – большое удельное сопротивление.

В воздушных линиях промышленных предприятий применяют железобетонные и стальные опоры. Из-за большей коррозионной стойкости, меньших эксплуатационных расходов и меньшего расхода металла преимущественное применение нашли железобетонные опоры. В лесистых районах может оказаться рациональным применение деревянных опор. Из двух основных разновидностей опор – односто-

ечных и порталных – на территории промышленных предприятий для уменьшения ширины коридора для линий применяют в основном одностоечные.

Воздушные линии 110 кВ и выше на железобетонных и металлических опорах снабжают молниезащитными тросами, располагаемыми над проводами. Линии 20 и 35 кВ снабжают молниезащитными тросами на подходах к подстанциям.

Для изоляции проводов от опор применяют изоляторы, которые делятся на *опорные* и *подвесные*.

В свою очередь опорные изоляторы, работающие на сжатие, растяжение или изгиб и подразделяются на *штыревые* (насаживаемые на опорные штыри или крючки) и *стержневые* (прикрепляемые у основания болтами или винтами).

Подвесные изоляторы, принимающие только растягивающие усилия, подразделяются на *гирляндные* (составленные из соединенных последовательно стандартных изоляторов) и *стержневые* (цельные).

Кроме того на воздушных линиях используется *комбинация опорного и подвесного изоляторов*, которые обычно в таком случае являются стержневыми, а также *изоляционные траверсы*.

В России на линиях до 10 кВ применяют, как правило, опорные штыревые, на линиях 20 и 35 кВ – опорные или подвесные, на линиях 110 кВ и более – подвесные изоляторы. Наиболее широко в настоящее время применяют фарфоровые и стеклянные изоляторы. За последние годы все больший интерес вызывают изоляторы из полимерных материалов. Изоляторы выбирают по номинальному напряжению, расчетной механической нагрузке в степени загрязнения окру-

жающей атмосферы. В случае применения полимерных изоляторов иногда учитывают и минимально возможную температуру воздуха в данной местности.

В целях уменьшения расстояния между проводами в пролетах воздушных линий между проводами применяют изоляционные распорки из облегченных стержневых изоляторов, фиксирующие провода относительно друг друга.

Кабельной линией называют устройство для передачи электроэнергии, состоящее из одного или нескольких параллельных кабелей с соединительными, стопорными и концевыми муфтами (заделками) и крепежными деталями [ПУЭ, п. 2.3.2].

Кабельные линии применяются в тех случаях, когда затруднено строительство воздушных линий. В общем случае, приоритет отдается воздушным линиям, так как кабельные линии дороже. Например, при напряжении 35 кВ, кабельная линия дороже в 6 раз, чем воздушная линия. Кабельные линии применяют в черте города и на территории предприятий, так как там густая застройка.

Основными достоинствами кабельных линий состоят в том, что они защищены от воздействия окружающей среды, имеют мощную изоляцию и являются более безопасными для человека. При этом кабельную линию можно проложить в любой среде (в воздухе, воде, земле).

По назначению кабельные линии бывают **силовые** и **контрольные**.

Силовые кабельные линии предназначены для питания электрических нагрузок. Они выпускаются одно-, двух-, трех- и четырехжильные. Двухжильные и четырехжильные для низких напряжений,

до 1000 В. Одножильные и трехжильные для средних напряжений, 6 кВ. Одножильные (то есть одна жила в одном кабеле) для высоких напряжений, 35 кВ и выше.

Силовые кабели промышленных электрических сетей состоят из следующих основных элементов:

1 – токопроводящая жила. По материалу существуют алюминиевые жилы (А) и медные жилы. Каждая жила может состоять из нескольких проволок, для придания гибкости. Эти проволоки обжимаются до определенной формы.

2 – фазная изоляция вокруг каждой жилы. Чаще всего эта изоляция из кабельной бумаги, пропитанной маслом. Маркировки для такой изоляции не указываются, бумага многослойная. Бывает полиэтиленовая изоляция (в маркировке буква П). В маркировке также указывается индекс, который означает способ получения полиэтилена, например П_В – полиэтилен вулканизированный). Буква В означает - поливинилхлоридная изоляция. Также есть резиновая изоляция (Р), она используется в кабелях низкого напряжения, и бумажная изоляция, пропитанная нестекающими растворами (Ц).

3– поясная изоляция, которая охватывает все три жилы, выполняется из тех же материалов, что и фазная.

4 – слой защиты, предназначенный для защиты кабельной линии, проложенной в земле, от проникновения влаги: воды, агрессивной жидкости, кислот и т. д. Выполняется в виде герметической оболочки из алюминия (А) или свинца (С). Так как свинец относительно дорогой, то свинцовые герметические оболочки применяют там, где требуется обеспечить пожарную и взрывобезопасность.

5 – слой защиты от механических повреждений. Применяется у кабельных линий, находящихся в земле, либо на воздухе. Этот слой называется «*броня*» (Б), выполняется из стальной ленты. Если Б_п, то это броня, выполненная из плоской проволоки. Если Б_к, то это броня, выполненная из круглой проволоки.

б – слой защиты брони от коррозионного воздействия внешней среды. Если в обозначении нет буквы, обозначающей защиту, то кабель защищен *джутовой тканью*, пропитанной битумной мастикой. Это самый распространенный вид защиты от коррозии, он называется *джутовый покров*. Если в обозначении последняя буква Г, то броня голая, т. е. нет коррозионной защиты, ее используют, где нет агрессивной окружающей среды (например, вода).

Если кабель одет в шланг, то в конце маркировки указывается буква Ш. Индекс при букве Ш означает материал шланга. Например, Ш_р – резиновый шланг, Ш_п – полиэтиленовый шланг, Ш_в – поливинилхлоридный шланг.

При напряжении 110 – 500 кВ используются маслonaполненные кабели. Жилы выполняют полыми и заполняют их маловязким очищенным маслом под давлением до 1,6 МПа. Избыточное давление исключает возможность образования пустот в изоляции кабеля, что увеличивает его электрическую прочность. В зависимости от величины давления различают маслonaполненные кабели высокого и низкого давления. Маслопроводящий канал через специальные муфты на трассе соединяется с баками давления.

Пример устройства силового кабеля приведен на рис. 4.2.

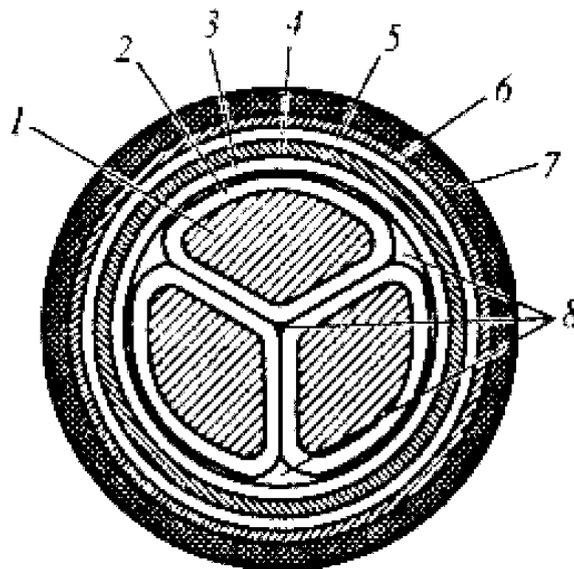


Рис. 4.2. Трехжильный кабель с бумажно-масляной изоляцией на напряжение 10 кВ:

1 – токопроводящие жилы секторной формы; 2 – фазная изоляция толщиной 2,75 мм; 3 – поясная изоляция толщиной 1.25 мм; 4 – свинцовая оболочка; 5 – подушка под броней; 6 – стальная броня; 7 – наружный защитный покров; 8 – джутовые заполнители межфазного пространства

Маркируются кабели по начальным буквам элементов, которые характеризуют их конструкцию:

- жила – буква **А** для алюминия, без обозначения для меди;
- оболочка – буква **А** для алюминия, **С** – для свинца, **В** – для поливинилхлорида, **Н** – для резины, **П** – для полиэтилена;
- броня – буква **Б** для стальных лент, **П** – для плоских освинцованных проволок, **К** – для круглых освинцованных проволок, **Г** – для кабелей без брони и защитного слоя.

Если кабели выполняются с отдельно освинцованными жилами, то в маркировке указывается буква **О**.

Для маслонаполненных кабелей низкого давления перед основной аббревиатурой указывают буквы **МН**, а для кабелей высокого давления – **МВД**. После аббревиатуры указывают количество жил и сечение жил в мм².

Например, АСБ-0,4-3*150+1*50 означает, что кабель алюминиевый со свинцовой оболочкой и броней из стальной ленты, напряжением на 0,4 кВ, имеет три фазы сечением по 150 мм² и одну фазу сечением 50 мм².

Подушка у кабелей с бумажной изоляцией, состоящая из ряда чередующихся слоев битум - крепированная бумага, предназначена для защиты металлической оболочки кабеля от почвенной коррозии и механических повреждений при наложении на кабель брони. Подушка может включать также вязкий подклеивающий состав, полиэтилентерефталатную ленту, выпрессованный полиэтиленовый или поливинилхлоридный шланг.

Кабели применяют в сетях промышленных предприятий всех классов напряжений как внутри зданий и сооружений, так и на территории и во внешнем электроснабжении предприятия. Внутри зданий и сооружений промышленных предприятий применяют следующие виды прокладки кабелей:

- открытая прокладка кабеля по стенам и поверхностям строительных конструкций;
- в открыто или скрыто проложенных металлических трубах;
- в кабельных лотках и коробах;

- в кабельных каналах;
- подвешивание на несущем тросе;
- в кабельных сооружениях, являющихся частями зданий (на кабельных этажах, в двойных полах, в кабельных шахтах и т.п.).

Выбор способа прокладки кабелей зависит от конкретных условий, в которых она осуществляется, от количества кабелей и с учетом требований безопасности и экономичности.

Для передачи больших мощностей на небольшие расстояния предназначены *токопроводы* и *шинопроводы*.

Шинопроводами называют линии передачи электроэнергии, проводниками которых служат жесткие шины. Шинопроводы выполняются, как правило, открытыми и представляют собой неизолированные шины на опорных изоляторах. На территории предприятий они могут выполняться закрытыми (с металлическим или изоляционным кожухом). Шины распределительных устройств подстанций не являются линиями электропередачи и поэтому их называют не шинопроводами, а называют шинами. сборными шинами, секциями шин, системами шин и т.д. Если шины используются для присоединения электрических аппаратов к сборным шинам, то их называют ошиновкой.

Шины, используемые в шинопроводах и в распределительных устройствах, изготавливают из алюминия и его сплавов. Форма поперечного сечения шин в зависимости от площади сечения, требуемой прочности на изгиб и общей компоновки шинопровода может быть плоской, круглой, трубчатой, коробчатой или более сложной. При больших токах (порядка 1 кА и выше) применяют также многополосные шины.

Шинопроводы бывают *магистральными, распределительными и троллейными*. Шинопроводы с большим номинальным током (более 1 кА), ответвления от которых осуществляют в основном при помощи соответствующих вставок, называют *магистральными*. От них могут ответвляться Шинопроводы с меньшим номинальным током (обычно 60...600 А), которые, в свою очередь, имеют большее число ответвлений называют *распределительными*. Если ответвления от них осуществляют по всей длине шинопровода при помощи скользящих контактных узлов, то такие шинопроводы называют *троллейными* шинопроводами.

Шины, используемые в шинопроводах и в распределительных устройствах, изготавливают из алюминия и его сплавов. Форма поперечного сечения шин в зависимости от площади сечения, требуемой прочности на изгиб и общей компоновки шинопровода может быть плоской, круглой, трубчатой, коробчатой или более сложной. При больших токах (порядка 1 кА и выше) применяют также многополосные шины.

В шинопроводах низкого напряжения (НН) чаще всего применяют плоские алюминиевые шины. Контактные поверхности шин при необходимости могут быть покрыты медью, серебром или сложными гальваническими покрытиями. Встречаются также медные и биметаллические шины плоского, квадратного, круглого сечения или шины специальных профилей. Число шин в трехфазных шинопроводах может быть от трех до пяти.

Основными преимуществами шинопровода перед другими типами линий НН являются следующие:

- легкая перестановка, замена и изменение длины ответвлений в ходе эксплуатации, что обеспечивает питание приемников при перестановках или замене технологического оборудования, как правило, без перестановки или замены шинопровода;
- малая стоимость и высокая скорость электромонтажных работ;
- высокая надежность проводников и изоляции при современных конструкциях шинопроводов;
- возможность многократного использования секций и других узлов шинопроводов; демонтаж и вторичный монтаж не снижают показателей надежности шинопровода.

По этим причинам шинопроводы стали основным видом линий электрических цепей низкого напряжения в цехах многих промышленных предприятий. При этом шинопроводы не могут применяться во взрывоопасных зонах, а также в сложных условиях окружающей среды.

Токопроводы предназначены для передачи больших мощностей на небольшие расстояния. Основными достоинствами токопроводов высокого напряжения по сравнению с кабельными линиями можно считать (при больших передаваемых мощностях) меньшую стоимость проводников и изоляции, а также меньшую стоимость строительной части, особенно в случае открытых подвесных токопроводов.

По конструктивному исполнению различают *гибкие* и *жесткие токопроводы*.

Жесткий токопровод выполняется в виде жесткой балки из труб или других профилей, или из шин различных профилей, закрепленных на подвесных изоляторах в нескольких исполнениях; (в этом случае его называют также шинопроводом).

Гибкие токопроводы предназначенные для передачи больших мощностей на относительно короткие расстояния при напряжении до 35 кВ, рассматривают как разновидность воздушных линий, отличающихся большим числом (обычно 4...12) проводов в каждой фазе, сильно укороченными пролетами (обычно 20...40) и малой длиной (обычно от нескольких десятков до нескольких сотен метров). Провода одной фазы гибкого токопровода располагают по периметру круга диаметром 0,2...0,6 м и крепят к кольцевым или многоугольным держателям. Несущими являются обычно два сталеалюминевых провода такого пучка, остальные ненесущие провода могут быть алюминиевыми. Все фазы токопровода подвешивают на подвесных изоляторах обычно в одной горизонтальной плоскости. Основными преимуществами гибких токопроводов перед жесткими являются возможность применения в 5...10 раз более длинных пролетов между опорами; отсутствие сил, действующих на опорные конструкции от теплового удлинения или сокращения токопровода. Недостатком являются большие габариты гибкого токопровода.

Внутренние электропроводки по способу выполнения делятся на три вида: **открытые** (проложенные по поверхности стен, потолков, ферм и т.п.); **скрытые** (проложенные в конструктивных элементах зданий – стенах, полах и перекрытиях) и **наружные** (проложенные по наружным стенам зданий и сооружений, между ними, а также на опорах вне улиц, дорог и т.п.).

Для внутренней проводки используются изолированные провода и шнуры различных марок. Вид проводов или шнуров, а также способ выполнения проводки зависит от назначения проводки и категории

помещения, которая зависит от характеристик окружающей среды: влажности воздуха, температуры, агрессивности среды и т.п.

Шнур питания предназначен для подключения к сети различных бытовых электроприборов. Изготавливается из нескольких гибких многожильных изолированных проводов, которые также могут иметь дополнительную защиту в виде слоев изоляции и оплётки.

Маркировка электрических проводов и шнуров для внутренней проводки содержит буквенное обозначение, после которого цифрами указывается число и площадь сечения токопроводящих жил. При обозначении провода принята следующая структура. В центре ставится буква **П**, обозначающая провод. Перед буквами **П** может стоять буква **А**, обозначающая, что провод изготовлен из алюминиевых токопроводящих жил; если буквы **А** нет, то токопроводящие жилы изготовлены из меди. Вслед за буквой **П** стоит буква, характеризующая материал, из которого выполнена изоляция провода: **Р** – резиновая изоляция; **В** – ПВХ (поливинилхлоридная) изоляция; **П** – изоляция из полиэтилена. Если провод имеет оплетку из хлопчатобумажной пряжи, покрытой лаком, то это обозначается буквой **Л**, а если пряжа пропитана противогнилостным составом, то буква в марке провода опускается. Букву **Л** ставят на последнем месте в обозначении марки провода. Провода для электрических установок марки **ПВ** имеют цифровые индексы 1; 2; 3 и 4. Данные цифры обозначают степень гибкости проводов. Чем выше, тем провод более гибкий.

Провода для воздушных ЛЭП расшифровываются следующим образом:

СИП – самонесущий изолированный провод, изоляция из светостабилизированного сшитого полиэтилена; **СИП-1** – с неизолированной нейтралью; **СИП-2** – с изолированной нейтралью; **СИП-4** – с равными по сечению изолированными жилами; **А** – неизолированный провод, скрученный из алюминиевых проволок; **АС** – неизолированный провод, состоящий из стального сердечника и алюминиевых проволок.

Для обеспечения наглядности, простоты и облегчения распознавания отдельных частей электрической сети согласно п.1.1.30 правил устройства электроустановок все электроустановки должны иметь буквенно-цифровое и цветное обозначение. Причем наличие одного из этих обозначений не снимает необходимость наличия другого.

Маркировка проводов по цветам является наиболее наглядной и позволяет быстро определиться с назначением любого провода. Такая маркировка может быть осуществлена путем выбора проводов с соответствующим цветом изоляции жил, путем нанесения краски на шины или за счет окрашивания или применения специальной цветной изолянты в местах соединения жил.

Согласно п.1.1.30 ПУЭ в трехфазной сети ***фазные проводники должны иметь маркировку желтым, зеленым и красным цветом.*** Так соответственно обозначаются фазы А, В и С. Инструкция для однофазной электрической сети предполагает обозначение фазного провода в соответствии с тем цветом, продолжением которой она является. То есть, если фазный проводник подключается к фазе «В» трехфазной сети, то он должен иметь зеленый цвет.

Нулевая жила всегда обозначается голубым цветом независимо от того какая это сеть – трехфазная, двухфазная и однофазная.

Маркировка проводов с полосой желто-зеленого цвета обозначает защитный проводник. Он подключается к корпусу электроприборов и обеспечивает безопасность от поражения электрическим током при повреждениях изоляции электрооборудования.

Если нулевой и защитный проводник объединены, то согласно п.1.1.29 ПУЭ такая жила провода должна иметь голубой окрас с желто-зелеными полосами на его концах.

Что же касается сетей постоянного тока, то красным цветом должна обозначаться положительная жила провода или шины, а отрицательная синим. При этом обозначение нулевой и защитной жилы соответствует маркировке в сетях переменного тока.

Ко всем видам исполнения электропроводок предъявляются определенные требования, обеспечивающие надежную эксплуатацию и безопасность. 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. Большое значение для обеспечения надежной работы электроустановок имеет устойчивость работы электропроводок в отношении нераспространения огня при повреждениях. Для открытых электропроводок без стальных труб желательно применять провода и кабели только с такими внешними оболочками, кото-

рые не поддерживают горение после удаления источника воспламенения. В этом случае, если в электропроводке возникло повреждение, и она загорелась, после действия защиты и отключения поврежденного участка пожар проводки не будет распространяться, и размеры аварии будут ограничены. К числу не распространяющих горение относятся оболочки и изоляция из полихлорвинила и найрита. Важным общим требованием к конструкции электропроводок является обеспечение возможности смены проводов в условиях эксплуатации.

Важной характеристикой электрической сети является режим заземления нейтралей. **Нейтралью**, называют общую точку соединения обмоток трансформаторов или двигателей при соединении в звезду. В ПУЭ дано определение для двух видов нейтралей: **глухозаземленная нейтраль** – нейтраль, непосредственно присоединенная к глухозаземленному устройству и **изолированная нейтраль** – нейтраль, не присоединенная к заземляющему устройству или присоединенная к нему через большое сопротивление (в приборах сигнализации, защиты и т. д.). Таким образом, нейтраль может быть либо соединена с землей через какие-либо элементы (резистор, конденсатор и т. д.), либо изолирована.

Заземление нейтрали может быть либо **рабочим**, либо **защитным**.

Если заземление нейтрали выполнено с целью электробезопасности персонала, то оно называется **защитным**. Если заземление нейтрали выполнено с целью придания определенных свойств электрической сети, то оно называется рабочим. Защитное заземление применяется в сетях напряжением ниже 1000 В, рабочее – в сетях напряжением выше 1000 В.

Способ заземления нейтралей в электрических сетях имеет важное значение для всех сетей и особенно для сетей 6-35 кВ. Так как, во-первых, они являются распределительными (по ним получают питание потребители, следовательно, от них зависит надежность работы промышленных предприятий), во-вторых, режим заземления нейтрали влияет на:

- стоимость электрической сети;
- надежность работы и аварийность электрооборудования;
- безопасность человека и животных, находящихся вблизи линии;
- принципы выполнения релейной защиты;
- принципы и методы определения мест повреждения.

В мировой практике нет единого мнения об оптимальной области применения того или иного способа заземления нейтралей, так как каждый из используемых способов заземления нейтрали имеет свои недостатки и свою область применения.

Система электроснабжения предприятия в общем случае состоит из подсистем. Подсистемой можно считать участок, включающий в себя цеховой трансформатор, питающий этот трансформатор кабель высокого напряжения, цеховую электросеть и приемники этой сети.

5. Электрические аппараты систем электроснабжения

Важнейшими элементами устройства электрических сетей и систем электроснабжения в целом являются трансформаторы, трансформаторные подстанции, коммутирующие и распределительные устройства.

5.1. Трансформаторы и трансформаторные подстанции

5.1.1. Устройство и принцип действия трансформаторов

Трансформатором называется статический электромагнитный аппарат, преобразующий переменный ток одного напряжения в переменный ток другого напряжения той же частоты.

Трансформаторы позволяют значительно повысить напряжение, вырабатываемое источниками переменного тока, установленными на электрических станциях, и осуществить передачу электроэнергии на дальние расстояния при высоких напряжениях (110, 220, 500, 750 и 1150 кВ). Благодаря этому значительно снижаются потери энергии в проводах и обеспечивается возможность существенного уменьшения площади сечения проводов линий электропередачи.

В местах потребления электроэнергии высокое напряжение, подаваемое от высоковольтных линий электропередачи, снова понижается трансформаторами до сравнительно небольших значений (127, 220, 380 и 660 В), при которых работает электрическое оборудование, установленное у потребителей.

Действие трансформатора основано на явлении электромагнитной индукции, которое заключается в том, что в проводнике, находящемся в переменном магнитном поле, возникает электродвижущая сила (ЭДС).

Простейший трансформатор состоит из магнитопровода (сердечника), выполненного из ферромагнитного материала (обычно листовая электротехническая сталь), и двух обмоток, расположенных на стержнях магнитопровода.

Магнитопровод, на котором расположены эти обмотки, служит для усиления индуктивной связи между обмотками. Обмотки выполнены из изолированного провода и электрически не связаны. К одной из обмоток подается электрическая энергия от источника переменного тока. Эту обмотку называют *первичной*. К другой обмотке, называемой *вторичной*, подключают потребители.

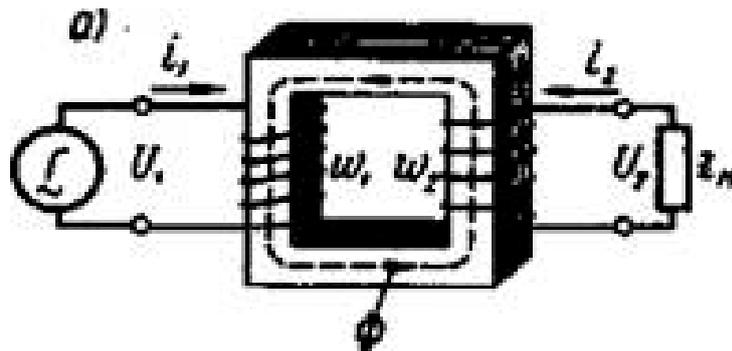


Рис. 5.1. Схема трансформатора

При подключении трансформатора к источнику переменного тока (электрической сети) в витках его первичной обмотки протекает переменный ток i_1 , образуя переменный магнитный поток Φ . Этот поток проходит по магнитопроводу трансформатора и, пронизывая витки первичной и вторичной обмоток, индуцирует в них переменные ЭДС – E_1 и E_2 . ЭДС, индуцированная в каждом витке первичной и вторичной обмоток трансформатора, согласно закону электромагнитной индукции зависит от магнитного потока, пронизывающего виток, и скорости его изменения. Магнитный поток каждого трансформатора является определенной величиной, зависящей от напряжения и частоты изменения переменного тока в источнике, к которому подключен трансформатор. В результате в первичной обмотке возникает ЭДС самоиндукции –

$$E_1 = -w_1(d\Phi/dt),$$

а во вторичной – ЭДС взаимной индукции

$$E_2 = w_2(d\Phi/dt),$$

где w_1 и w_2 – число витков первичной и вторичной обмотки.

При подключении нагрузки Z_n к выводам вторичной обмотки трансформатора под действием ЭДС E_2 в цепи этой обмотки создается ток i_2 , а на выводах вторичной обмотки устанавливается напряжение U_2 . В повышающих трансформаторах $U_2 > U_1$, а в понижающих $U_2 < U_1$. Поскольку наводимые в обмотках трансформатора ЭДС отличаются друг от друга лишь за счет разного числа витков w_1 и w_2 в обмотках, то, применяя обмотки с требуемым соотношением витков, можно изготовить трансформатор практически на любое отношение напряжений. При этом обмотку трансформатора, подключенную к сети с более высоким напряжением, называют обмоткой высшего напряжения (ВН); обмотку, присоединенную к сети меньшего напряжения, – обмоткой низшего напряжения (НН).

Отношение ЭДС $E_{вн}$ обмотки высшего напряжения к ЭДС $E_{нн}$ обмотки низшего напряжения (или отношение чисел их витков) называется *коэффициентом трансформации* –

$$n = E_{вн} / E_{нн} = w_{вн} / w_{нн}.$$

Трансформаторы обладают свойством *обратимости*: один и тот же трансформатор можно использовать в качестве повышающего и

понижающего. Но обычно трансформатор имеет определенное назначение: либо он повышающий, либо понижающий.

Если пренебречь падениями напряжения в первичной и вторичной обмотках трансформатора (в трансформаторах средней и большой мощности они не превышают обычно 2-5 % номинальных значений напряжений U_1 и U_2), то можно считать, что **отношение напряжения U_1 первичной обмотки к напряжению U_2 равно отношению количества витков в обмотках**. Таким образом, подбирая требуемое соотношение между числами витков первичной и вторичной обмоток, можно увеличивать или уменьшать напряжение на приемнике, подключенном к вторичной обмотке. Если необходимо на вторичной обмотке получить напряжение большее, чем подается на первичную, то применяют повышающие трансформаторы, у которых число витков во вторичной обмотке больше, чем в первичной. В понижающих трансформаторах, наоборот, число витков вторичной обмотки меньше, чем в первичной.

Трансформаторы классифицируют по нескольким признакам:

- по назначению – силовые общего и специального назначения, импульсные, для преобразования частоты и т.д.;
- по виду охлаждения – с воздушным (сухие трансформаторы) и масляным (масляные трансформаторы);
- по числу трансформируемых фаз – однофазные и трехфазные;
- по форме магнитопровода — стержневые, броневые, броне-стержневые, тороидальные;
- по числу обмоток на фазу — двухобмоточные, многообмоточные.

Трансформатор является аппаратом переменного тока и не может осуществить преобразование напряжения постоянного тока.

При разомкнутой цепи вторичной обмотки через первичную обмотку трансформатора проходит некоторый ток, называемый током холостого хода. При включении нагрузки по вторичной обмотке трансформатора начинает проходить ток, при этом увеличивается и ток, проходящий по первичной обмотке. Чем больше нагрузка трансформатора, т. е. электрическая мощность и ток i_2 , отдаваемые его вторичной обмоткой, тем больше электрическая мощность и ток i_1 , поступающие из сети в первичную обмотку.

Важную роль в работе трансформатора играет магнитная система. На рис. 5.2. приведены схемы трансформаторов с различной формой конфигурации магнитной системы: стержневые (рис. 5.2, а), броневые (рис. 5.2, б) и тороидальные (рис. 5.2, в).

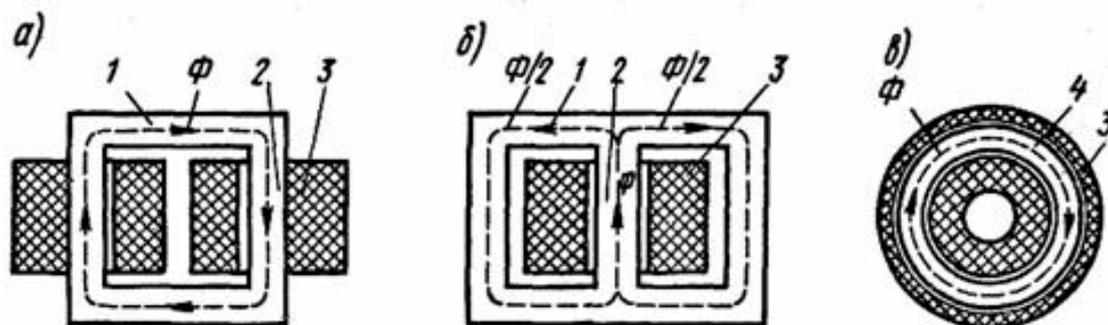


Рис. 5.2. Схемы трансформаторов

с различной конфигурацией магнитной системы:

а) – стержневые; б) – броневые; в) – тороидальные

1 – ярмо; 2 – стержень; 3 – обмотка; 4 – тороидальный маг-
нитопровод

Стержнем называют часть магнитопровода, на которой размещают обмотки. Часть магнитопровода, на которой обмотки отсутствуют, называют ярмом.

Трансформаторы большой и средней мощности обычно выполняют стержневыми. Они имеют лучшие условия охлаждения и меньшую массу, чем броневые. Трансформаторы малой мощности и микротрансформаторы часто выполняют броневыми, так как они имеют более низкую стоимость по сравнению со стержневыми трансформаторами из-за меньшего числа катушек и упрощения сборки и изготовления. Преимущество тороидальных трансформаторов – отсутствие в магнитной системе воздушных зазоров, что значительно уменьшает магнитное сопротивление магнитопровода.

Для уменьшения потерь от вихревых токов, магнитопроводы трансформаторов при частоте 50 Гц (рис. 5.2) собирают из изолированных листов электротехнической стали толщиной 0,28-0,5 мм.

В современных трансформаторах первичную и вторичную обмотки стремятся расположить для лучшей магнитной связи как можно ближе одну к другой. При этом на каждом стержне магнитопровода размещают обе обмотки либо концентрически – одну поверх другой, либо в виде нескольких дисковых катушек, чередующиеся по высоте стержня. В первом случае обмотки называют концентрическими, во втором – чередующимися. В силовых трансформаторах обычно применяют концентрические обмотки, причём ближе к стержням располагают обмотку НН, требующей меньшей изоляции относительно остова трансформатора, а снаружи – обмотку ВН.

5.1.2. Трансформаторные подстанции

Трансформаторная подстанция – электрическая установка, служащая для преобразования и распределения электроэнергии, состоящая из силовых трансформаторов, распределительных устройств, устройств управления и вспомогательных сооружений.

Трансформаторные подстанции классифицируют по различным признакам.

По типу преобразования электроэнергии:

- **повышающие подстанции** (служат для повышения вырабатываемого напряжения, вырабатываемого генераторами для передачи его в сеть с целью снижения потерь энергии при ее транспортировке);
- **понижающие подстанции** (служат для понижения первичного напряжения, получаемого из сети во вторичное более низкого уровня).

По значению подстанции в сетях электроснабжения:

- **главные понизительные подстанции** (ГПП), которые используются в качестве распределительных устройств, преобразующих высокое напряжение в более низкое;
- **подстанции глубокого ввода** (ПГВ), которые используются при наличии особо крупных потребителей энергии для исключения промежуточных элементов электросети;
- **тяговые подстанции** (ТПТ), которые используются для питания контактных сетей железнодорожного и городского электротранспорта.

По месту присоединения к электрической сети:

- **тупиковые подстанции**, которые запитываются от одной электроустановки или по нескольким параллельным линиям;
- **ответственные подстанции**, которые могут присоединяться к линии при помощи глухой отпайки;
- **проходные подстанции**, которые присоединяются в рассечку от воздушных линий электропередачи с запитыванием от резервных источников питания или без резервного питания;
- **узловые подстанции**, предназначенные для питания нескольких линий электропередачи от нескольких электроустановок.

По распределению и передаче энергии:

- **потребительские подстанции**, предназначенные для передачи энергии непосредственно потребителям;
- **системные подстанции**, которые служат для связи районов электросетей или различных энергетических систем.

Потребители электроэнергии обычно используют электроэнергию напряжением 0,4 кВ (380 В). Для выполнения функций по приему энергии из сети напряжением 6 - 10 кВ и ее преобразования в электроэнергию, непосредственно используемую потребителем, существуют **комплектные трансформаторные подстанции** (КТП), в конструкции которых предусмотрен один или два понижающих трансформатора. По своей конструкции силовые трансформаторы КТП могут быть маслонаполненного или сухого исполнения.

По способу конструктивного исполнения комплектные трансформаторные подстанции бывают **столбовые, мачтовые** и **блочные**.

Кроме того КТП могут выполняться с глухозаземленной нейтралью или изолированной.

Примером комплектной подстанции может служить подстанции КТП-100-160/10/0,4-У1, общий вид которой с габаритными и установочными размерами приведен на рис. 5.3.

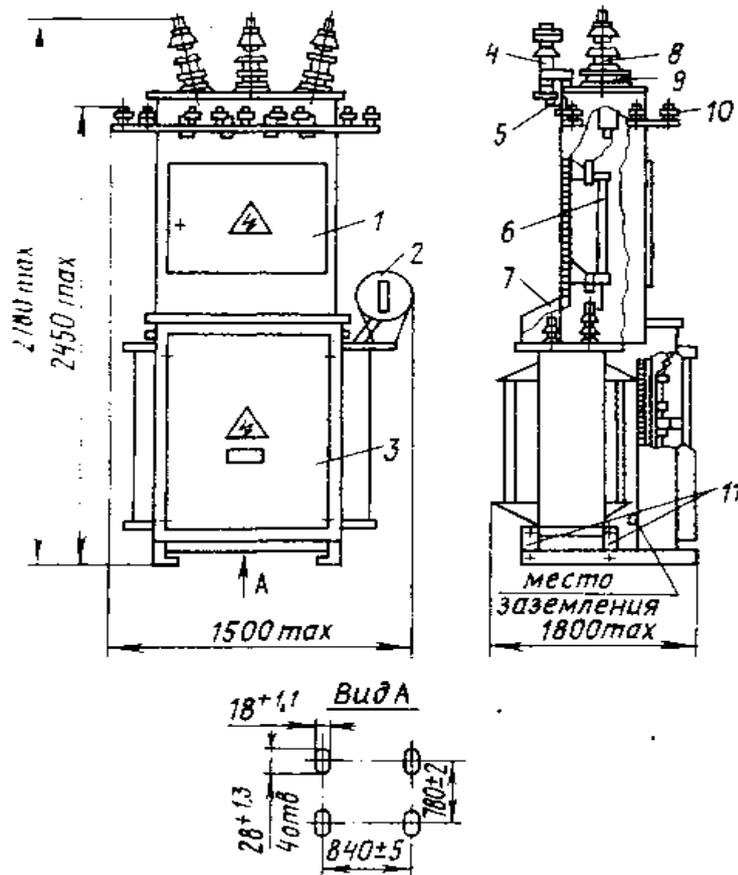


Рис. 5.3. Комплектная трансформаторная подстанция

КТП-100-160/10/0,4-У1:

- 1 – УВН; 2 – трансформатор силовой; 3 – РУН; 4 – высоко-
 вольтные разрядники; 5 – перемычки; 6 – высоковольтные
 предохранители; 7 – кожух; 8 – проходные высоковольтные
 изоляторы; 9 – прокладка; 10 – низковольтные изоляторы;
 11 - кронштейны

КТП состоит из устройства со стороны высшего напряжения (УВН), силового трансформатора, распределительного устройства со стороны низшего напряжения (РУНН), кожуха разъединителя.

На крышке УВН установлены проходные изоляторы для присоединения высоковольтной линии и высоковольтные разрядники. В верхней части УВН расположен кронштейн со штырями с установленными на них изоляторами низковольтных линий. Для защиты выводов трансформатора от случайного прикосновения и попадания посторонних предметов имеется кожух.

Техническая характеристика КТП-100-160/10/0,4-У1:

Номинальная мощность, кВ·А	160
Номинальное напряжение, кВ	
ВН	6,10
НН.....	0,4
Номинальный ток фидера, А	
№ 1	80
№ 2	160
№ 3.....	100
освещения	16
Масса. кг	330

КТП имеет следующие виды защит:

высоковольтные и низковольтные разрядники – для защиты оборудования от атмосферных перенапряжений;

предохранители – для защиты силового трансформатора от многофазных коротких замыканий;

автоматические выключатели – для защиты отходящих линий от многофазных коротких замыканий и перегрузки.

На подстанциях всех напряжений, как правило, применяется не более двух трансформаторов по соображениям технической и экономической целесообразности. В большинстве случаев это обеспечивает надежное питание потребителей и в то же время дает возможность применять простейшие блочные схемы подстанций без сборных шин на первичном напряжении, что резко упрощает их конструктивные решения и уменьшает стоимость.

Однотрансформаторные цеховые подстанции напряжением 6... 10 кВ можно применять при наличии складского резерва для потребителей всех групп по надежности, даже для потребителей первой категории, если величина их не превышает 15...20% общей нагрузки и их быстрое резервирование обеспечено при помощи автоматически включаемых резервных перемычек на вторичном напряжении.

Двухтрансформаторные цеховые подстанции применяются в тех случаях, когда большинство электроприемников относится к первой или второй категориям, которые не допускают перерыва в питании во время доставки и установки резервного трансформатора со склада, на что требуется не менее 3...4 ч.

5.2. Коммутационные аппараты

Коммутационные аппараты – это аппараты, с помощью которых замыкается и размыкается (коммутируется) цепь электрического тока. Они разделяются на аппараты до 1000 В и выше 1000 В.

5.2.1. Коммутационные аппараты выше 1 кВ

К коммутационным аппаратам выше 1 кВ относятся: разъединители, отделители, короткозамыкатели, выключатели, выключатели нагрузки.

Разъединитель – коммутационный аппарат, служащий для создания видимого разрыва (для разборки схемы), также разрешено отключать небольшой величины токи, установленные местной инструкцией по производству переключений. Разъединители до 110 кВ выпускаются с ручным приводом, начиная с 220 кВ - выпускаются с электрическим приводом.

Отделитель (ОД) – это разъединитель с автоматическим отключением. Служит для автоматического отделения поврежденного оборудования от электрической сети после того, как с участка сети снимется напряжение и до того, как напряжение подастся вновь с помощью устройства автоматического повторного включения (АПВ). Это называется «отключается в бестоковую паузу». Отключение отделителя происходит за счет пружин, которые заводятся вручную при операции включения.

Короткозамыкатель – это разъединитель с автоматическим включением. Применяется в схеме защиты трансформаторов, не имеющих выключателей на стороне высшего напряжения. Служит для создания однофазного КЗ на землю в сети 110-220 кВ или двухфазного КЗ в сети 35 кВ при работе защит трансформатора для того, чтобы сработали защиты питающей трансформатор линии и отключили ее. Затем в бестоковую паузу отключается отделитель трансформатора, отделяя его от линии, а затем линия по АПВ включается

опять в работу. Короткозамыкатель работает всегда в паре с отделителем и оба они входят в схему защиты трансформатора. Включение короткозамыкателя происходит за счет пружин, которые заводятся вручную при операции отключения. Условие для отключения отделителя в бестоковую паузу обеспечивается благодаря включению в цепь отключения отделителя контактов реле, которое срабатывает при включении короткозамыкателя.

Выключатели – это автоматические коммутационные аппараты, которые служат для включения и отключения нагрузочных токов (нормальных токов) и токов КЗ. Главный элемент конструкции выключателя – это дугогасительная камера, в которой гасится электрическая дуга, возникающая при расхождении контактов во время разрыва цепи электрического тока. По принципу гашения дуги, вернее в зависимости от вида среды, в которой гасится дуга, выключатели разделяются на воздушные, масляные, элегазовые и вакуумные. В воздушных выключателях (изготавливаются на напряжение от 110 кВ и выше) дуга гасится струей сжатого воздуха давлением от 8 до 20 кГ/см² (попросту выдувается в специальные отверстия). В масляных выключателях (изготавливаются на напряжение от 6 до 220 кВ) дуга гасится водородным пузырем большого давления, возникающим в результате разложения масла от той же дуги. В элегазовых выключателях (изготавливаются на напряжение от 6 до 220 кВ) дуга гасится с помощью элегаза (фтористое соединение серы SF₆), которым заполнен корпус выключателя. В вакуумных выключателях (изготавливаются на напряжение 6 -10 кВ) дуга ничем не гасится, сама гаснет, т.к. в вакууме никакой среды, поддерживающей горение, нет.

Выключатели приводятся в действие с помощью механизмов –, приводов, которые бывают четырех типов: пневматические, электромагнитные (соленоидные), пружинные и грузовые. Пневматический привод применяется на воздушных выключателях. Включение и отключение выключателя производится за счет сжатого воздуха. Электромагнитный (соленоидный) привод применяется на выключателях всех типов (кроме воздушных) на тех подстанциях, где есть аккумуляторные батареи. Электромагнитный привод производит включение выключателя с помощью специального мощного соленоида (соленоид включения), который представляет собой катушку с сердечником (с магнитопроводом), внутри которого находится подвижный шток (круглый металлический стержень). При подаче на соленоид постоянного тока от аккумуляторной батареи, шток втягивается в сердечник катушки и приводит в движение (толкает) механизм включения выключателя. Одновременно с операцией включения соленоид взводит отключающие пружины, которые отключают выключатель при подаче команды (электрического импульса) на отключение от защит или ключа управления. Отключающий импульс подается на соленоид отключения, который действует по принципу соленоида включения, но во сто крат меньше его по размеру, т.к. в его функции входит всего лишь выбить роликовый механизм (защелку), удерживающий отключающие пружины во взведенном состоянии. Пружинные приводы на выключателях применяются там, где отсутствуют аккумуляторные батареи. Включение и отключение выключателя производят за счет пружин. Включающие пружины взводятся автоматически электродвигателем переменного тока или вручную рукояткой. Отключающие

пружины так же, как и в случае соленоидного привода взводятся в момент включения, т.е. включающими пружинами, которые намного мощнее. Грузовые приводы включают выключатель за счет энергии падающего груза. Отключение производится так же, как и в предыдущих случаях за счет пружин. Груз поднимается так же, как и в пружинном приводе либо вручную, либо электродвигателем. Эти приводы применяются в масляных выключателях 35 кВ.

Выключатели нагрузки – это трехполюсный разъединитель с ручным приводом, снабженный дугогасительным устройством. Служит для отключения нагрузочных токов в сетях 6-10 кВ. В дугогасительном устройстве имеются специальные газогенерирующие вкладыши, которые при нагреве от электрической дуги при отключении выделяют газ, с помощью которого дуга и гасится. В настоящее время выключатели нагрузки не применяются.

Предохранители – эти электрические аппараты можно назвать коммутационными аппаратами однократного действия, предназначенные для защиты оборудования от токов превышающих допустимые величины для данного оборудования. Разрыв цепи происходит за счет расплавления специальной плавкой вставки предохранителя в результате нагрева токами выше допустимых. Для гашения возникающей при этом дуги изоляционный корпус предохранителя, в котором находится плавкая вставка, заполнен специальным наполнителем. Предохранители выпускаются на напряжение от 0,4 до 35 кВ. В настоящее время в электроустановках выше 1кВ предохранители используются только для защиты трансформаторов напряжения и трансформаторов собственных нужд 6-10 кВ подстанций.

5.2.2. Коммутационные аппараты до 1 кВ

К коммутационным аппаратам до 1000 В относятся: рубильники, магнитные пускатели, контакторы, автоматы, а так же всевозможные переключатели, тумблеры и т.д.

Рубильник – это выключатель электрической цепи с ручным приводом. Предназначен в основном для создания видимого разрыва при выводе в ремонт оборудования. С помощью рубильника разрешается также замыкать и размыкать цепь тока величиной не более той, что указана на рубильнике.

Контактор – это коммутационный аппарат с электрическим приводом, служащий для частых включений и отключений оборудования. Контактор не защищает оборудование от токов КЗ. Для этой цели последовательно с ним устанавливается либо автомат с ручным приводом, либо плавкие предохранители.

Магнитный пускатель – это контактор со встроенным тепловым реле, представляющим из себя биметаллическую пластину, которая изгибается при нагреве от токов, превышающих номинальный (допустимый) для данного оборудования и отключает пускатель.

Автомат – это автоматический выключатель электрической цепи предназначенный для защиты оборудования от токов КЗ. Для этого автомат снабжен встроенным электромагнитным реле, которое при увеличении тока сверх допустимого выбивает защелку отключающих пружин, которые взводятся при включении, а также дугогасительной решеткой, которая находится над контактами и предназначена для гашения электрической дуги, возникающей при разрыве цепи с

большими токами. Автоматы могут быть с ручным и электрическим приводом. Автоматы с электрическим приводом используются также для дистанционного включения оборудования (контактор или пускатель здесь не требуется).

В схемах питания оборудования напряжением 380 В вышеназванные аппараты могут использоваться в различных комбинациях:

- ***Сборные шины – рубильник – автомат с электрическим приводом.*** При этом рубильник служит для создания видимого разрыва при выводе из сети оборудования, питающегося от этого рубильника (в энергетике говорят «для разборки схемы»), а автомат служит для защиты оборудования от токов КЗ и для дистанционных включений и отключений оборудования.
- ***Сборные шины – рубильник – автомат с ручным приводом - контактор.*** Здесь рубильник служит для создания видимого разрыва (разборки схемы), автомат для защиты от токов КЗ и контактор для дистанционных включений и отключений оборудования.
- ***Сборка питания* – автомат с ручным приводом – магнитный пускатель.*** В этом варианте автомат служит для защиты от токов КЗ и для разборки схемы, магнитный пускатель для дистанционных включений и отключений оборудования и защиты от токов перегрузки.

****Сборка питания (силовая сборка)*** – распределительный силовой щиток, питающийся со сборных шин и состоящий из вводного автомата и автоматов отходящих присоединений. Силовые сборки устанавливаются непосредственно около оборудования, которое от

них питается, что позволяет значительно экономить на электрических кабелях и на панелях РУ-0,4 кВ, если бы это оборудование питалось со сборных шин РУ-0,4 кВ.

6. Параметры режимов электрических систем

Режим работы электрической системы характеризуется значениями показателей ее состояния, называемых параметрами режимов. *Все процессы в электрических системах можно охарактеризовать тремя параметрами: напряжением, током и активной мощностью. Но для удобства расчетов режимов применяются и другие параметры, в частности, реактивная и полная мощность.*

Полной мощностью в цепи переменного тока называется произведение напряжения на величину тока в цепи

$$S = U \cdot I. \quad (6.1)$$

Если в цепи переменного тока нагрузка индуктивная (трансформаторы, электродвигатели), то ток отстает по фазе от напряжения, если нагрузка емкостная (различные электронные устройства), то ток по фазе опережает напряжение. Поскольку ток и напряжение не совпадают по фазе, то в нагрузку (потребителю) передается только часть полной мощности, которая могла бы быть передана в нагрузку, если бы сдвиг фаз был равен нулю.

Часть полной мощности, которая передается в нагрузку (потребителю) за период переменного тока, называется *активной мощно-*

стью (P). Она равна произведению действующих значений тока и напряжения на косинус угла сдвига фаз между ними ($\cos \varphi$)

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi. \quad (6.2)$$

Мощность, которая не передается в нагрузку, а приводит к потерям на нагрев и излучение, называется **реактивной мощностью** (Q). Она равна произведению действующих значений тока и напряжения на синус угла сдвига фаз между ними ($\sin \varphi$)

$$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi. \quad (6.3)$$

Соотношения между составляющими мощности в электрической цепи переменного тока можно представить треугольником мощностей (рис. 6.1.). Как следует из рисунка полная мощность –

$$S = U \cdot I = \sqrt{P^2 + Q^2} . \quad (6.4)$$

Полная мощность измеряется в вольт-амперах (ВА) или киловольт-амперах (кВА).

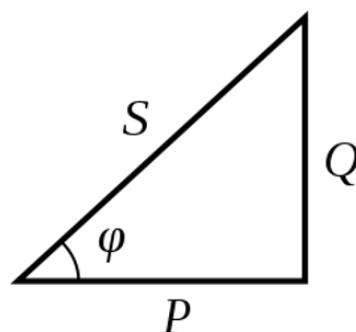


Рис. 6.1. Треугольник мощностей

Таким образом, в цепи переменного тока полезно используется только часть полной мощности – активная мощность P . При этом множитель $\cos \varphi$ называется *коэффициентом мощности*. Угол φ указывает сдвиг по фазе тока и напряжения. Активная мощность измеряется в ваттах (Вт) или киловаттах (кВт).

Реактивная мощность не может быть преобразована в механическую или тепловую энергию, которая используется потребителем, и называется мощностью лишь условно, являясь при этом удобной характеристикой нагрузки в сетях переменного тока. Она идет на создание магнитного и электрического полей. Наличие реактивной мощности создает дополнительную токовую нагрузку в сети и приводит к дополнительным потерям. Реактивная мощность измеряется в реактивных вольт-амперах (ВАр) или киловольт-амперах (кВАр).

Учитывая, что дополнительная нагрузка на электрическую сеть от реактивной мощности может быть весьма значительной, прибегают к *компенсации реактивной мощности*. Компенсация реактивной мощности является одним из эффективных способов энергосбережения и достигается за счет конденсаторных установок, если нагрузка индуктивная, или с помощью индуктивностей (дросселей и реакторов) при емкостной нагрузке. Это помогает увеличить косинус φ ($\cos \varphi$) до приемлемых значений 0.7...0.9. Компенсация реактивной мощности дает ощутимый экономический эффект, благодаря целому ряду факторов:

- уменьшение нагрузки на силовые трансформаторы, увеличение в связи с этим срока их службы;

- уменьшение нагрузки на провода и кабели, возможность использования кабелей меньшего сечения;
- улучшение качества электроэнергии у электроприемников.
- ликвидация возможности штрафов за снижение $\cos \varphi$;
- уменьшение уровня высших гармоник в сети;
- унижение уровня потребления электроэнергии.

В системе трехфазного тока с нулевым проводом потребитель может быть подключен к одному из двух напряжений – линейному $U_{\text{л}}$ или фазному $U_{\text{ф}}$, как это показано на рис. 6.2. При этом линейное напряжение измеряется между проводами отдельных фаз, а фазное – между фазой и нулевым проводом.

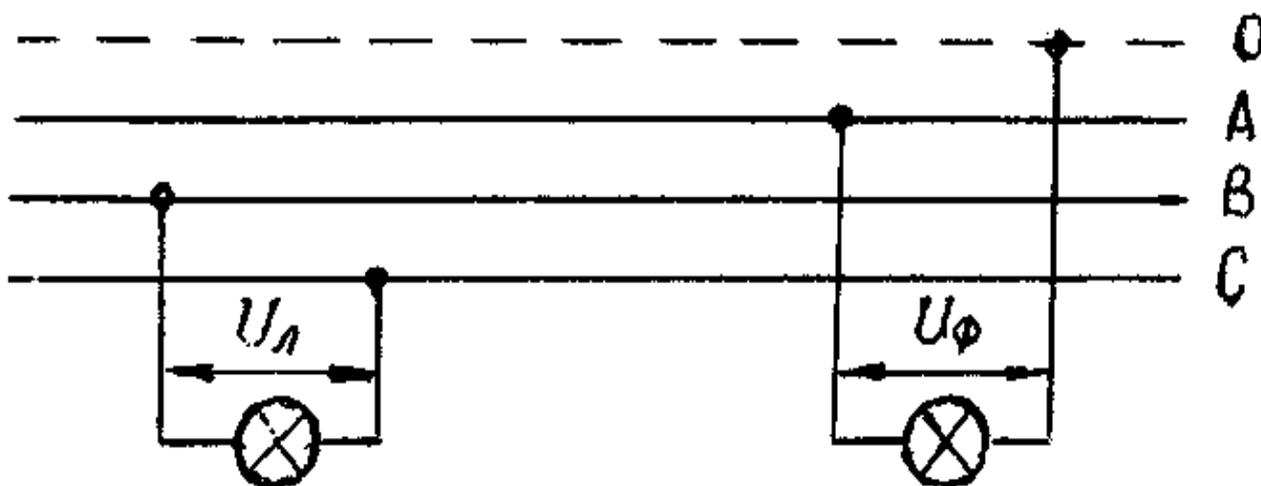


Рис. 6.2. Сеть трехфазного тока с нулевым проводом

Линейное и фазное напряжения находятся в следующем соотношении:

$$U_{\text{л}} = U_{\text{ф}}\sqrt{3} . \quad (6.5)$$

То есть, если линейное напряжение составляет стандартную величину 380 В, то фазное будет равно $U_{\phi} = U_{\text{л}}/\sqrt{3} = 220 \text{ В}$.

При трехфазном потребителе, каковым являются, например, асинхронные двигатели обмотки статора могут соединяться в звезду (рис. 6.3. а) или в треугольник (рис. 6.3. б).

При соединении в звезду начало каждой обмотки А, В, С подключается к соответствующей фазе, а концы обмоток X, Y, Z соединяются между собой и подключаются к нулевому проводу. В этом случае каждая обмотка находится под фазным напряжением, а ток, проходящий в каждой обмотке, равен току в сетевом проводе, то есть $I_{\text{л}} = I_{\phi}$.

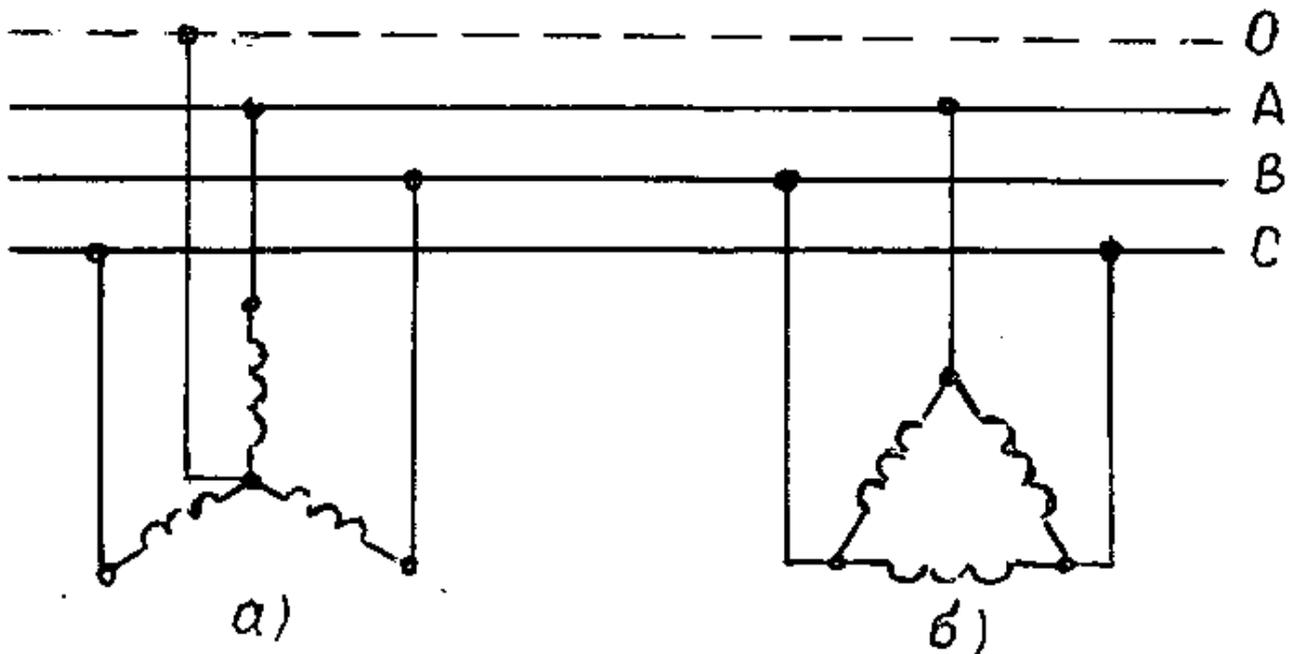


Рис. 6.3. Подключение потребителя в звезду (а) и в треугольник (б)

При соединении в треугольник нулевой провод не используется, напряжение фазы равно линейному напряжению, а линейный ток больше фазного $I_{\text{л}} = \sqrt{3} \cdot I_{\text{ф}}$.

Мощность трёхфазного тока равна тройной мощности одной фазы, следовательно, для активной мощности имеем:

при соединении в звезду – $P = 3 \cdot U_{\text{ф}} \cdot I_{\text{л}} \cdot \cos \varphi$;

при соединении в треугольник $P = 3 \cdot U_{\text{л}} \cdot I_{\text{ф}} \cdot \cos \varphi$.

Если учесть, что при соединении в звезду $U_{\text{ф}} = U_{\text{л}}/\sqrt{3}$, а при соединении в треугольник $I_{\text{ф}} = I_{\text{л}}/\sqrt{3}$, то обозначая линейные ток и напряжение без индексов получим общую формулу для расчета активной мощности трехфазного тока

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi.$$

7. Короткие замыкания в системах электроснабжения

Коротким замыканием (КЗ) называется непосредственное соединение между любыми точками, разных фаз, фазы и нулевого провода и нулевого провода или фазы с землей, не предусмотренное нормальными условиями работы установки. В электрических системах возможны следующие основные виды коротких замыканий:

- Трёхфазное КЗ, при котором все три фазы замыкаются между собой в одной точке.
- Двухфазное КЗ, при котором происходит замыкание двух фаз между собой.

- Двухфазное КЗ на землю, при котором замыкании двух фаз между собой сопровождается замыканием точки повреждения на землю (в системах с заземленными нейтралями).
- Однофазное КЗ, при котором происходит замыкание одной из фаз на нулевой провод или на землю.

Встречаются и другие виды КЗ, связанных с обрывом проводов и одновременными замыканиями проводов различных фаз. Различают КЗ на зажимах генераторов и КЗ в сети, отделенные от генератора сопротивлениями сети.

Трехфазное КЗ является симметричным, поскольку при нем все три фазы оказываются в одинаковых условиях. Все остальные виды КЗ являются несимметричными, поскольку фазы не остаются в одинаковых условиях, а системы токов и напряжений получают искаженными. Наиболее часто встречаются однофазные замыкания. На их долю приходится до 65% от общего числа КЗ. Трехфазные КЗ возникают сравнительно редко – в 5% от общего числа КЗ.

В большинстве случаев причиной возникновения КЗ в системе является нарушение изоляции электрического оборудования вследствие износа изоляции, не выявленного своевременно при профилактических испытаниях, или из-за перенапряжений. Короткие замыкания могут быть вызваны ошибочными действиями обслуживающего персонала, механическими повреждениями кабельных линий, схлестыванием или перекрытием птицами проводов воздушных линий.

При возникновении КЗ общее сопротивление цепи системы электроснабжения уменьшается, вследствие чего токи в ветвях системы резко увеличиваются, а напряжения на отдельных участках системы

снижаются. Элементы электрических систем обладают активными, индуктивными сопротивлениями и емкостными проводимостями. Поэтому при внезапном нарушении режима работы вследствие КЗ электрическая система представляет собой колебательный контур. За время КЗ с момента его возникновения до момента отключения поврежденного участка в цепи протекает переходный процесс с большими мгновенными токами, вызывающими электродинамическое воздействие на электрооборудование. При длительном, более 0,01 с, КЗ токи оказывают термическое действие, которое может привести к значительному повышению температуры элементов электрооборудования.

Учитывая негативные последствия коротких замыканий на работу сети, электрические сети проектируются с учетом возможности возникновения таких режимов и с использованием средств защиты электрооборудования при КЗ.

8. Автоматизация и релейная защита в системах электроснабжения

8.1. Общие сведения и требования к системе релейной защиты и автоматики

В условиях эксплуатации возможны повреждения отдельных элементов системы электроснабжения. В ряде случаев повреждение должно быть ликвидировано в течение долей секунды. Совершенно очевидно, что человек не в состоянии справиться с такой задачей, поэтому для определения места повреждения и подачи сигнала на отключение соответствующих выключателей устанавливаются специ-

альные автоматические устройства. Это и есть релейная защита, действующая на отключение. В некоторых случаях выключение и защита совмещаются в одном аппарате (предохранитель, автомат).

Иногда в условиях эксплуатации возникают ненормальные режимы, существование которых допустимо в течение некоторого времени. Нарушение нормального режима в этих случаях может быть ликвидировано действием оперативного персонала. При этом нецелесообразно немедленное отключение элемента электрической сети, а достаточно дать сигнал персоналу. Это осуществляется релейной защитой, действующей на сигнал.

Релейная защита – только часть автоматики, получившая применение в системах раньше других автоматических устройств. Вместе с тем, одна релейная защита не в состоянии обеспечить надежность и бесперебойность электроснабжения. Так, при распределительных подстанциях в сетях напряжением 6... 10 кВ, которые обычно выполняют в виде двух секций, каждая питающая линия связана только со своей секцией и обеспечивает питание потребителей только своей секции. При повреждении одной из линий и ее отключении соответствующая секция обесточивается, а электроснабжение ее потребителей прекращается. Электроснабжение потребителей может быть восстановлено, если включить секционный аппарат. Эта операция должна быть осуществлена максимально возможно быстро для потребителей первой категории, поэтому в качестве секционного аппарата используется выключатель и для его включения используется устройство автоматики, получившее название автоматического включения резерва – АВР.

Опыт эксплуатации воздушных линий электропередач показал, что после быстрого отключения до 70...90% повреждений самоустраняются, а линия, включенная повторно, остается в работе. И здесь повторное включение осуществляется с помощью автоматики устройством, получившим название автоматического повторного включения – АПВ.

Релейная защита и автоматика должны удовлетворять ряду требований, основными из которых являются:

- селективность;
- чувствительность;
- быстродействие;
- надежность.

Под селективностью понимается свойство релейной защиты, действующей на отключение, избирать поврежденный участок и отключать только его. Для релейной защиты, действующей на сигнал, под селективностью понимается способность однозначно указывать место возникновения ненормального режима и конкретный элемент системы электроснабжения, требующий вмешательства персонала. Понятие селективности присуще также устройствам автоматики, например, устройствам, действующим на отключение элементов.

Под чувствительностью релейной защиты понимается ее способность реагировать на возможные повреждения в минимальных режимах системы электроснабжения, когда изменение воздействующей величины (величина, на которую реагирует защита) будет минимальным. Обычно стремятся сделать защиту возможно более чувствительной, сохраняя, однако, ее селективность. Это требование и ставит практический предел возможной чувствительности защиты. Чувстви-

тельность защиты оценивается коэффициентом чувствительности. Он регламентирует отношение между значением воздействующей величины при повреждении в защищаемой зоне и установленным на защите значением параметра ее срабатывания. Чувствительность – одно из основных требований, предъявляемых к устройствам автоматики.

Быстродействие защиты необходимо в большинстве случаев по целому ряду причин:

1. При КЗ мощность, отдаваемая генераторами станций, вблизи которых произошло КЗ, резко снижается. В результате скорость вращения генераторов возрастает. Если КЗ отключается защитой, имеющей выдержку времени, то к моменту его отключения генераторы этой станции выйдут из синхронизма по отношению к другим станциям. Быстрое отключение КЗ может предотвратить нарушение синхронизма, представляющее собой наиболее тяжелую аварию в системе.

2. КЗ в любом элементе системы приводит к понижению напряжения, снижению вращающего момента синхронных и асинхронных двигателей и их торможению. При быстром отключении КЗ двигатели немедленно возвращаются к нормальному режиму, их торможение не является опасным. Отключение КЗ с выдержкой времени может привести к полной остановке и необходимости отключения синхронных и некоторых асинхронных двигателей.

3. Быстрое отключение КЗ уменьшает размеры нарушения изоляции и токоведущих частей в месте повреждения, уменьшает вероятность несчастных случаев.

4. Ускорение отключения повреждений повышает эффективность АПВ и АВР, так как чем меньше разрушения в месте КЗ, тем меньше

вероятность успешного действия автоматики. Время отключения повреждения складывается из времени действия защиты и времени действия выключателя. Следовательно, для ускорения отключения повреждений необходима не только быстродействующая защита, но и быстродействующие выключатели. Защиты, действующие со временем, не превышающим 0,1 ...0,2 с, считаются быстродействующими. Время отключения наиболее распространенных выключателей не превышает 0,06...0,15 с. Для повышения надежности электроснабжения недостаточно только быстрого отключения поврежденного элемента, необходимо также быстро включить этот элемент повторно в работу или заменить его резервным. Таким образом, быстродействием должны обладать также устройства АПВ и АВР.

Применительно к релейной защите и автоматике под надежностью понимают свойство этих устройств выполнять заданные функции, сохраняя свои эксплуатационные показатели в заданных пределах в течение требуемого промежутка времени. Для обеспечения надежности релейная защита и автоматика должны выполняться при помощи высококачественных и надежно работающих реле и других элементов. Их монтаж должен быть надежным, т. е. таким, при котором исключается обрыв проводов, замыкание между ними, ложное срабатывание от механических сотрясений и др. Существенное значение для надежности имеет правильная эксплуатация защиты и автоматики. Состояние всех устройств защиты и автоматики должно периодически проверяться. Так как каждый элемент может оказаться неисправным, то надежность защиты и автоматики тем выше, чем меньшее число элементов они содержат. Особенно важно уменьше-

ние числа наименее надежных элементов, которыми являются контакты реле. Существенное повышение надежности устройств релейной защиты и автоматики может быть достигнуто применением бесконтактных элементов.

8.2. Основные принципы действия релейной защиты

Токовые защиты. Защиты, для которых воздействующей величиной является ток, проходящий вместе их включения, получили название токовых. Первыми токовыми защитами, и вообще первыми защитами, были плавкие предохранители. В настоящее время, наряду с плавкими предохранителями, широко используют аппараты, получившие название реле. Они позволяют выполнять более совершенные защиты. Реле тока являются основными реле токовой защиты. Они приходят в действие при отклонении величины тока в защищаемом элементе от заданного значения. Реле, действующее при возрастании тока, называется максимальным реле тока, а реле, реагирующее на снижение этой величины, – минимальным реле тока. Токовые защиты выполняют с включением реле на полные фазные токи, а также на симметричные составляющие этих токов. В зависимости от способа обеспечения селективности токовые защиты делятся на максимальные токовые и токовые отсечки. В первом случае селективность защиты достигается выбором выдержки времени, тем большей, чем ближе к источнику питания расположена защита, во втором – соответствующим выбором тока, при котором защита срабатывает.

Максимальные токовые защиты могут выполняться с выдержками времени, не зависящими от тока в защищаемом участке. В их схемах выдержка времени, как правило, создается специальным реле

времени. Такая защита называется защитой с независимой характеристикой времени срабатывания.

Наряду с этим максимальные токовые защиты могут выполняться с выдержками времени, зависящими от величины тока в защищаемом участке. В таких системах по мере увеличения тока время срабатывания уменьшается. Такой характер изменения выдержек времени имеет максимальная токовая защита, выполненная, например, индукционными реле тока или плавкими предохранителями. Такая защита называется защитой с зависимой или с ограниченно зависимой характеристикой времени срабатывания.

По мере удаления точки короткого замыкания от источника питания ток повреждения в месте установки защиты уменьшается. Выбирая ток срабатывания защиты большим, чем максимальный ток, проходящий через нее при коротком замыкании в начале следующего, более удаленного от источника питания участка, можно выполнить защиту, действующую на отключение только при повреждении на защищаемом участке. Так обеспечивается селективное действие токовой отсечки. Достоинством токовой отсечки является то, что она действует без выдержки времени, однако защищает только часть линии, расположенную ближе к источнику питания. Разновидность токовой отсечки – токовая отсечка с выдержкой времени; в ней используют оба способа обеспечения селективности.

Защиты напряжения. Для защиты напряжения воздействующей величиной является напряжение цепи в месте включения защиты. Основное реле защиты – реле напряжения, которое приходит в действие при отклонении величины напряжения от заданного значения. Защита,

срабатывающая при уменьшении напряжения, называется минимальной защитой напряжения. Основным ее реле является минимальное реле напряжения. Защита, предназначенная для действия при превышении напряжением заданной величины, называется максимальной защитой напряжения; для ее выполнения используют максимальное реле напряжения. Защиту можно выполнить с включением реле на полные фазные и междуфазные напряжения, а также на симметричные составляющие этих напряжений. Селективное действие защиты напряжения обеспечивается теми же способами, что и у токовых защит.

Токовые направленные защиты. Токовая направленная защита действует в зависимости от величины тока и его фазы по отношению к напряжению на шинах подстанции, где защита установлена. Защита срабатывает, если ток превысит заданную величину, а его фаза будет соответствовать короткому замыканию на защищаемом элементе. Такое действие обеспечивается включением в схему защиты наряду с реле тока реле мощности, реагирующего на направление мощности КЗ. Токовые направленные защиты, так же как и ненаправленные, бывают с выдержкой времени и мгновенного действия и могут выполняться реагирующими на полные напряжения и токи фаз или на их симметричные составляющие.

Дистанционные защиты. При КЗ в связи с увеличением тока I в защищаемом элементе и уменьшением напряжения U отношение U/I уменьшается по величине. Поэтому защиту от КЗ можно выполнить с учетом изменения величины этого отношения. Такая защита называется дистанционной. Основным ее органом является реле сопротивления. Схему защиты выполняют так, что ее выдержка времени находится в

зависимости от расстояния между местом установки защиты и точкой КЗ; с увеличением этого расстояния растет и выдержка времени.

Дифференциальные защиты. Дифференциальная защита основана на принципе сравнения токов или фаз токов по концам защищаемого участка или в соответствующих ветвях параллельно соединенных элементов электрической установки. Связь между сравниваемыми токами осуществляется проводами. Дифференциальный принцип позволяет выполнять защиту, как правило, быстродействующей.

Высокочастотные защиты. Высокочастотная защита используется в качестве защиты магистральных линий электропередач. Как и дифференциальная защита, она основана на принципе сравнения между собой однородных электрических величин по концам защищаемой линии. Связь между сравниваемыми величинами осуществляется обычно с помощью токов высокой частоты. В качестве линии связи используется сама защищаемая линия. Высокочастотный принцип позволяет выполнить защиту быстродействующей.

8.3. Автоматические и телемеханические системы регулирования, контроля и управления

В задачу регулирования входит поддержание регулируемой величины на заданном уровне или изменение по заранее заданному закону. Совокупность всех элементов, обеспечивающих это, называется автоматической системой регулирования.

Автоматическая система регулирования представляет собой замкнутую цепь, которая обеспечивает контроль и управление. Вместе с тем в автоматике широко применяются разомкнутые системы, осу-

ществляющие только контроль – автоматическая система контроля или только управление – автоматическая система управления. К автоматической системе управления относятся АПВ и АВР, осуществляющие автоматическое включение и отключение выключателей. Если расстояние между объектом контроля, управления или регулирования и пунктом управления велико, то применяют системы телемеханики: телеконтроля, телеуправления и телерегулирования. Они отличаются от соответствующих систем автоматики наличием каналов связи, приемников и передатчиков.

8.4. Классификация и устройство реле

Реле классифицируют по разным признакам и в соответствии с этим различают много видов реле.

По принципу действия различают *электромагнитные реле* и *реле индукционного типа*.

Работа электромагнитных реле основана на использовании электромагнитных сил, возникающих в металлическом сердечнике при прохождении тока по виткам его катушки. Под действием этих электромагнитных сил к сердечнику притягивается подвижный элемент реле – якорь, что приводит к замыканию или размыканию контактов, включенных в соответствующую электрическую цепь.

В свою очередь, электромагнитные реле делятся на реле постоянного тока и реле переменного тока.

На рис. 8.4. показано устройство простейшего электромагнитного реле клапанного типа.

При определенной магнитодвижущей силе (МДС) в цепи управления, включающей расположенную на сердечнике обмотку, возникающая сила F притяжения якоря 3 к ярму 1 превышает силу противодействующей пружины 2. Воздушный зазор уменьшается и клапан 4 прижимает подвижный контакт 5 к неподвижному контакту 6. Управляемая цепь замыкается. Исполнительный элемент 7 производит требуемое действие.

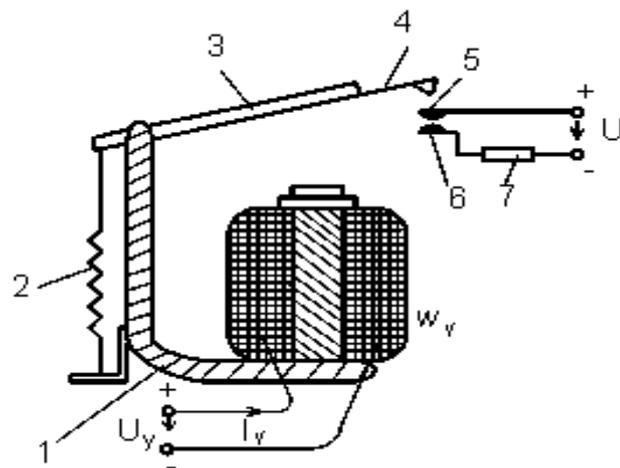


Рис. 8.4. Схема устройства электромагнитного реле:

1 – ярмо; 2 – пружина; 3 – якорь; 4 – клапан; 5 – подвижный контакт; 6 – неподвижный контакт; 7 – исполнительный элемент

Работа индукционных реле основана на взаимодействии между индуцированным током в подвижном токопроводящем элементе конструкции реле и переменным магнитным потоком. Поэтому они применяются только на переменном токе как реле защиты энергосистем. По конструктивным особенностям бывают индукционные реле с рамкой, с диском и стаканом (рис. 8.5.)

В **индукционных реле с рамкой** (рис. 8.5,а) один из потоков (Φ_2) индуцирует ток в короткозамкнутой обмотке, помещенной в виде

рамки в поле второго потока (Φ_1), сдвинутого по фазе. Реле имеют высокую чувствительность и наибольшее быстродействие по сравнению с другими индукционными реле. Недостатком их является малый вращающий момент.

Индукционные реле с диском, схема которого приведена на рис. 8.5, б, имеют сравнительно простую конструкцию и достаточно большой вращающий момент, возникающий при взаимодействии тока, индуцированного в диске, с магнитным потоком, создаваемым обмотками реле. Недостатком реле этого типа является замедленное действие вследствие большой инерции подвижной части.

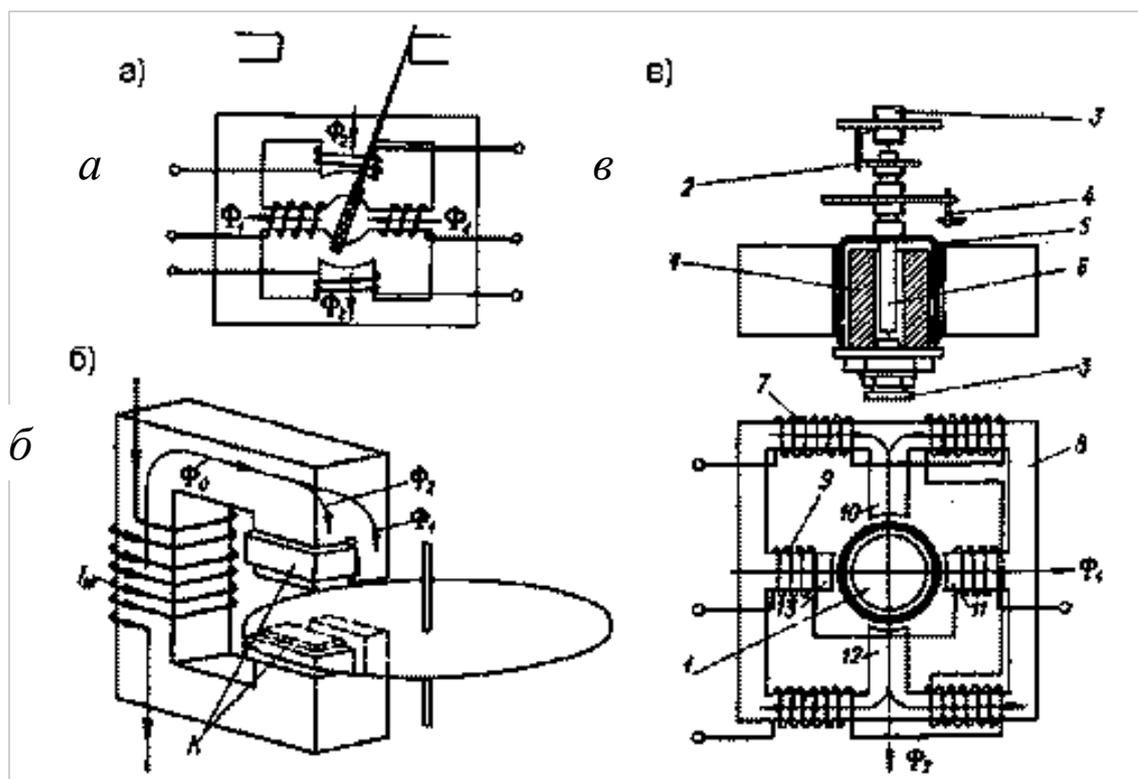


Рис. 8.5. Схемы устройства индукционных реле:

а – с рамкой; б – с диском; в – со стаканом

1 – стальной цилиндр; 2 – спиральная противодействующая пружина; 3 – подшипники; 4 – вспомогательные контакты; 5 – алюминиевый стакан; 6 – ось; 7, 9 – группы катушек; 8 – ярмо; 10, 11, 12, 13 – полюсы

Индукционные реле со стаканом (рис. 8.5, в) имеют подвижную часть в виде стакана, вращающегося в магнитном поле двух потоков четырехполюсной магнитной системы. Потоки Φ_1 , и Φ_2 расположены в пространстве под углом 90° , а по времени сдвинуты на определенный угол. Внутри стакана 5 проходит стальной цилиндр 1 для уменьшения магнитного сопротивления. Реле со стаканом сложнее реле с диском, но позволяет получить время срабатывания до 0,02 с. Это существенное достоинство обеспечило им широкое применение. Четырехполюсная магнитная система позволяет без существенных изменений получать разнообразные по назначению реле и унифицировать их производство. Например, если на полюсах 11 и 13 разместить токовые катушки 9, а на ярме разместить катушки напряжения 7, то они создадут соответственно потоки Φ_1 , и Φ_2 , пропорциональные току и напряжению. Взаимодействие этих потоков с индуцированными в стакане 5 токами создаст в последнем вращающий момент пропорциональный мощности, т. е. получим реле мощности.

В зависимости от функций, выполняемых реле в системе защиты, их делят на *основные* и *вспомогательные*. Основные реле реагируют на возникновение повреждения или ненормального режима. Вспомогательные реле по команде основных производят отключение выключателя или другие операции, возложенные на данную защиту.

К числу вспомогательных реле относятся: реле времени, служащие для замедления времени защиты; реле указательные – для сигнализации и фиксации действия защиты; промежуточные, передающие действие основных реле на отключение выключателя и служащие для осуществления взаимной связи между элементами защиты.

В зависимости от параметра, на который рассчитано срабатывание реле, различают *реле тока, реле напряжения, реле мощности и т.д.* Реле тока и реле напряжения служат для защит от ненормальных режимов и защит от коротких замыканий. Первые служат в качестве реле, реагирующих на перегрузку, вторые - на опасное повышение или понижение напряжения в сети.

Кроме того, применяется ряд специальных реле, например, реле частоты, действующие при недопустимом снижении или повышении частоты; тепловые реле, реагирующие на увеличение тепла, выделяемого током при перегрузках и др.

В зависимости от способа включения обмотки реле и сами реле делятся на *первичные и вторичные*. Обмотка первичных реле включается непосредственно в защищаемую цепь, а обмотка вторичных - через измерительный трансформатор. В настоящее время наибольшее распространение получили вторичные реле. Достоинством первичных реле является то, что для их включения не требуется измерительных трансформаторов, источников оперативного тока и контрольного кабеля. Благодаря этому защита с первичными реле проще и дешевле, чем с вторичными реле. Поэтому первичные реле находят применение на электродвигателях, трансформаторах и линиях малой мощности в сетях напряжением 6... 10 кВ.

В зависимости от способа воздействия на объект управления различают реле *прямого и косвенного действия*.

В реле *прямого действия*, используемом в устройстве защиты, подвижная система механически связана с отключающим устройством выключателя, благодаря чему срабатывание реле сопровождается

ется его отключением. В реле *косвенного действия* подвижная система реле в схеме релейной защиты непосредственно не связана с отключающим механизмом выключателя.

9. Электрическое освещение

Электрическое освещение состоит в преобразовании электроэнергии в свет с целью создания гигиенически благоприятных, комфортных и безопасных условий для зрительного восприятия.

9.1. Общие сведения о природе света

Свет представляет собой электромагнитное излучение, которое характеризуется частотой и длиной волны. Существует широкий диапазон длин волн различных излучений: от 10^{-7} нанометров (нм) для космического излучения до тысяч километров (6000 км для генератора переменного тока с частотой 50 Гц). В этом диапазоне выделяется *оптическая область спектра*, излучения в которой подчиняются законам оптики.

Оптическую область условно можно разделить на три неравные части: *ультрафиолетовые излучения* (от 1 до 380 нм), *инфракрасные излучения* (от 780 нм до 1 мм) и *видимые излучения* (от 380 до 780 нм), т.е. свет. Область излучений, воспринимаемых глазом человека, составляет всего 4 % оптической области, но именно через неё человек получает 90 % информации о мире. Оптическая область слева граничит с рентгеновскими лучами, а справа – с ультракороткими радиоволнами.

Основными количественными характеристиками излучения являются энергия излучения Q_L , измеряемая в джоулях (Дж), поток излучения и плотность потока излучения.

Поток излучения Φ_{λ} представляет собой количество лучистой энергии, переносимое через какую либо поверхность в единицу времени, то есть это мощность энергии излучения. Поток излучения измеряется в ваттах (Вт).

Поток излучения, приходящийся на единицу площади поверхности, через которую он проходит, называется **поверхностной плотностью потока излучения E** , с единицей измерения – Вт/м².

Важной характеристикой излучения является его спектр, представляющий совокупность излучений тела с различной длиной волны. Спектры излучения можно подразделить:

- на **однородные (мономатические)** спектры, когда излучается одна длина волны.
- **неоднородные (сложные)** спектры – излучаются разные длины волн.

В свою очередь неоднородный спектр можно подразделить:

- на **линейчатый** спектр – спектр, состоящий из отдельных, не примыкающих друг к другу мономатических излучений. Таким спектром обладают излучения электрических разрядов в газах и парах металлов.
- **сплошной** спектр – спектр, содержащий все длины волн в интервале, в пределах которого происходит излучение. Таким спектром обладают излучения нагретых тел (солнце, лампа накаливания) и люминофоров.

Для сплошного спектра вводится понятие спектральной плотности потока излучения. **Спектральная плотность потока излучения** – это функция, показывающая распределение энергии по спектру излучения - $\Phi_{\lambda}(\lambda)$. При этом общий поток излучения для всех длин волн в диапазоне от λ_1 до λ_2 вычисляется как интеграл

$$\Phi_{\text{л}} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Phi_{\lambda}(\lambda) \cdot d\lambda .$$

При попадании излучения на тело энергия будет частично отражаться, частично пропускаться и частично поглощаться. При поглощении лучистая энергия преобразуется в другие виды энергии: тепло, электричество (фотоэлемент), химическую энергию (листья, кожа при загаре).

9.2. Основные светотехнические величины

В светотехнике, где основным приемником является глаз человека, для оценки эффективности действия лучистого потока принята система световых величин и единиц. В этой системе учитываются особенности восприятия излучения человеческим глазом. Действительно, если излучения находятся в инфракрасной или ультрафиолетовой области, то какой бы мощностью они не обладали, для глаза человека они останутся невидимыми. Если излучения одинаковой мощности принадлежат видимой области спектра, человек будет воспринимать их по-разному: в большей мере при длинах волн около 555 нм (жёлтые и зелёные излучения) и значительно слабее на границах видимого диапазона (красные и фиолетовые). Следовательно, для оценки восприятия излучений человеком необходимо учитывать не только энергию излучения, но и относительную спектральную чувствительность глаза, которая является функцией длины волны излучения.

Основными световыми величинами являются:

- световой поток Φ ;

- сила света I ;
- освещенность E ;
- светимость (светность) M .
- яркость L_a ;

Световой поток Φ представляет собой мощность потока излучения, оцениваемую по световому ощущению, которое она вызывает у фотометрического наблюдателя, кривая относительной спектральной чувствительности глаза которого стандартизована международной комиссией по освещению (МКО). Иначе говоря, световой поток – это поток излучения, с определенной эффективностью преобразованный глазом. *За единицу светового потока* в соответствии с международным соглашением принят *люмен (лм)*. Переводной коэффициент из ватт (лучистый поток) в люмены (световой поток) имеет различное значение для разных длин волн.

Максимальное значение спектральной световой эффективности соответствует монохроматическому лучистому потоку с длиной волны 555 нм и, как установлено на основании измерений, равно 683 лм/Вт. То есть при этой длине волны 1 Вт соответствует 683 лм.

Сила света I характеризует пространственную плотность светового потока, отнесенную к единице телесного угла.

$$I = \frac{d\Phi}{dw},$$

где w – телесный угол с вершиной в точке расположения источника света.

За единицу телесного угла – стерадиан (ср) – принимается угол, который, имея вершину в центре сферы, вырезает на ее поверхности сферический участок, по площади равный квадрату радиуса. Следовательно, для того чтобы вычислить телесный угол в стерадианах, надо площадь, которую он вырезает на поверхности сферы, описанной из его вершины, разделить на квадрат радиуса этой сферы. Телесный угол сферы равен 4π .

Единицей силы света служит кандела (кд). Кандела является основной единицей в системе СИ наравне с метром, килограммом, секундой, ампером и др. Кандела ($1 \text{ кд} = 1 \text{ лм/ср}$) определяется как $1/60$ силы света, излучаемой в перпендикулярном направлении элементом поверхности черного тела площадью 1 см^2 при температуре затвердевания платины (2042 К).

Падая на поверхность, световой поток создает ее *освещенность*. За единицу освещенности – *люкс (лк)* – принята освещенность поверхности площадью 1 м^2 световым потоком 1 лм. Освещенность поверхности не зависит от ее световых свойств. Качество производственного освещения принято характеризовать требуемой освещенностью рабочих поверхностей и участков.

Светимость (светность) M – это поверхностная плотность излучаемого светового потока. Для характеристики поверхностей, светящихся за счет проходящего через них или отраженного светового потока, служит отношение излучаемого элементом поверхности светового потока $d\Phi$ к площади этого элемента dS_1 (индексом 1 принято обозначать светящуюся поверхность):

$$M = d\Phi/dS_1.$$

Эта световая величина обычно применяется для расчета естественного освещения. Единицей светимости служит люмен на квадратный метр ($\text{лм}/\text{м}^2$) светящей поверхности, что соответствует плоской поверхности площадью 1 м^2 , равномерно излучающей (в одну сторону) световой поток в 1 лм .

Яркостью является отношение силы света, излучаемой в рассматриваемом направлении, к площади светящейся плоскости. Выражают в единицах: **кандела на квадратный метр ($\text{кд}/\text{м}^2$)**.

Для различения предметов человеком необходима разность яркости предмета и фона, т. е. контрастность. Количественно контрастность определяют, как отношение разности яркости предмета и фона к яркости предмета (фона). Оптимальным значением контрастности считают $0,6 \dots 0,9$.

9.3. Освещение. Основные требования к освещению

Под производственным освещением понимают систему устройств и мер, обеспечивающую благоприятную работу зрения человека и исключающую вредное или опасное влияние на него в процессе труда. Чтобы человек мог выполнять зрительную работу, необходимы определенные характеристики света и зрения человека.

Выделяется три вида освещения: естественное, искусственное, совмещенное. На предприятиях принято использовать естественный свет и свет от искусственных источников освещения.

Естественное освещение зависит от архитектуры и планировки здания. Оно может быть боковым, верхним или комбинированным.

Искусственное освещение представляет собой совокупность всех осветительных приборов.

В зависимости от конструктивного исполнения, искусственное освещение делится на два вида: общее и комбинированное.

Различают общее равномерное освещение и общее локализованное. В первом случае свет распределяется равномерно по всей площади, во втором дополнительно подсвечиваются рабочие места.

В местах, где необходима специальная дополнительная подсветка, используется местное освещение.

Комбинированное освещение состоит из совокупности общего и местного освещения.

В зависимости от назначения, искусственное освещение может быть рабочим, аварийным и специальным.

Примером специального могут быть охранное, дежурное, эвакуационное и другие виды освещения.

Основные требования к системам освещения сформулированы в специальном нормативном документе – СНиП 23-05-95 и состоят в следующем:

- Обеспечение равномерного распределения яркости.

При неравномерном распределении яркости глазу приходится постоянно адаптироваться с ярко освещенной поверхности на слабоосвещенную поверхность, что в свою очередь приведет к быстрой утомляемости и ухудшению зрения. Для равномерного распределения яркости используется комбинированное освещение.

- Обеспечение отсутствия резких теней.

Резкие тени создают визуальную иллюзию искажения размера и формы объектов, наличие их является нарушением правил безопасно-

сти на производстве. Для устранения резких теней используются специальные светильники со светорассеивающими стеклами.

- Отсутствие прямой и отраженной блескости.

Блескость – повышенная яркость поверхности объектов, приводит к нарушению зрительных функций. Устраняется путем правильного выбора и установки осветительных систем, а также заменой блестящих поверхностей на матовые.

- Обеспечение постоянства освещенности и отсутствия всяческих ее колебаний.

Колебания освещенности, вызванные перепадами напряжения, приводят не только к утомлению глаз, но и нарушают общее состояние нервной системы. Постоянство освещенности достигается стабилизацией питающего напряжения, жесткостью крепления светильников, применением специальных схем включения газоразрядных ламп.

- Выбор необходимого спектрального состава светового потока для обеспечения правильной цветопередачи и цветовых контрастов.
- Обеспечение электро-, взрыво- и пожаробезопасности.
- Экономичность.

9.4. Устройство искусственного освещения

Искусственное освещение создают с помощью осветительных установок, представляющих собой в общем случае сочетание источника света, осветительной арматуры и опоры.

Источник света является устройством для превращения какого-либо вида энергии в оптическое излучение. По природе различают два

вида оптического излучения: *тепловое и люминесцентное*. *Тепловое* оптическое излучение возникает при нагреве тел, на этом принципе основаны лампы накаливания (ЛН) и галогенные лампы накаливания (ГЛН), последние кроме тела накала имеют галогены, образующиеся на стенке колбы. Галогенные лампы по сравнению с ЛН имеют более стабильный по времени световой поток и повышенный срок службы. *Люминесцентное* оптическое излучение создается в газоразрядных лампах в результате электрического разряда в газах, парах или их смесях. В настоящее время газоразрядные лампы выпускают следующих типов: люминесцентные лампы (ЛЛ), дуговые ртутные лампы (ДРЛ), дуговые ртутные с излучающими добавками (ДРИ), дуговые натриевые лампы трубчатые (ДНаТ) и дуговые неоновые трубчатые или шаровые лампы (ДКсТ или ДКсШ).

Устройство искусственного освещения зависит от объекта, для которого оно предназначено. В частности, требования различны для внутреннего и наружного освещения.

В качестве источников света для внутреннего освещения применяются в основном лампы накаливания и газоразрядные лампы (люминесцентные, ртутные и др.). Большинство учреждений, школ и общественных зданий освещается люминесцентными лампами или лампами накаливания, тогда как во многих производственных помещениях, особенно с высокими потолками, используются ртутные, а также люминесцентные лампы. Но во всех случаях источники света должны быть закрыты экранами, исключаящими прямую блескость, а там, где это возможно, - и отраженную. В одном из конструктивных вариантов светильник с минимальной прямой и отраженной блеско-

стью посылает почти весь свой выходной световой поток вверх, на потолок, который выполняет роль вторичного источника большой площади с малой яркостью.

Еще один важный способ повышения качества внутреннего освещения – применение матового отделочного покрытия с высокой отражающей способностью для потолка, стен, пола и мебели. Это превращает потолок, стены, пол и мебель во вторичные источники света большой площади, благодаря чему не только повышается коэффициент использования света в помещении, но и увеличивается доля рассеянного света, а также устраняются резкие тени.

Требования к освещенности для наружного освещения обычно меньше, так как задачи зрительной работы менее ответственны и высокий уровень освещенности экономически не оправдан. Качество освещения тоже менее существенно, особенно при очень низких уровнях освещенности, но прямая блескость должна устраняться или сводиться к минимуму. Источниками света на улицах городов и автомагистралях служат в основном газоразрядные лампы.

9.5. Устройство электрических источников света

Со времени появления электрических источников света они прошли определенную эволюцию, направленную на повышение надежности, долговечности и светоотдачи. Значительный вклад в этой области принадлежит отечественным инженерам и ученым, в числе которых следует назвать Павла Николаевича Яблочкова, Александра Николаевича Лодыгина; Сергея Ивановича Вавилова.

В современных системах искусственного освещения, как было отмечено выше, используются два основных вида электрических источников света – лампы накаливания и газоразрядные лампы.

В лампах накаливания свет испускает металлическая проволочка (нить), раскаленная добела проходящим по ней током. Типичная бытовая лампа накаливания (общего назначения) состоит из следующих частей (рис. 9.1): нити накала в виде спирали из вольфрамовой проволочки, стеклянного баллона (который откачивается и заполняется инертным газом) и цоколя, который является объединяющей и силовой деталью лампы и имеет контакты для подключения нити накала к электропитанию.

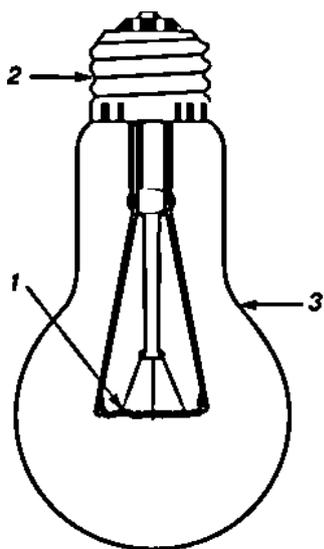


Рис. 9.1. Лампа накаливания:
1 – нить накала; 2 – цоколь; 3 - стек-
лянный баллон

Все эти три элемента конструкции могут быть разного размера и различной формы в зависимости от назначения – лампа общего назначения, с внутренним отражателем, витринная, для уличного освещения, для автомобильных фар, для карманного фонаря, фотографическая лампа-вспышка. В бытовых лампах с тремя режимами накаливания имеются две нити накала, которые можно включать по отдельности и

вместе, получая разную яркость. Средний срок службы большинства бытовых ламп при номинальном напряжении составляет 750-1000 ч.

К достоинствам лампы накаливания относятся низкая начальная стоимость лампы и необходимого для нее оборудования, компактность, благодаря которой она хорошо подходит для регулирования светового потока, надежная работа при низких температурах и довольно высокий при ее размерах световой выход. Недостатками же являются низкий световой КПД, высокая рабочая температура и заметные колебания светового выхода при изменениях напряжения питания.

Стремление повысить светоотдачу ламп накаливания при достаточно высоком сроке службы привело к созданию вольфрам-галогенных (галогенных) ламп. Колба такой лампы наполнена ксеноном с добавкой соединения галогенного элемента (фтора, хлора, брома и йода) с водородом. При высоких температурах вольфрама нити накала они образуют с ним химическое соединение, препятствуя его испарению.

В газоразрядных лампах электроэнергия преобразуется в свет при прохождении электрического тока через газ или пары металла. Цвет светового излучения зависит от рода газа, его давления и от вида люминофора, нанесенного на внутренние стенки стеклянного баллона лампы. Газоразрядные лампы наполняются инертными газами (неоном, аргоном, криптоном или ксеноном), а также парами ртути или натрия.

Примером газоразрядных ламп являются ртутные лампы. Ртутные лампы применяемых в промышленности состоят из следующих частей (рис. 9.2.): кварцевой трубки дугового разряда, наполнен-

ной аргоном и парами ртути; наружной стеклянной колбы (с внутренним люминофорным покрытием), окружающей трубку дугового разряда, закрывающей ее от воздействия потоков окружающего воздуха и предотвращающей окисление; цоколя, на котором держится вся лампа и имеются электрические контакты для подвода напряжения питания.

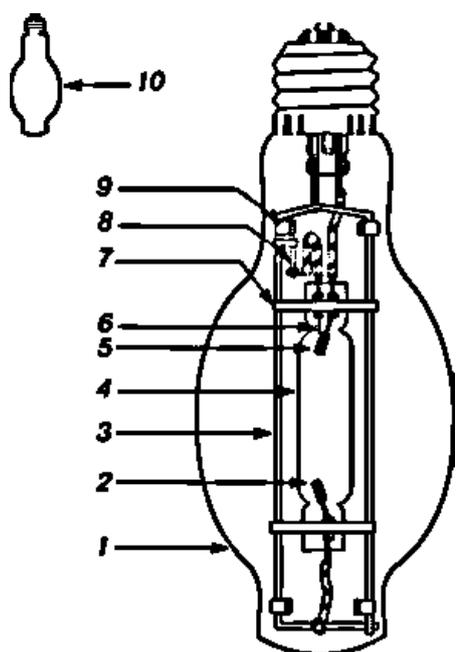


Рис. 9.2. Ртутная газоразрядная лампа:

1 – наружная колба; 2 – рабочий электрод; 3 – токопроводящие стойки; 4 – кварцевая трубка дугового разряда; 5 – рабочий электрод; 6 – пусковой электрод; 7 – опорные траверсы трубки дугового разряда; 8 – пусковые резисторы; 9 – опорные элементы; 10 – внутреннее люминофорное покрытие

Размеры и форма этих конструктивных элементов могут быть разными в зависимости от типа лампы – общего назначения (с прозрачной колбой, с люминесцентным покрытием, с исправленной цветностью, рефлекторная, полурефлекторная лампы), ультрафиолетовые, солнечного света и фотохимические лампы. Средний срок службы ртутных ламп общего назначения составляет 6000-12 000 ч. После того как ртутная лампа включена и в ней установился дуговой разряд, ток разряда через пары ртути сам по себе непрерывно нарастает. Поэтому его приходится ограничивать внешним балластным устройством.

Ртутные лампы отличаются высоким световым КПД (в 2-3 раза большим, чем у ламп накаливания общего назначения), большим сроком службы и компактностью, благодаря чему они хорошо подходят для регулирования светового потока. Их недостатки - высокая стоимость лампы и вспомогательного оборудования, синевато-зеленый оттенок свечения и медленный повторный пуск. Цветность ртутной лампы исправляется применением внутреннего люминофорного покрытия.

Наиболее распространенными электрическими источниками света в настоящее время являются *люминесцентные лампы*. На рис. 9.3 представлена конструкция лампы, типичная для самых распространенных 40-Вт ламп.

Люминесцентные лампы состоят из следующих основных деталей: стеклянного баллона, двух цоколей (с выводными контактами) на обоих концах баллона и двух подогревных катодов (электронных эмиттеров) из вольфрамовой нити или стальной трубки. Баллон наполнен парами ртути и инертным газом (аргоном); на внутренние стенки баллона нанесено люминофорное покрытие, преобразующее ультрафиолетовое излучение газового разряда в видимый свет.

Принцип действия лампы состоит в следующем. Электрод на одном из концов лампы испускает электроны, которые с большой скоростью летят вдоль лампы, пока не произойдет столкновение со встретившимся атомом ртути. При этом они выбивают электроны атома на более высокую орбиту. Когда выбитый электрон возвращается на прежнюю орбиту, атом испускает ультрафиолетовое излучение. Последнее, проходя через люминофор, преобразуется в видимый свет.

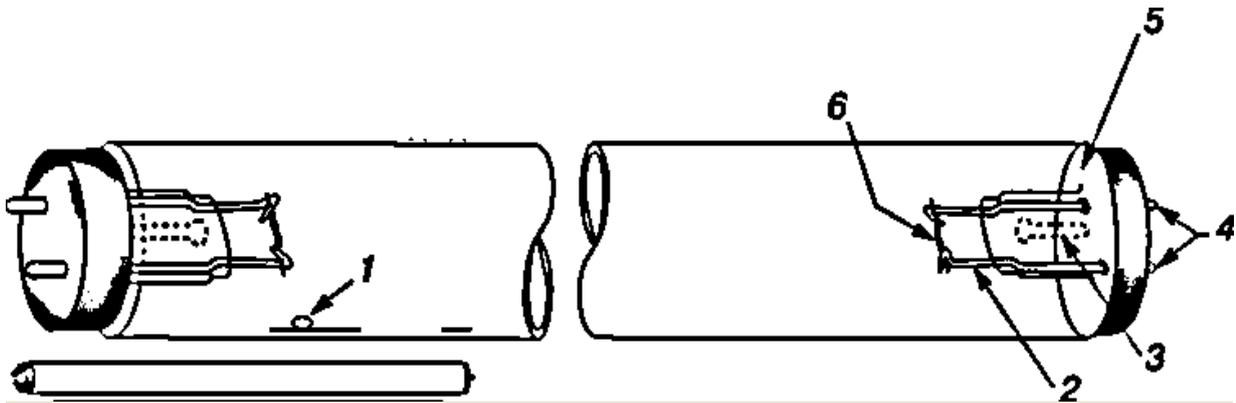


Рис. 9.3. Люминесцентная лампа:

1 – ртуть; 2 – стеклянная ножка с электровводами; 3 – трубка для откачки газов (при изготовлении); 4 – выводные штырьки; 5 – концевая панелька; 6 – катод с эмиттерным покрытием;

Люминесцентные лампы делятся на две группы соответственно типу электродов: с подогревными катодами и с холодными катодами. В лампах с подогревными катодами, которые рассчитываются на большие токи (1-2 А), как правило, используются спиральные активированные вольфрамовые нити накала. В лампах же с холодными катодами предусматриваются цилиндрические электроды с покрытием из эмиттерных материалов, и они рассчитываются на меньшие токи. Средний срок службы ламп с подогревными катодами зависит от наработки на один пуск: 7500 ч при 3 ч наработки на один пуск и более 18 000 ч в непрерывном режиме. Для ламп же с холодными катодами срок службы не зависит от числа пусков и достигает 25 000 ч. Лампы с подогревными катодами по способу их пуска делятся на лампы с предварительным прогревом, быстрого и моментального пуска. Как и все другие газоразрядные приборы, лампы с подогревными катодами нельзя присоединять к источнику питания без балластного

устройства, ограничивающего ток. Лампы с предварительным прогревом нуждаются также в стартере; при пуске такой лампы замыкается стартер, и катоды, соединенные последовательно, подключаются к сети питания, так что по ним проходит ток. После того как катоды разогреются настолько, что могут эмитировать электроны, стартер автоматически размыкается, и лампа загорается. В благоприятных условиях весь пуск занимает несколько секунд. В лампах быстрого пуска катоды нагреваются постоянно, а разряд возникает при повышении напряжения. Стартеры не требуются, и время пуска значительно меньше, чем у ламп с предварительным прогревом. В лампах моментального пуска не требуется ни прогрева катодов, ни стартера. В них благодаря повышенному напряжению на катоде, происходит эмиссия электронов и зажигание разряда в лампе.

К достоинствам люминесцентных ламп относятся высокая световая отдача (до 77 лм/Вт) и большая долговечность. Недостатки - высокая начальная стоимость лампы и светильника, шум дросселя стартера и мерцание. Хотя перечень недостатков обширен, достоинства столь велики, что к настоящему времени лампы накаливания практически вытеснены люминесцентными лампами в качестве основного электрического источника света.

Наряду с вышеописанными лампами существуют электролюминесцентные лампы. Если в люминесцентных лампах свет испускается при возбуждении люминофора ультрафиолетовым излучением газового разряда, то в электролюминесцентных лампах электроэнергия преобразуется непосредственно в свет благодаря применению специальных люминофоров. Лампа представляет собой многослойную конструкцию

из слоя люминофора (цинк-сульфидного, активированного медью или свинцом) и двух электропроводящих пластин, одна из которых прозрачна. Цвет свечения лампы (синий, зеленый, желтый или розовый) зависит от частоты напряжения питания, а яркость – от частоты и напряжения. Электр люминесцентные лампы пока что не отличаются большой световой отдачей.

В последние годы все шире в качестве электрических источников света применяются светодиоды. История светодиодов исчисляется с момента открытия в 1962 году красного светодиода. Каждое десятилетие с тех пор отмечалось научными достижениями и открытиями в этой области. В 1993 году, когда японским ученым удалось получить синий свет, а затем и белый, развитие светодиодов перешло на новый уровень. И в настоящее время перед учеными и инженерами стоит задача развития светодиодной техники до уровня, когда светодиодное освещение станет использоваться в качестве основного. В наше время можно сделать первые выводы, свидетельствующие об успехах становления светодиодного освещения и продолжающейся модернизации светодиода.

Несмотря на технологическое отличие и небольшое различие в устройстве, которое вызвано особенностью электрических параметров и будущей сферой применения светодиода их работа базируется на общем принципе действия излучающего элемента. Преобразование электрического тока в световой поток происходит в кристалле, который состоит из полупроводников с разным типом проводимости. Материал с n-проводимостью получают путем его легирования электронами, а материал с p-проводимостью – дырками. Таким образом, в со-

пределных слоях создаются дополнительные носители заряда противоположной направленности. В момент подачи прямого напряжения начинается движение электронов и дырок к р-n-переходу. Заряженные частицы преодолевают барьер и начинают рекомбинировать, в результате чего протекает электрический ток. Процесс рекомбинации дырки и электрона в зоне р-n-перехода сопровождается переходом электронов на другой энергетический уровень и выделением фотонов – элементарных частиц электромагнитного излучения. Вообще, данное физическое явление применимо ко всем полупроводниковым диодам, но в большинстве случаев длина волны фотона находится за пределами видимого спектра излучения. Для появления излучения в области видимого спектра (диапазон 400-700 нм) ученым пришлось провести немало экспериментов с подбором подходящих химических элементов. В результате появились новые соединения: арсенид галлия, фосфид галлия и более сложные их формы, каждая из которых характеризуется своей длиной волны, а значит, и цветом излучения.

Светодиоды имеют целый ряд преимуществ перед другими видами электрических источников света:

- Дают холодное свечение. Не нагревают имеющиеся рядом электроприборы.
- Имеют малые габариты, компактные и лёгкие. Не бьются при транспортировке и при падении с высоты. Не перегорают.
- Не нуждаются в использовании громоздких светофильтров и защитных колпаков. Могут работать и освещать улицы под дождём и под градом.

- Длительный период эксплуатации. Могут работать на протяжении 20 и более лет.
- Низкое энергопотребление – в 10 раз меньше обычной лампы накаливания.
- Экологически безвредны. Не имеют внутри газов и ртутных паров.
- Пожаро- и взрывобезопасны.

Основным недостатком светодиодов является высокая стоимость, что сдерживает их более широкое применение. Однако с развитием новых технологий и появлением новых материалов этот недостаток может быть существенно нивелирован.

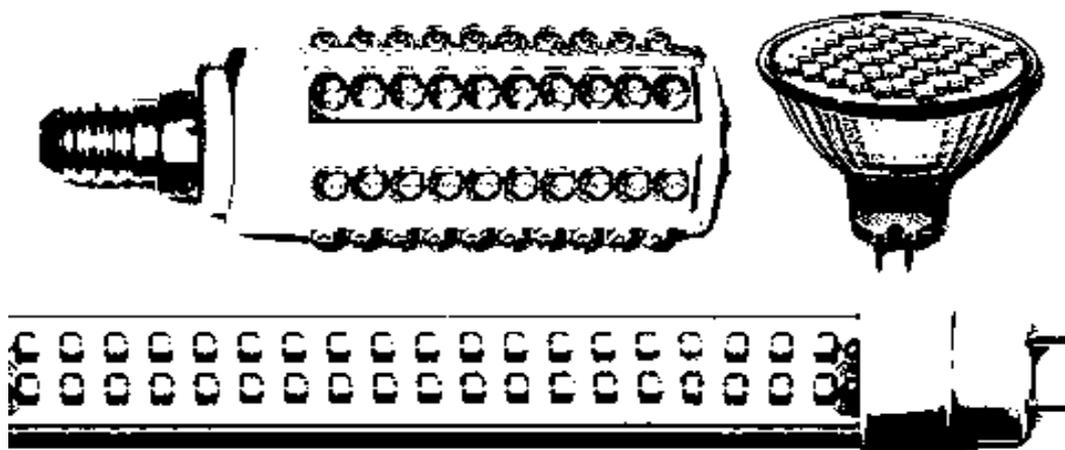


Рис. 9.4. Конструкция светодиодных ламп

В светильниках или светодиодных лампах количество светодиодных кристаллов, установленных в одну лампу, может превышать сотню работающих элементов. На каждый из них необходимо подвести оптимальный ток. Для этого создают стеклотекстолитовые платы с токопроводящими дорожками. Они могут иметь самую различную конструкцию. К контактным площадкам плат припаиваются светоди-

одные кристаллы. Чаще всего их формируют в определенные группы и запитывают последовательно друг с другом. Через каждую созданную цепочку пропускают один и тот же ток. Подвод постоянного напряжения к каждой группе светодиодов выполняется от специального устройства, которое называют драйвером. Данное устройство выполняет функции преобразования входного напряжения сети, например, ~220 вольт квартирной или 12 вольт автомобильной сети в оптимальную величину питания каждой последовательной группы.

Работа светодиода не сопровождается ни шумом, ни выделением тепла. В наши дни научились изготавливать светодиодные лампы различной мощности, формы и цвета. Конструкция и типаж светодиода постоянно улучшается. По мере развития технологий промышленного производства светодиодов, появления новых надёжных материалов и сплавов, их производство и внедрение в различные сферы потребления развивается и совершенствуется.

10. Преобразование электрической энергии в механическую

Механическая энергия на предприятиях используется для привода различных технологических машин и оборудования, транспортных и погрузо-разгрузочных машин. Во многих случаях источником механической энергии служит электрический привод, в котором преобразователем электроэнергии в механическую является электродвигатель. На практике в основном получили распространение магнитоэлектрические двигатели. Основными частями такого электродвигателя являются статор (неподвижная часть, в которой создается магнитный поток) и якорь или ротор (вращающаяся часть, на валу кото-

рого создается крутящий момент). Возникновение крутящего момента на валу ротора обусловлено взаимодействием тока в его обмотках с магнитным полем статора.

10.1. Классификация электродвигателей

По типу потребляемого тока магнитоэлектрические двигатели подразделяются на ***двигатели постоянного тока*** и ***двигатели переменного тока*** (также существуют универсальные двигатели, которые могут питаться обоими видами тока).

Двигатели постоянного тока по конструктивным особенностям делятся, в свою очередь, на ***коллекторные двигатели*** и ***бесколлекторные двигатели***.

По типу возбуждения коллекторные двигатели можно разделить на ***двигатели с независимым возбуждением от электромагнитов и постоянных магнитов*** и ***двигатели с самовозбуждением***.

В свою очередь, двигатели с самовозбуждением делятся на ***двигатели с параллельным возбуждением*** (обмотка якоря включается параллельно обмотке возбуждения), ***двигатели последовательного возбуждения*** (обмотка якоря включается последовательно обмотке возбуждения) и ***двигатели смешанного возбуждения*** (обмотка возбуждения включается частично последовательно частично параллельно обмотке якоря).

Бесколлекторные двигатели (вентильные двигатели) не имеют коллекторного узла со щетками и выполняются в виде замкнутой системы с использованием датчика положения ротора, системы управления (преобразователя координат) и силового полупроводникового

преобразователя (инвертора). Принцип работы данных двигателей аналогичен принципу работы синхронных двигателей.

Двигатели переменного тока по принципу работы делятся на *синхронные* и *асинхронные* двигатели. Принципиальное различие этих двигателей состоит в том, что в синхронных машинах ротор вращается со скоростью вращения магнитного поля в статоре, а у асинхронных всегда есть отставание скорости вращения ротора от скорости вращения магнитного поля в статоре.

Синхронные электродвигатели обычно используются при больших мощностях (от сотен киловатт и выше). Существуют синхронные двигатели с дискретным угловым перемещением ротора – шаговые двигатели. У них заданное положение ротора фиксируется подачей питания на соответствующие обмотки. Переход в другое положение осуществляется путём снятия напряжения питания с одних обмоток и передачи его на другие. Ещё один вид синхронных двигателей – вентильный реактивный электродвигатель, питание обмоток которого формируется при помощи полупроводниковых элементов.

По количеству фаз двигатели переменного тока подразделяются на *однофазные* (запускаются вручную, или имеют пусковую обмотку, или же фазосдвигающую цепь), *двухфазные (в том числе конденсаторные)*, *трёхфазные*;

Универсальный коллекторный электродвигатель – коллекторный электродвигатель, который может работать и на постоянном токе и на переменном токе. Изготавливается только с последовательной обмоткой возбуждения на мощности до 200 Вт. Обмотка возбужде-

ния включается частично при переменном токе и полностью при постоянном. Применяется в бытовых аппаратах, электроинструментах.

Наиболее распространенными в настоящее время являются асинхронные электродвигатели, в которых частота вращения ротора отличается от частоты вращающего магнитного поля, создаваемого питающим напряжением. Их производство составляет до 90% от общего числа электродвигателей, выпускаемых в мире.

10.2. Устройство асинхронных двигателей

Современные трёхфазные асинхронные двигатели. получили широкое применение в качестве привода различных машин и механизмов.. По конструктивному исполнению асинхронный электродвигатели бывают с короткозамкнутым и фазным ротором. Изобретение в 1889 году русским ученым и инженером Доливо-Добровольским асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором совершило поистине технический переворот в области преобразования электроэнергии в механическую. Благодаря своей простоте, низкой стоимости и высокой надёжности асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором стал самым распространенным электродвигателем, используемым в промышленности.

Основными частями асинхронного двигателя, устройство которого представлено на рис. 10.1 являются статор и ротор.

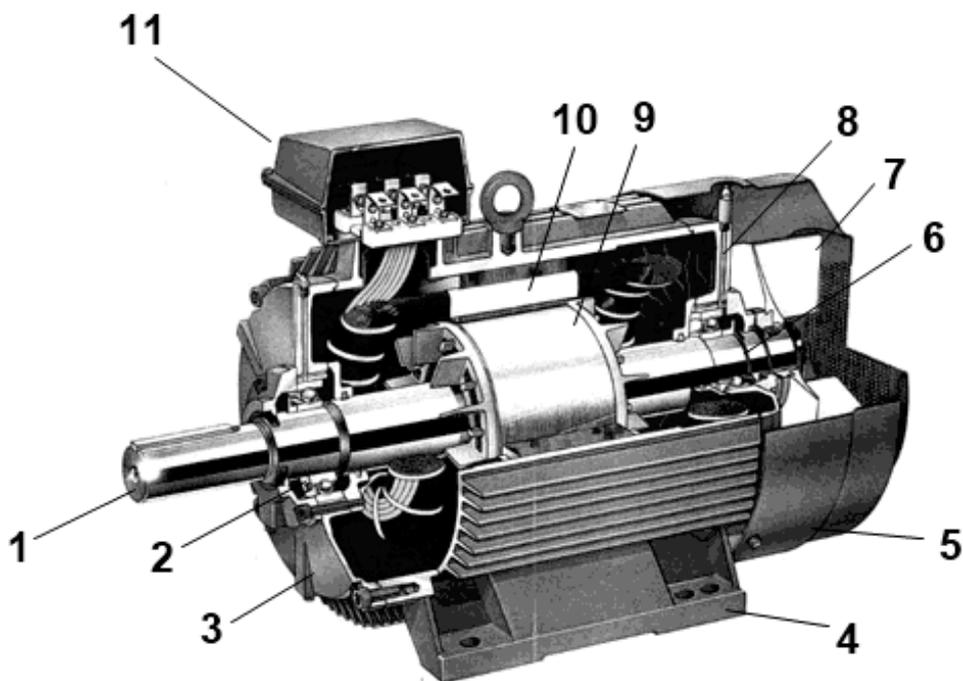


Рис. 10.1. Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором:

1 – вал; 2, 6 – подшипники; 3 – подшипниковые шиты;
 4 – опорные лапы; 5 – кожух вентилятора; 7 – крыльчатка венти-
 лятора; 9 – короткозамкнутый ротор; 10 – статор; 11 – коробка

ВЫВОДОВ

Статор имеет цилиндрическую форму, и собирается из листов стали. В пазах сердечника статора уложены обмотки статора, которые выполнены из обмоточного провода. Оси обмоток сдвинуты в пространстве относительно друг друга на угол 120° . В зависимости от подаваемого напряжения концы обмоток соединяются треугольником или звездой.

Короткозамкнутый ротор (рис. 10.2.) представляет собой сердечник, набранный из листов стали. В пазы этого сердечника заливается расплавленный алюминий, в результате чего образуются стержни, которые замыкаются накоротко торцевыми кольцами. Эта конструкция называется "беличьей клеткой". В двигателях большой мощности вме-

сто алюминия может применяться медь. Беличья клетка представляет собой короткозамкнутую обмотку ротора, откуда собственно название.

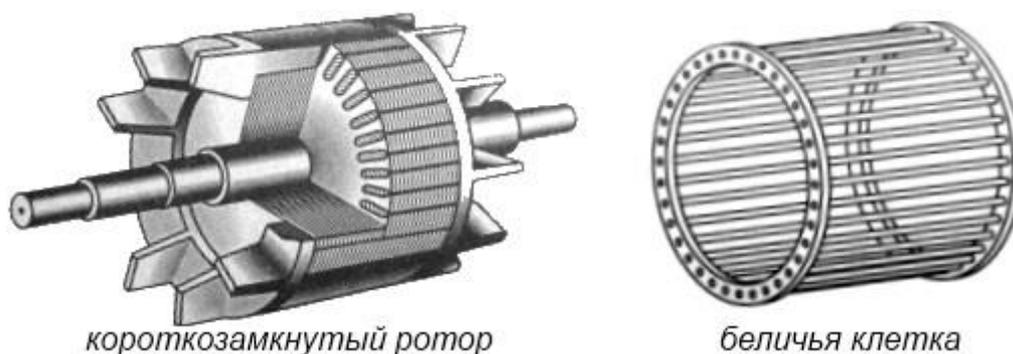


Рис. 10.2. Короткозамкнутый ротор с обмоткой

При подаче к обмотке статора напряжения, в каждой фазе создаётся магнитный поток, который изменяется с частотой подаваемого напряжения. Эти магнитные потоки сдвинуты относительно друг друга на 120° , как во времени, так и в пространстве. Результирующий магнитный поток оказывается при этом вращающимся. Этот вращающийся магнитный поток индуцирует в обмотке ротора ЭДС. Так как обмотка ротора, имеет замкнутую электрическую цепь, в ней возникает ток, который взаимодействуя с магнитным потоком статора, создаёт крутящий момент на валу ротора в направлении вращения магнитного поля статора.

При этом вращающийся момент может возникнуть только в том случае, если существует разность частот вращения магнитного поля статора и частоты вращения ротора. Это рассогласование частот вращения магнитного поля статора и частоты вращения ротора называют скольжением. Скольжение s рассчитывается по формуле

$$s = \frac{(n_1 - n_2)}{n_1} \cdot 100 \%,$$

где n_1 – частота вращения магнитного поля статора и n_2 – частота вращения ротора.

Скольжение это крайне важная величина. В начальный момент времени оно равно 100 %, но по мере возрастания частоты вращения ротора оно становится меньше, вследствие чего уменьшаются ЭДС и ток в проводниках ротора, что влечёт за собой уменьшение вращающего момента. В режиме холостого хода, когда двигатель работает без нагрузки на валу, скольжение минимально, но с увеличением нагрузки оно возрастает до величины $s_{кр}$ - критического скольжения. Если двигатель превысит это значение, то может произойти так называемое опрокидывание двигателя, и привести в последствии к его нестабильной работе. Значения скольжения для асинхронных двигателей общего назначения составляет в номинальном режиме 1 ... 8 %. Одним из достоинств асинхронного двигателя является возможность его работы от однофазной сети, для чего достаточно подключить фазосдвигающий конденсатор. Асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором наряду с очевидными достоинствами имеют и ряд недостатков, к числу которых относится большой пусковой ток и малый пусковой момент, а также невозможность регулирования частоты вращения ротора без использования частотных преобразователей.

Существенно лучшие пусковые и регулировочные свойства имеют асинхронные двигатели с фазным ротором, которые используются в случаях, когда необходимо обеспечить плавный пуск при большой нагрузке и требуется большая мощность двигателя.

Асинхронный двигатель с фазным ротором имеет ротор с трёхфазной обмоткой, которая практически не отличается от обмотки статора (рис. 10.3.). В большинстве случаев концы обмоток фазного ротора соединяются в звезду, а свободные концы подводятся к контактными кольцам, вращающиеся вместе с валом машины. С помощью металлографитовых щёток, скользящих по этим кольцам, в цепь обмотки ротора включается дополнительный регулируемый резистор – реостат.

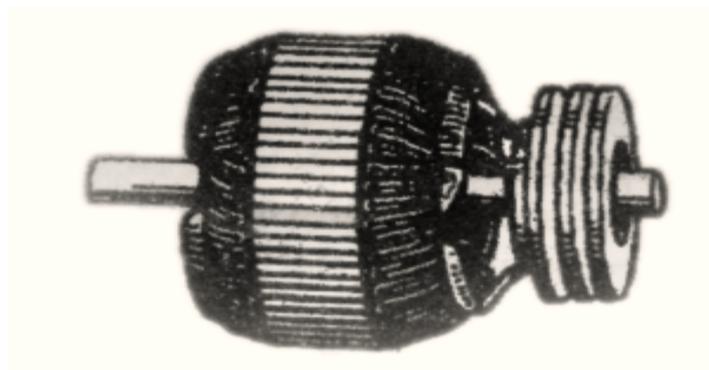


Рис. 10.3. Фазный ротор асинхронного двигателя

Включение пускорегулирующего реостата позволяет снизить пусковой ток и добиться увеличения пускового момента. По мере набора оборотов двигателя сопротивление реостата постепенно уменьшают и при достижении номинальной частоты вращения пусковой реостат замыкают накоротко. При включении в цепь регулируемого реостата, рассчитанного на длительную нагрузку током ротора можно плавно изменять частоту вращения ротора в пределах от номинальной до полной остановки. При этом для снижения оборотов необходимо постепенно увеличивать сопротивление реостата. Недостатком такого способа регулирования являются относительно большие потери энергии.

Асинхронный двигатель с фазным ротором имеет лучшие пусковые и регулировочные свойства, однако ему присущи большие масса, размеры и стоимость, чем асинхронному двигателю с короткозамкнутым ротором.

В бытовой технике широко применяются однофазные двигатели, которые используются также в деревообрабатывающих станках, на транспортерах, в компрессорах и насосах. Мощность однофазных электродвигателей может быть от десятков ватт до нескольких киловатт. Их преимущество – возможность использования в помещениях, где нет трехфазной сети. По конструкции они не сильно отличаются от электродвигателей асинхронных трехфазного тока.

В статоре однофазного двигателя находятся две обмотки, расположенные под углом 90° друг к другу. Одна из обмоток – основная или рабочая занимает $2/3$ пазов в статоре, а другая – вспомогательная или пусковая занимает $1/3$ пазов. Ротор имеет короткозамкнутую обмотку в виде беличьей клетки, которая образована стержнями из алюминия или меди, замкнутых с торцов кольцами. Пространство между стержнями заливается алюминиевым сплавом. Ротор может быть выполнен также в виде полого ферромагнитного или немагнитного цилиндра. Магнитное поле, создаваемое одной рабочей обмоткой, является пульсирующим не вращающимся и не может создать начального пускового момента. Для обеспечения запуска двигателя используется пусковая обмотка, которая соединяется последовательно с конденсатором или катушкой индуктивности. Благодаря подключению пусковой обмотки обеспечивается фазовый сдвиг, и статором создается вращающийся магнитный поток, который индуцирует ток в обмотке ротора. Взаимо-

действие вращающегося магнитного поля, создаваемого токами в обмотках статора и индукционным током в роторе, приводит во вращение ротор. После того как ротор двигателя разгонится до частоты вращения, близкой к установившейся, пусковую обмотку отключают.

11. Преобразование электрической энергии в теплоту

Теплота является наиболее востребованным видом энергии на перерабатывающих предприятиях и пищевых производствах. Источниками тепловой энергии может служить химическая энергия топлива, теплота теплоносителей, поступающих на предприятие, а также электроэнергия.

Получение теплоты с использованием электроэнергии возможно по двум принципиально разным схемам:

- **по схеме прямого преобразования**, когда электрическая энергия (энергия различных форм движения заряженных частиц в электрическом поле) преобразуется в тепловую (энергию тепловых колебаний атомов и молекул веществ);
- **по схеме косвенного преобразования**, когда электрическая энергия непосредственно в тепловую не преобразуется, а используется для переноса теплоты от одной среды (источника теплоты) к другой (потребителю теплоты), причем температура источника может быть ниже температуры потребителя (при использовании тепловых насосов).

Преобразование электрической энергии в тепловую осуществляется с помощью теплогенерирующих устройств (ТГУ), которые различаются по принципу действия и конструктивным признакам. Клас-

сификация основных видов электрических ТГУ в зависимости от принципа действия приведена в таблице 11.1.

Таблица 11.1

Классификация электрических ТГУ по принципу действия

Нагрев электрическим током (резистивный)	Нагрев током при его прохождении через жидкости и металлы и металлические проводники.
Инфракрасный нагрев (ИК-нагрев)	Нагрев лучистым потоком, излучаемым ИК-нагревателем
СВЧ-нагрев	Нагрев за счет поворота диполей (полярных молекул продукта) электрическим полем, генерируемым магнетроном
ТВЧ-нагрев	Нагрев металлов вихревыми токами, генерируемыми индуктором

В зависимости от класса нагреваемых материалов (проводники, полупроводники, диэлектрики) и способов возбуждения в них электрического тока или поля различают следующие способы электрического нагрева: *сопротивлением* (резистивный), *электродуговой*, *индукционный*, *диэлектрический*, *электронный*, *световой* (лазерный).

Сами способы электрического нагрева могут быть *прямыми* или *косвенными*.

При прямом нагреве электроэнергия преобразуется в тепловую в самой нагреваемой среде (теле), в которой возбуждается электрический ток (те или иные формы движения заряженных частиц).

При косвенном нагреве преобразование электрической энергии в тепловую происходит в специальных преобразователях – электрических нагревателях, а затем уже от них путем теплопроводности, конвекции, излучения или комбинацией этих способов передается нагреваемой среде.

Электронагреватели *с электролитом*, греющей средой которых является жидкость (электролит), используют в электродных пищеварочных котлах. Электролит – это вещество, которое ионизируется в растворителе, создавая электропроводящую среду. В пищеварочных котлах имеется камера, заполненная водным раствором соды (электролит) и два электрода. При включении электродов в электрическую цепь положительные и отрицательные ионы начинают поляризоваться и двигаться к противоположно заряженным электродам. Возникающий при этом электрический ток из-за наличия сопротивления движению ионов приводит к выделению теплоты и нагреву электролита. Электроды выполняются в виде пластин прямоугольной формы. Интенсивность нагрева среды зависит от площади поверхности погружения электродов в электролит, расстояния между электродами, удельного сопротивления электролита и силы тока между электродами. Нагреватели на базе электродов отличаются от других видов нагревателей простотой конструкции, долговечностью и высокой надежностью в случае снижения уровня электролита в камере нагрева.

Электронагреватели с *металлическим сопротивлением* по конструктивному оформлению делятся на *открытые, закрытые* (с доступом воздуха к спирали) и *герметически закрытые* (без доступа воздуха к спирали).

К *открытым электронагревателям* относится спираль, уложенная в канавки керамических плиток, подвешенная на фарфоровых изоляторах или заключенная в керамические бусы. Основным видом передачи теплоты от спирали к нагреваемой среде – излучение.

К достоинствам открытых нагревателей относятся простота изготовления, удобство замены спирали, малая тепловая инерция, высокий КПД.

Среди недостатков открытых нагревателей следует выделить малый срок службы из-за возможного попадания жидкостей на поверхность и постоянного контакта с кислородом воздуха; возможность внешнего механического повреждения и межвитковых замыканий при удлинении спирали в нагретом состоянии; повышенная опасность поражения током и пожароопасность. Из-за отмеченных недостатков открытые нагреватели в тепловом оборудовании не используются.

Закрытые электронагреватели представляют собой спираль, запрессованную в электроизоляционный материал, имеющий высокую теплопроводность. Конфорки, отлитые из серого чугуна, с внутренней стороны имеют спирально расположенные каналы. В эти каналы и запрессовывается спираль с диэлектрической массой (рис. 11.1).

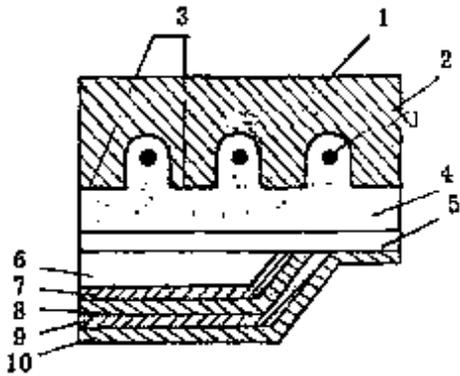


Рис. 11.1. Устройство закрытых
электронагревательных элементов
(конфорок):

1 – конфорка; 2 – спираль; 3 – стенки па-
зов; 4 – изоляционная масса; 5 – экрани-
рующий лист; 6 – воздушная прослойка;
7,9 – фольга; 8 – листовый асбест; 10 – ме-
таллический лист

Спираль изготовлена из нихромовой проволоки. Корпус конфорки защищает спираль от механических повреждений, но не защищает от доступа воздуха. Такие электронагреватели применяются в конфорках электроплит.

Достоинством закрытых нагревательных элементов являются их высокая надежность и долговечность по сравнению с открытыми нагревателями.

Недостатки в конструкции закрытых нагревателей следующие: быстрый перегрев поверхности конфорки и ее коробление при снятой наплитной посуде; необходимость использования посуды только с утолщенным дном для обеспечения хорошего контакта с поверхностью конфорки; постоянный контакт спирали с кислородом воздуха, что приводит к уменьшению диаметра спирали нихромовой проволоки и снижению рабочего ресурса.

В тепловом оборудовании предприятий наиболее широкое применение нашли *герметически закрытые* электронагреватели, к которым относятся *ТЭНы* (трубчатые электронагреватели) и *РЭНы* (ребристые электронагреватели). РЭНы отличаются от ТЭНов только наличием наружного оребрения, которое позволяет увеличить коли-

чество тепла, передаваемого с поверхности РЭНа нагреваемой среде. Их применяют в тепловых пекарских шкафах.

ТЭНы в зависимости от вида нагреваемой среды подразделяются на воздушные, водяные и масляные и должны эксплуатироваться только в той среде, для которой они предназначены. Они имеют трубчатый герметичный металлический корпус, внутри которого размещена проволочная нагревательная спираль. Между спиралью и стенками корпуса имеется слой электроизоляции из кварцевого песка или периклаза (порошок оксида магния), обладающих хорошей теплопроводностью. Для подвода тока к спирали используют контактные стержни, к которым крепятся провода от питающей электросети

По сравнению с открытыми и закрытыми электронагревателями ТЭНы имеют следующие преимущества: большой срок службы (до 10 000 ч); высокую защищенность спирали; удобство монтажа и замены; возможность изготовления сложной геометрической формы.

К недостаткам ТЭНов следует отнести сложную технологию их изготовления и неремонтопригодность.

Инфракрасный нагрев (ИК-нагрев) осуществляется ИК-генераторами. В зависимости от длины волны ИК-генераторы делятся на "светлые" (в спектре которых имеется видимое излучение) и "темные". К "светлому" типу генераторов относятся кварцевые инфракрасные излучатели и излучатели с йодным наполнителем марки КИ и КИО.

В генераторах типа КИ (кварцевый излучатель) в качестве тела накала служит вольфрамовая проволока, которая находится в кварцевой герметичной трубе и нагревается до температуры 2100...2500 °С.

Имеются ИК-нагреватели, у которых хромоникелевая спираль помещена в негерметичную кварцевую трубку. Температура нагрева спирали составляет 1050...1300 °С. Срок службы ИК-нагревателей до 5000 ч.

К "темным" относят такие излучатели, которые не содержат видимого излучения, температура нагрева которых составляет 400...750°С. К этому типу генераторов относятся ТЭНы и силитовые электронагреватели (СЭНы). Силитовые нагреватели представляют собой карборундовые стержни (карбид кремния). Карборунд хорошо выдерживает температуру до 1400... 1450°С и, следовательно, может обеспечить работу электрических печей до 1350-1400°С.

При *СВЧ-нагреве* используются магнетроны, которые преобразуют электрическую энергию в высокочастотное электрическое поле. Для предприятий общественного питания принята частота электрического поля 2375 - 2450 МГц. Принцип работы СВЧ-аппарата заключается в следующем: магнетрон, создавая электрическое поле, направляет его по волноводу в рабочую камеру, в которой размещен продукт, содержащий воду (вода является диполем). Наличие внешнего электрического поля приводит к появлению вращающего момента, действующего на диполь. При повороте диполей возникают силы трения, которые превращаются в тепло. Поскольку поляризация диполей происходит по всему объему продукта, что вызывает его нагрев, этот вид нагрева также называют объемным. СВЧ-нагрев называют еще и микроволновым, имея в виду короткую длину электромагнитных волн. Основным преимуществом СВЧ-нагрева является быстрота приготовления пищи при полном сохранении пищевой и

биологической ценности продукта. СВЧ-аппарат имеет высокий КПД и не оказывает отрицательных воздействий на окружающую среду.

К недостаткам СВЧ-нагрева следует отнести неоднозначность в определении времени при приготовлении сложных блюд с различным содержанием влаги каждого из компонентов, а также отсутствие на поверхности продукта поджаристой корочки в процессе приготовления.

ТВЧ-нагрев заключается в следующем. Промышленный ток частотой 50 Гц посредством трансформаторного блока преобразуется в ток высокой частоты (20–40 кГц), который создает в индукторе переменное магнитное поле. Сверху на индукторе размещают наплитную посуду с утолщенным дном из металла (сковорода, чайник и т. д.). Магнитное поле индуктора вызывает в дне наплитной посуды индуктированные токи (их называют также вихревыми или токами Фуко), которые и нагревают дно посуды. Тепло теплопроводностью или конвекцией передается содержимому наплитной посуды.

Достоинства индукционных нагревателей состоят в их высокой эффективности (КПД достигает 80%), надежности, безопасности, а также в полной автоматизации работы конфорки.

12. Электрическое тепловое оборудование

На перерабатывающих предприятиях и предприятиях пищевых отраслей, в том числе предприятиях общественного питания применяется различное оборудование с электрическими теплогенерирующими устройствами. Это оборудование можно подразделить на оборудование для производства теплоносителей, которые в свою очередь могут применяться для отопления, горячего водоснабжения или для

технологических целей, и технологические аппараты, используемые для тепловой обработки пищевых сред.

Наиболее распространенными теплоносителями являются вода, водяной пар и воздух.

Получение горячей воды и пара – один из распространенных способов использования электроэнергии на производстве. Электронагрев не только в наибольшей степени отвечает санитарно-гигиеническим требованиям, но и в ряде случаев является наиболее экономичным способом получения горячей воды и пара, не требующий затрат на транспортировку топлива, строительство и эксплуатацию котельных.

Промышленность выпускает разнообразное оборудование для нагрева воды и получения пара, которое обладает высокой надежностью и требует минимальных затрат на обслуживание.

Электрические водонагреватели и электродкотлы классифицируют по различным признакам: способу нагрева (прямой и косвенный); принципу действия (периодического и непрерывного действия); рабочей температуре; давлению; напряжению питания.

Водонагреватели работают обычно под атмосферным давлением и предназначены для получения горячей воды с температурой до 95°C . Водогрейные котлы могут работать под избыточным давлением до 0,6 МПа и получать воду с температурой выше 100°C . Электрические паровые котлы производят сухой насыщенный пар с давлением до 0,6 МПа.

Примером водонагревателя периодического действия с косвенным способом нагрева служат водонагреватели типа ЭВП.

Водонагреватель-термос - типа ВЭТ предназначен для нагрева воды до заданной температуры (от 8 до 90°C) и сохранения ее в горячем состоянии.

Водонагреватель представляет собой стальной теплоизолированный резервуар вместимостью от 200 до 1600 л, в котором размещаются ТЭНы. Водонагреватели комплектуются температурным реле и станцией управления с автоматическим выключателем и магнитным пускателем и рассчитаны на питание водой от водопроводной сети давлением не более 300 кПа. Водонагреватель питается от сети переменного тока напряжением 380 или 220 В. Если напряжение сети 380 В, нагревательные элементы соединяют «звездой», при напряжении сети 220 В их соединяют «треугольником». Необходимую температуру нагрева воды устанавливают по шкале температурного реле.

Проточные водонагреватели типа ЭВП предназначены для подогрева проточной воды во время ее непосредственного потребления. Вода может подогреваться до любой заданной температуры в пределах до 90°C.

Проточный водонагреватель типа ЭВП (рис. 12.1) представляет собой цилиндрический резервуар, закрытый теплоизолированным металлическим кожухом. Внутри резервуара вдоль его оси размещены три трубчатых нагревательных элемента (ТЭНа), которые могут быть соединены в «звезду» или «треугольник» в зависимости от напряжения сети.

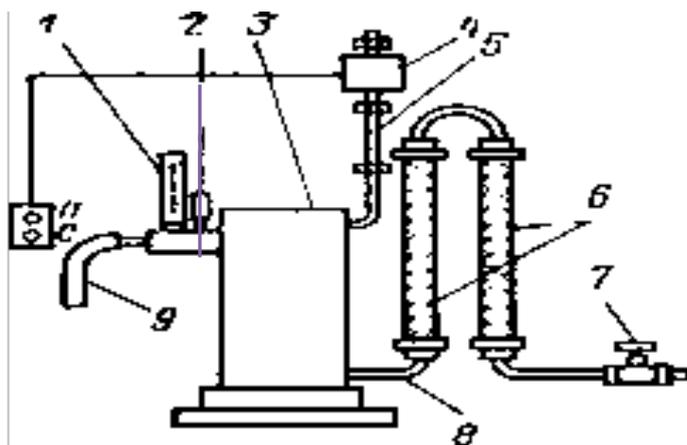


Рис. 12.1. Проточный водонагреватель типа ЭВП:

- 1 – термометр; 2 – предохранительный клапан; 3 – кожух;
 4 – магнитный пускатель; 5 – провод; 6 – вставки; 7 – кран;
 8, 9 – патрубки; П – кнопка «пуск»; С – кнопка «стоп»
 трубчатых нагревательных

Сверху на резервуар надета крышка с резиновой прокладкой. В крышке имеется шесть отверстий для вывода концов нагревательных элементов. Водонагреватель присоединяется к водопроводной сети посредством изолирующих резиновых шлангов (вставок) длиной 1 м каждый. Холодная вода из водопровода подается в резервуар через кран 6 и нижний (входной) патрубок, омывает нагревательные элементы, нагревается и выходит из резервуара через верхний патрубок. Температура нагрева зависит от количества воды, протекающей через водонагреватель в единицу времени. Чем больше протечет воды, тем ниже будет ее температура. Поэтому температуру нагреваемой воды регулируют вентилем, уменьшая или увеличивая подачу воды в резервуар. На верхнем патрубке установлены термометр и предохранительный клапан, который служит для предотвращения возможности взрыва при интенсивном парообразовании (например, в случае прекращения притока воды).

Для включения водонагревателя необходимо открыть вентиль и пустить воду из водопровода в резервуар, а потом включить нагревательные элементы в электрическую сеть.

Электродные водонагреватели работают по способу прямого нагрева, когда вода нагревается протекающим по ней током, подводимым при помощи электродов. Электродные водонагреватели по сравнению с элементными системами (использующие ТЭНы) более просты, дешевы и долговечны.

Электродные водогрейные и паровые котлы просты по конструкции, обеспечивают высокие энергетические показатели и надежность. Они выпускаются на низкое напряжение (0,4 кВ) и высокое – 6...10 кВ. Мощность котлов может составлять от 25 до 10000 кВт.

Для нагрева воздуха в системах приточной вентиляции помещений могут применяться *электрокалориферные установки*. Их можно также использовать для нагрева агента сушки в конвективных сушилках. На рис. 12.2. представлен общий вид электрокалориферной установки типа СФОА.

Нагрев воздуха в электрокалориферах осуществляется трубчатыми нагревательными элементами, оребренными алюминием. Применяются также открытые нагревательные элементы. Нагревательные элементы установлены в камере нагрева на пути движения воздуха. Мощность (теплопроизводительность) электрокалориферной установки регулируют за счет количества устанавливаемых нагревательных элементов. Температуру нагретого воздуха при постоянном числе элементов можно изменять, варьируя производительность вентилятора.

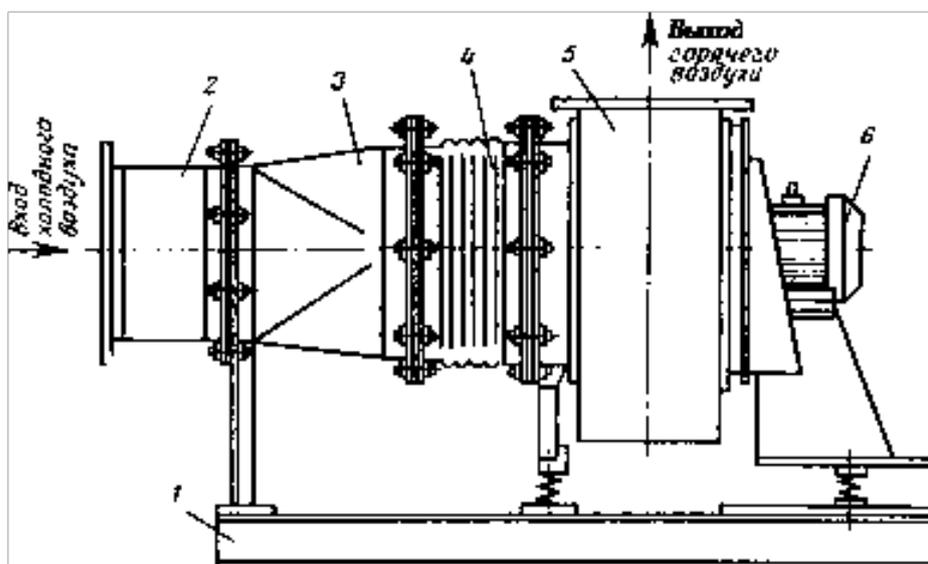


Рис. 12.2. Калориферная установка типа СФОА:

1 – рама; 2 – патрубок; 3 – электрокалорифер;
4 – мягкая вставка; 5 – вентилятор; 6 - электродвигатель

Приведенная на рисунке установка состоит из электрокалорифера, центробежного вентилятора, электродвигателя и шкафа с аппаратурой автоматического управления. Калориферы этого типа выпускают мощностью от 5 до 100 кВт на напряжение 380/220 В. Наряду с электрокалориферами СФОА выпускаются электрокалориферы и других типов.

На предприятиях пищевой отрасли, в том числе на предприятиях общественного питания, эксплуатируется разнообразное технологическое оборудование для тепловой обработки пищевых продуктов, в котором используются электрические теплогенерирующие устройства. Примерами такого оборудования могут служить:

- электроплиты;
- жарочные шкафы;
- пекарские шкафы;

- пищеварочные котлы;
- электрогрили;
- конвекционные печи;
- пароконвекционные печи и пароконвектоматы.

Названные виды оборудования отличаются назначением, конструктивными особенностями, типом используемых электронагревательных элементов, техническими и технологическими характеристиками.

К преимуществам электрического теплового оборудования относится возможность точного учета расхода энергии, простота и надежность управления электротепловыми аппаратами, хорошие санитарно-гигиенические условия на производстве, относительно высокий КПД оборудования.

Широкое применение на предприятиях пищевой отрасли находят *электрические пищеварочные котлы*. Принципиальная конструктивная схема электрического пищеварочного котла приведена на рис. 12.3.

Котел состоит из варочного сосуда 6 и корпуса (наружного котла) 4, соединенных между собой сваркой. Пространство между ними образует греющую камеру – пароводяную рубашку 2. В нижней части рубашки располагается парогенератор 1, в котором вырабатывается водяной пар, заполняющий рубашку котла. Нагревательными элементами в парогенераторе являются ТЭНы. Наружный котел покрывается тепловой изоляцией 3, которая сверху покрывается кожухом 5. Сверху котлы имеют крышку 7, которая может быть герметично закрывающейся, либо негерметичной.

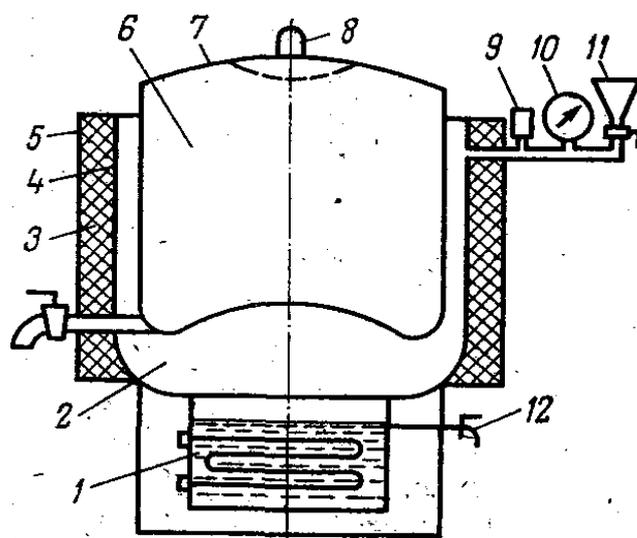


Рис. 12.3. Электрический пищеварочный котел:

1 – парогенератор; 2 – пароводяная рубашка; 3 – теплоизоляция; 4 – корпус; 5 – кожух; 6 – варочный сосуд; 7 – крышка; 8 – клапан-турбинка; 9 – предохранительный клапан; 10 – электроконтактный манометр; 11 – наполнительная воронка; 12 – кран уровня

В настоящее время электрические пищеварочные котлы марки КПЭ, схема которого приведена на рис. 14.3. выпускаются емкостью 40, 60, 100, 160 и 250 л. Котлы емкостью 40 и 60 л являются опрокидывающимися, а емкостью 100, 160 и 250 л – неопрокидывающимися. Выпускаются также котлы со съемным варочным сосудом (котлы марки УЭВ-40 и УЭВ-60).

Рассматриваемые котлы относятся к оборудованию с косвенным обогревом. Они снабжены контрольно-измерительными приборами и арматурой, к которой относятся: двойной предохранительный клапан 9, манометр 10, наполнительная воронка 11, кран уровня 12 и клапан-турбинка 8.

В хлебопекарном и кулинарном производстве достаточно широко применяются *конвекционные печи*. Свое название оборудование получило за счет принципа действия – конвекции. Конвекцией называют перемешивание воздуха, нагретого до определенной температуры. Перемешивание и распределение воздуха в конвекционных печах осуществляется принудительно. Принудительная конвекция в рабочей камере обеспечивается одним или несколькими вентиляторами, устанавливаемыми на задней стенке камеры. Благодаря циркуляции, горячий воздух со всех сторон воздействует на продукт, что позволяет исключить вероятность получения сырой или подгоревшей продукции. У больших производств популярностью пользуется конвейерная конвекционная печь, поскольку она позволяет поставить изготовление блюд на поток. Конвейерная печь выдает готовые продукты и, сразу же после освобождения камер заполняет их следующей партией. Конвейерная печь чаще всего встречается на хлебопекарных заводах.

Печи с конвекцией обладают целым рядом преимуществ, в числе которых:

- Экологичность. Печь с конвекцией является безопасным оборудованием, приготовление в которой не наносит вред человеку или окружающей среде.
- Высокая скорость нагрева и поддержание заданной температуры при меньших энергозатратах.
- Ускоренный процесс приготовления. В сравнении с традиционными печами и другим тепловым оборудованием, конвекционные печи позволяют сократить энергозатраты и время приго-

товления пищи. Продукты готовятся в них на 15% быстрее, чем в духовых печах или на печках.

- Небольшой расход электроэнергии. Дополнительная экономия электроэнергии достигается за счет быстрого включения агрегата в рабочий режим при полном отсутствии потребления электричества между рабочими циклами.
- Конвекционная печь позволяет готовить полезную пищу, в частности, делать мясные блюда менее жирными. При этом в доведенных до готовности продуктах, в большей степени, чем при других способах тепловой обработки, сохраняются полезные минералы и витамины.
- Равномерное приготовление. Здесь исключен вариант, когда блюдо пригорает или снаружи становится готовым, а внутри остается сырым. За счет равномерной циркуляции горячего воздуха обеспечивается высокое качество продукции.
- Компактные размеры. Конвекционные печи для соответствующих показателей производительности имеют небольшие габариты. Существуют мини модели конвекционных печек. Мини печки служат для небольших производств, фастфудов и мобильных палаток, где готовят еду.

Следует отметить, что при всех перечисленных преимуществах конвекционные печи имеют вполне демократичные цены.

В последнее время в кулинарном производстве и на предприятиях общественного питания в качестве технологического оборудования все большее применение находят пароконвекционные печи и пароконвектоматы.

Пароконвекционные печи относятся к профессиональному тепловому оборудованию. Работа пароконвекционной печи основана на использовании процессов конвекции и образования пара.

Конвекция появляется внутри рабочей камеры печи за счет циркуляции нагретого воздуха, который движется благодаря работе вентилятора. Благодаря герметичности рабочей камеры печи, вентилятор постоянно втягивает воздух и прогоняет сквозь ТЭНы, обеспечивая быстрый эффективный нагрев рабочей зоны агрегата. Контроль заданной температуры осуществляется термостатом, отключающим и включающим ТЭНы по мере надобности. Современная конвекционная печь может содержать два типа ТЭНов: кругообразный или прямой. Первый обеспечивает лучший теплоотвод и, соответственно, более быстрый нагрев циркулирующего воздуха.

По способу парообразования выделяются два вида печей:

- Бойлерные печи со встроенным парогенератором;
- Инжекционные печи, в которых пар образуется путем непосредственного впрыска воды на трубчатый электронагревательный элемент печи.

Бойлерная система предусматривает установку бойлера, выполненного в виде ёмкости с водой, внутри которой находится нагревательный элемент. После быстрого нагрева и закипания горячий пар через специальный клапан поступает в рабочую камеру. Бойлерная система парообразования позволяет более просто и точно регулировать количество пара для поддержания необходимого технологического режима в рабочей камере.

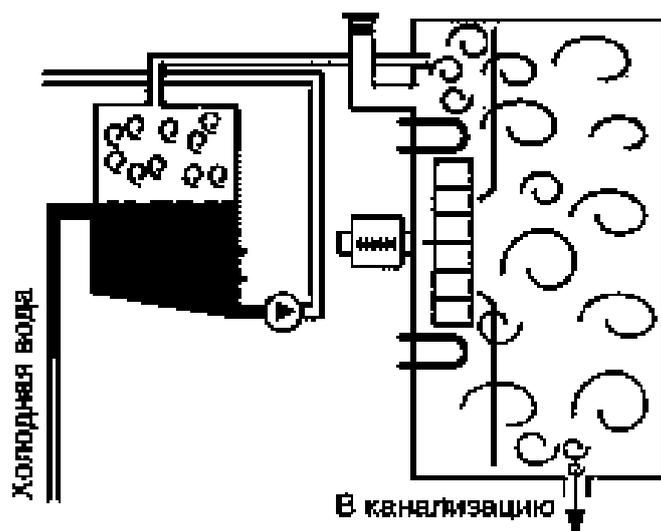


Рис. 12.4. Схема бойлерной системы парообразования

Недостатком бойлерной пароконвекционной печи является большие габариты и высокая цена по сравнению с инжекционной печью.

В инжекционной системе парообразования установлена специальная турбина, в центр которой через наибольшую трубочку подаётся вода. Вихревой поток турбины диспергирует воду на мельчайшие частицы, которые направляются к ТЭНам, испаряются и наполняют паром рабочую камеру. Отработанный пар скапливается в водосборном коллекторе, где под воздействием холодной воды, поступающей в аппарат, охлаждается и выводится в канализационную систему.

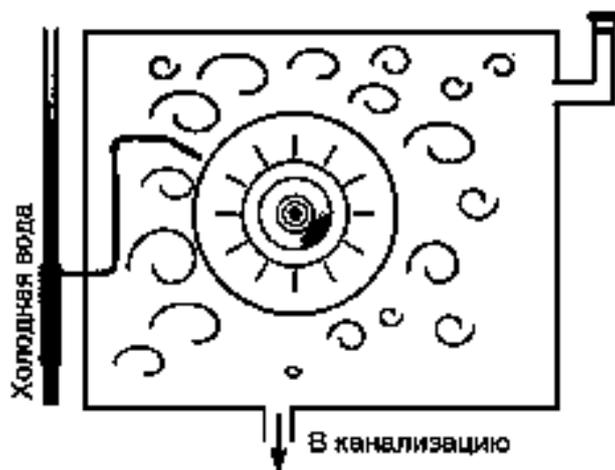


Рис. 12.5. Схема инжекционной системы парообразования

Одним из основных недостатков инжекционных пароконвекционных печей является то, что температура пара в таком аппарате всегда равна 100°C, что отражается на функциональности оборудования. Кроме того, они имеют меньшую паропроизводительность, необходимость установки смягчающих воду фильтров, что усложняет монтаж оборудования и требует дополнительных финансовых затрат, накопление небольшого известкового налета на стенках рабочей камеры.

В настоящее время большинство мировых производителей осуществляют выпуск, как бойлерных, так и инжекторных моделей аппаратов. Бойлерные аппараты стоят намного дороже инжекторных, но последние при этом мало чем уступают им в плане практичности и качества приготавливаемых блюд.

Кроме способа парообразования, конвекционные печи классифицируются по типу управления и вместимости.

Управление пароконвекционной печью может быть механическим и электронным. В первом случае регулировка осуществляется рукоятками, задающими необходимые параметры. Это простые и надежные печи, но в них отсутствует функция автоматической регулировки влажности.

Автоматическая регулировка может осуществляться одним из трех способов:

- Фиксированный уровень влажности. Данный способ применяется лишь в самых дешевых моделях печей.
- Регулируемая влажность в камере с шагом 5%. Это более дорогое конструктивное решение, позволяющее достичь хороших результатов.
- Автоматический контроль параметров при помощи электронных датчиков.

Для приготовления продуктов в пароконвекционных печах предусмотрены специальные гастрономические емкости. Благодаря их съемной конструкции персонал может легко проводить обслуживание и обработку рабочей камеры. Кроме того, конструкция печи позволяет применять для загрузки продуктов в печь специальные тележки.

Вместимость печи подразумевает максимально возможное количество гастрономических емкостей, входящих в рабочую камеру печи. По этому параметру различают три группы печей: малые (до 6), средние (до 12) и большие (до 20 емкостей).

В первых моделях пароконвекционных печей предусматривалось всего три режима работы:

- конвекция (жарка, выпечка, гриль);
- пар (бланширование, тушение);
- комбинированный режим (этот режим предусматривает одновременное использование пара и горячего воздуха) (комбинированная жарка, комбинированное тушение, комбинированная выпечка).

Современные печи предлагают кроме вышеперечисленных режимов еще три:

- низкотемпературный пар;
- форсированный пар;
- разогрев (регенерация).

Возможности печей постоянно растут, сопровождаясь новыми функциями. Чтобы легко создать хрустящую корочку можно использовать функцию «мгновенный вывод пара». Для выпечки деликатесных тортов предусмотрена функция работы со сниженной скоростью вентилятора. Такое расширение функционала пароконвекционной печи сделало ее самым востребованным и универсальным оборудованием на профессиональной кухне.

Пароконвекционные печи сильно облегчают труд повара и имеют множество преимуществ по сравнению с традиционными способами приготовления пищи. Развитие микропроцессоров и робототехники позволяет производителям постоянно совершенствовать аппараты, добиваясь полной автоматизации их работы и расширения функционала. Такие аппараты получили название пароконвектоматов.

Современный *пароконвектомат* представляет собой многофункциональный аппарат, который способен заменить свыше 40% имеющейся в мире теплового оборудования, используемого для тепловой обработки продуктов. Доля выполняемых им задач еще больше и равна 70% от всех функций, относящихся к тепловой обработке продуктов. При помощи пароконвектомата имеется возможность и тушить, и запекать, и жарить, и варить на пару, и бланшировать. Применима эта техника и для таких целей, как расстаивание теста и разморозка полуфабрикатов.



Рис. 12.6. Пароконвектомат Rational SCC 101

Блюда, приготовленные с применением пароконвектомата, отличаются высокими вкусовыми качествами и повышенной пользой для организма, так как в них сохраняется максимальное количество полезных питательных веществ. Кроме этого, значительно снижаются потери продуктов в процессе тепловой обработки.

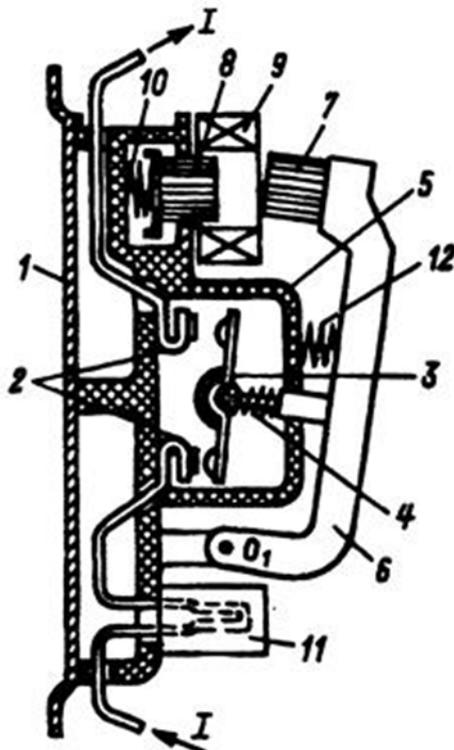
В пароконвектомате можно одновременно готовить разные блюда. Единственное условие – одинаковая температура и время приготовления. Немаловажно то, что запахи при этом не смешиваются, даже если на соседних полках будут выпекаться круассаны и готовиться рыба. Дело в том, что при создающейся тепловой обработке продукты почти не дают испарений и к тому же пар обволакивает продукт, не позволяя запаху распространиться. Скорость приготовления и возможность готовить одновременно несколько блюд достигается благодаря тому, что можно сочетать разные режимы пара с принудительной конвекцией.

Как правило, пароконвектоматы являются программируемыми аппаратами, позволяющими автоматизировать процесс приготовления блюд, и не требуют контроля и вмешательства со стороны повара.

Пароконвектоматы, как и большинство теплового оборудования для профессиональной кухни, изготавливаются из пищевой нержавеющей стали толщиной от 0,8мм до 1мм. Рабочая камера у большинства производителей имеет округлые углы, что существенно облегчает процесс очистки аппарата. На дне камеры имеется небольшое отверстие, предназначенное для слива конденсата в канализацию. При закрытой дверке пароконвектомата рабочая камера является полностью герметичной, что гарантирует равномерное распределение тепла

по всему объему духовки. Благодаря конструктивным особенностям, в любой точке камеры температура поддерживается на одинаковом уровне. Основными элементами аппарата, располагающимися в рабочей камере, являются вентилятор и нагревательные ТЭНы. В большинстве моделей современных пароконвектоматов используются кольцевые нагревательные элементы.

Дверка пароконвектомата имеет застекленное окно, что дает возможность визуально контролировать процесс приготовления блюда. Для уменьшения теплопотерь в процессе работы пароконвектомата и исключения возможности получения ожогов персонала в большинстве моделей для остекления дверцы пароконвектомата используются двойные или тройные термоустойчивые стекла.



Литература

1. Лещинская Т.Б., Наумов И.В. Электроснабжение сельского хозяйства. Учеб. для вузов. - М.:КолосС, 2006.
2. Кудрин Б. И. Электроснабжение промышленных предприятий. - М.: Энергоатомиздат, 1995.
3. Фролов Ю.М., Шелякин В.П. Основы электроснабжения. Учебное пособие. - СПб.: Лань,2012.
4. Справочник инженера-электрика сельскохозяйственного производства. Учебн. пособие для вузов. – М.: Информагротех, 1999.

Оглавление

Предисловие.....	3
1. Системы электроснабжения. Основные требования и принципы построения.....	4
1.1. Общие сведения о системах электрооснабжения предприятий.....	4
1.2. Требования к системам электроснабжения.....	6
1.3. Структура систем электроснабжения предприятий	9
2. Общие сведения об электричестве и электроэнергии	12
3. Источники питания	20
4. Электрические сети.....	26
5. Электрические аппараты систем электроснабжения.....	46
5.1. Трансформаторы и трансформаторные подстанции.....	47
5.1.1. Устройство и принцип действия трансформаторов	47
5.1.2. Трансформаторные подстанции	53
5.2. Коммутационные аппараты	57
5.1.1. Коммутационные аппараты свыше 1 кВ.....	58
5.1.2. Коммутационные аппараты до 1 кВ.....	62
6. Параметры режимов электрических систем.....	64
7. Короткие замыкания в системах электроснабжения.....	69
8. Автоматизация и релейная защита в системах электроснабжения.....	71
8.1. Общие сведения и требования к системе релейной защиты и автоматики.....	71

8.2. Основные принципы действия релейной защиты.....	76
8.3. Автоматические и телемеханические системы регулирования, контроля и управления	79
8.4. Классификация и устройство реле.....	80
9. Электрическое освещение.....	85
9.1. Общие сведения о природе света.....	85
9.2. Основные светотехнические величины.....	87
9.3. Освещение. Основные требования к освещению.....	90
9.4. Устройство искусственного освещения.....	92
9.5. Устройство электрических источников света.....	94
10. Преобразование электрической энергии в механическую..	104
10.1. Классификация электродвигателей.....	105
10.2. Устройство асинхронных двигателей.....	107
11. Преобразование электрической энергии в теплоту.....	113
12. Электрическое тепловое оборудование.....	120
Литература.....	137

Учебное издание

А.И. Купреенко, В.И. Чащинов, Х.М. Исаев

Теплоэнергоснабжение предприятий

РАЗДЕЛ
Электрооснабжение
и использование электроэнергии на предприятии
(Учебное пособие)

Редактор Осипова Е.Н.

Подписано в печать 14.09.2017 г. Формат 60×84 $\frac{1}{16}$
Бумага офсетная. Усл. печ. л. 8,13. Тираж 25 экз. Изд. № 5372.

Издательство Брянского государственного аграрного университета
243365, Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянский ГАУ