

ОПОРНЫЙ КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

1. Общие сведения об электрических аппаратах

1.1. Основные определения

Электрические аппараты (ЭА) – электротехнические устройства, предназначенные для различных целей: включение и отключение электрических цепей, контроль их состояния, управление, измерение и защита электрических и неэлектрических объектов.

Электротехническое устройство (ЭУ) – промышленное изделие, предназначенное для выполнения определенной функции при решении комплексной задачи производства, распределения и использования электрической энергии.

Номинальное значение параметра – указанное изготовителем значение параметра ЭУ.

Приемник электрической энергии или электроприемник (ЭП) – это устройство, предназначенное для преобразования электрической энергии в другие виды энергии (механическую, тепловую, химическую и прочие).

Потребитель электрической энергии – ЭП или группа ЭП, объединенных технологическим процессом и размещающихся на определенной территории.

Электроустановка – совокупность машин, аппаратов, линий и вспомогательного оборудования (вместе с сооружениями и помещениями, в которых они установлены), предназначенных для производства, преобразования, трансформации, передачи, распределения электрической энергии и преобразования ее в другие виды энергии.

Электрические аппараты представляют собой средства управления электрическим током. В техническом отношении к *функции управления током* относятся:

- коммутация (включение – отключение) электрического тока;
- распределение тока (электрической энергии) по объектам и потребителям;
- защита электротехнического оборудования от аварийных режимов;
- контроль параметров электрического тока;
- автоматическое и неавтоматическое регулирование электрического тока, стабилизация, изменение по заданному закону.

Электрическая цепь [ГОСТ Р МЭК 61140-2000, пункт 3.2] - Совокупность устройств или сред, через которые может протекать электрический ток.

Электрический ток [ГОСТ Р 52002-2003, пункт 8] - Явление направленного движения носителей электрических зарядов и (или) явление изменения электрического поля во времени, сопровождаемые образованием магнитного поля.

Электромагнитное поле [ГОСТ Р 52002-2003, пункт 1] - Вид материи, определяемый во всех точках двумя векторными величинами, которые характеризуют две его стороны, называемые "электрическое поле" и "магнитное поле", оказывающий силовое воздействие на электрически заряженные частицы, зависящее от их скорости и электрического заряда.

Коммутационный аппарат - Электрический аппарат, предназначенный для коммутации электрической цепи и снятия напряжения с части электроустановки (выключатель, выключатель нагрузки, отделитель, разъединитель, автомат, рубильник, пакетный выключатель, предохранитель и т.п.

Контакт электрической цепи [ГОСТ Р 52726-2007, пункт 3.35] - Часть электрической цепи, предназначенная для коммутации и проведения электрического тока.

Включенное положение контактов аппарата [ГОСТ Р 52726-2007, пункт 3.4] - Замкнутое положение контактов коммутационного аппарата, при котором обеспечивается заданная непрерывность электрической цепи и заданные контактные нажатия.

Отключенное положение контактов аппарата [ГОСТ Р 52726-2007, пункт 3.62] - Разомкнутое положение контактов контактного аппарата, при котором между ними имеется заданный изоляционный промежуток.

1.2. Режимы работы электротехнических устройств

Номинальный режим работы – режим, когда элемент электрической цепи работает при значениях тока, напряжения, мощности, указанных в техническом паспорте, что соответствует самым выгодным условиям работы с точки зрения экономичности и надежности.

Нормальный режим работы– режим, когда объект (ЭУ, ЭА, ЭП) эксплуатируется при параметрах режима, незначительно отличающихся от номинальных режимов работы (“недогруженный режим” или находящийся в пределах перегрузочной способности).

Ненормальный режим работы – параметры режима работы *кратковременно* превышают номинальный режим до двух-трех раз (во многих случаях отключать ЭУ не нужно, так как используется его перегрузочная способность в течение непродолжительного времени).

Аварийный режим работы – параметры режима (тока, напряжения, мощности) *длительно* превышают номинальные – свыше двух-трех раз. В этом случае объект обязательно должен быть отключен от сети, иначе он выйдет из строя.

1.3. Классификация электрических аппаратов

Многообразие видов аппаратов и выполняемых ими функций, совмещение в одном аппарате нескольких функций не позволяют строго классифицировать их по одному признаку. Поэтому электрические аппараты классифицируются: по назначению, по напряжению, по роду тока, по роду

защиты от попадания в электрические аппараты инородных тел, по работе в определенных климатических условиях и категории размещения.

1. По назначению:

а) коммутационные аппараты (основные функции – включение, отключение, переключение электрических цепей). Это рубильники, выключатели нагрузки, разъединители, короткозамыкатели, пакетные переключатели. Особенность данных видов аппаратов - редкое выполнение операций включения - отключения (ВО);

б) защитные аппараты (основная функция – защита электрических цепей от токов короткого замыкания и перегрузок). Это предохранители, автоматические выключатели, устройства защитного отключения (УЗО);

в) пускорегулирующие аппараты (основная функция - управление электроприводами и другими промышленными потребителями электроэнергии). Часто их называют аппараты управления (АУ). Это контакторы, пускатели, командоконтроллеры, реостаты. Особенность этих аппаратов – частое ВО (до 3600 в час, т.е. 1 раз в секунду);

г) ограничивающие аппараты (основная функция реакторов и разрядников – ограничение токов короткого замыкания и перенапряжений соответственно);

д) контролирующие аппараты (основная функция – контроль заданных электрических и неэлектрических параметров). Это реле, датчики;

е) аппараты для измерения (основная функция – изолирование цепи первичной коммутации (силовой цепи, цепи главного тока) от измерительных цепей и преобразование контролируемого параметра в форму, удобную для измерения). Это трансформаторы тока, трансформаторы напряжения, делители напряжения;

ж) регулирующие аппараты (основное назначение – автоматизация, стабилизация или регулирование заданного параметра электрической цепи).

2. По напряжению:

а) аппараты до 1000 В;

б) аппараты выше 1000 В.

В данном курсе изучаются аппараты до 1000 В.

3. По роду тока:

а) аппараты постоянного тока;

б) аппараты переменного тока промышленной частоты;

в) аппараты переменного тока повышенной частоты.

4. По роду защиты от попадания в электрические аппараты инородных тел и защиты персонала от соприкосновения с токоведущими и подвижными частями, а также от попадания влаги.

По ГОСТ 14254-96 степень защиты обозначается двумя буквами и двумя цифрами (международная классификация степени защиты):

IP X₁ X₂ (International Protection)

X_1 – степень защиты персонала, а также степень защиты изделия от попадания внутрь твердых посторонних тел (защита по “пыли”):

- 0 – защита отсутствует;
- 1 – защита от преднамеренного доступа тел диаметром не менее 52,5 мм (“ладонь”);
- 2 – защита от преднамеренного доступа тел диаметром не менее 12,5 мм и длиной 80 мм (“палец”);
- 3 – защита от преднамеренного доступа тел диаметром не менее 2,5 мм (“отвертка”);
- 4 – защита от преднамеренного доступа тел диаметром не менее 1,0 мм (“провода”);
- 5 – полная защита персонала и защита от отложения пыли;
- 6 – полная защита персонала и защита от попадания пыли.

X_2 – степень защиты изделия от попадания воды (защита по “воде”):

- 0 – защита отсутствует;
- 1 – защита от капель конденсирующейся воды;
- 2 – защита от капель;
- 3 – защита от дождя, падающего под углом 60° к вертикали;
- 4 – защита от брызг любого направления;
- 5 – защита от водяных струй;
- 6 – защита от воздействий, характерных для палубы корабля (от волн воды);
- 7 – защита от погружения в воду;
- 8 – защита от длительного погружения в воду при определенном давлении.

Примеры

- IP00 – открытое исполнение;
- IP20 – защищенное исполнение;
- IP44 – брызгозащищенное исполнение;
- IP54 – пылебрызгозащищенное исполнение;
- IP66 – пылеводонепроницаемое (морское) исполнение;
- IP67 – герметичное исполнение.

5. По работе в определенных климатических условиях и категории размещения электрических аппаратов.

С точки зрения воздействия климатических факторов поверхность земного шара делится на ряд макроклиматических районов, которые характеризуются температурой и влажностью воздуха, а также пределами их изменения во времени.

ГОСТ 15150-69 устанавливает 5 категорий размещения электрических аппаратов:

1 категория – электрические аппараты, предназначенные для работы на открытом воздухе;

2 категория – электрические аппараты, предназначенные для работы на открытом воздухе, но под навесом, в палатке, в металлическом кожухе;

3 категория – электрические аппараты, предназначенные для работы в закрытых помещениях с естественной вентиляцией без отопления;

4 категория – электрические аппараты, предназначенные для работы в закрытых помещениях с отоплением;

5 категория – электрические аппараты, предназначенные для работы в помещениях с повышенной влажностью и почве (шахты, подвалы, трюмы).

ГОСТ 15543-70 конкретизирует возможность использования электрических аппаратов в определенных климатических условиях.

Таблица 1.1

Климатические зоны

Вид зоны, район	Обозначение	
	русское	латинское
1. Зона умеренного климата	У	<i>N</i>
2. Зона умеренного и холодного климата	УХЛ	<i>NF</i>
3. Зона тропического влажного климата	ТВ	<i>TH</i>
4. Зона тропического сухого климата	ТС	<i>TA</i>
5. Зона тропического климата (сухого и влажного)	Т	<i>T</i>
6. Для всех климатических районов на суше и на море	О	<i>U</i>

Пример. Маркировка магнитного пускателя ПМА-6122У225.

Из маркировки выделяется сочетание буквы и цифры У2. Буква У (ГОСТ 15543-70) означает, что данный аппарат предназначен для работы в странах с умеренным климатом при нормальном значении температуры воздуха от -40° до $+40^{\circ}\text{C}$, при среднемесечном значении относительной влажности воздуха 80% при 20°C ; цифра 2 (ГОСТ 15150-69) – данный аппарат предназначен для работы в помещениях, имеющих свободный доступ наружного воздуха.

1.4. Классификация электроустановок

Климатические возможности работы электрических аппаратов необходимо соотносить с категориями электроустановок, которые классифицируются правилами устройства электроустановок (ПУЭ).

1. *Открытые или наружные электрические установки* – это электроустановки, которые располагаются на открытом воздухе (защищены навесом или сетчатым ограждением).

2. *Закрытые или внутренние* – это электроустановки, находящиеся в закрытых помещениях.

Помещения бывают:

а) *сухие* – относительная влажность не превышает 60% при 20°C .

Такие помещения называются *нормальными*, если в них отсутствуют условия, характерные для помещений жарких, пыльных, с химически активной средой или взрывоопасных;

б) *влажные* помещения – с влажностью не более 75% при 20°C, пары и сконденсировавшаяся влага выделяется лишь временно;

в) *сырые* – относительная влажность длительно превышает 75%;

г) *особо сырые* – относительная влажность близка к 100% (потолок, стены, пол и предметы, находящиеся в помещении, покрыты влагой);

д) *жаркие* – температура длительно (более одних суток) превышает +35°C;

е) *пыльные* – выделяется технологическая пыль, проникающая внутрь электрических аппаратов и электрических машин, они подразделяются на помещения с токопроводящей пылью и с нетокопроводящей пылью;

ж) *с химически активной или органической средой* – содержатся пары или образуются отложения или плесень и агрессивные газы, жидкости, действующие разрушающе на изоляцию и на токоведущие части.

В отношении опасности поражения людей электрическим током выделяются: *помещения с повышенной опасностью* – такие, в которых присутствует одно из следующих условий:

а) сырость и токопроводящая пыль;

б) токопроводящий пол (в том числе земляной, железобетонный, кирпичный и т.п.);

в) высокая температура;

г) возможность одновременного соприкосновения человека с металлическими корпусами электрооборудования, с одной стороны, и заземленными механическими конструкциями, с другой.

Особо опасные помещения – такие, в которых присутствуют условия:

а) особая сырость;

б) химически активная или органическая среда;

в) одновременное наличие двух или более условий повышенной опасности;

г) территория открытых электроустановок.

1.5. Требования, предъявляемые к электрическим аппаратам

Все требования направлены на обеспечение нормальной эксплуатации во всех режимах, достаточно большой срок службы, минимальные материальные затраты и отсутствие чрезмерных звуковых и световых эффектов.

Требования определяются назначением аппаратов, условиями эксплуатации, необходимой надежностью электрических аппаратов.

Надежность – основной качественный показатель для электрических аппаратов. Определяется надежностью узлов, из которых состоит электрический аппарат.

Надежность включает в себя три понятия:

1. *Безотказность* – свойство непрерывно сохранять работоспособность.

2. *Долговечность* – свойство длительно сохранять работоспособность.

Это сумма интервалов времени безотказной работы.

3. *Ремонтпригодность* – приспособленность к восстановлению работоспособности.

Рассмотрим характеристики надежности от начала эксплуатации (НЭ) до конца эксплуатации (КЭ).

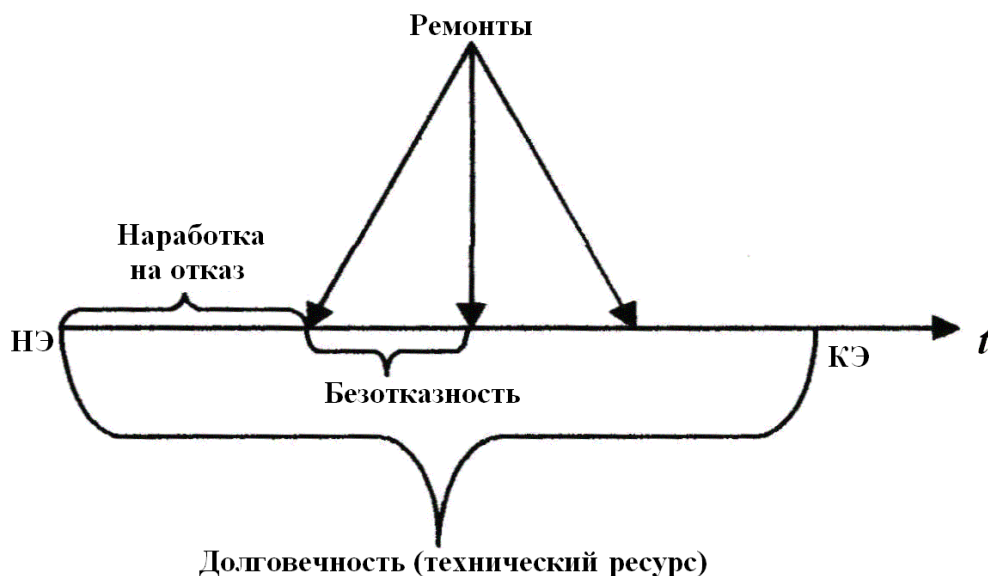


Рис. 1.1. Характеристики надежности

Отказ – состояние электрического аппарата, когда одна характеристика или группа его характеристик выходит за определенные пределы и аппарат теряет свойство работы.

Количественно надежность характеризуется интенсивностью потока отказов λ :

$$\lambda = \frac{n}{N \cdot t} \left[\frac{1}{\text{время}} \right], \quad (1.1)$$

где N – общее число однотипных наблюдаемых аппаратов за время t ;
 n – количество отказавших аппаратов.

Пример определения предполагаемого количества отказов для автоматических выключателей:

$$\lambda = 0,05 \left[\frac{1}{\text{год}} \right], \text{ тогда } n = \lambda \cdot N \cdot t = 0,05 \cdot 100 \cdot 1 = 5 \text{ аппаратов в год.}$$

Если эксплуатируются 100 штук автоматических выключателей, то 5 из них за 1 год могут отказаться.

Интенсивность потока отказов λ является справочной величиной для каждого вида ЭА и показывает, сколько аппаратов выйдет из строя за определенное время (за время t). Она не является постоянной величиной и изменяется в процессе “жизненного” цикла ЭА.

Типовая кривая надежности показана на рис. 1.2

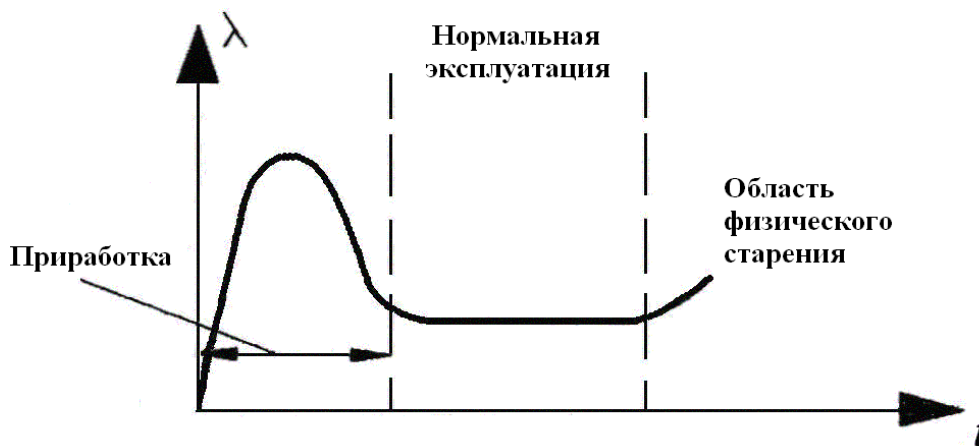


Рис. 1.2. Типовая кривая надежности

В период приработки выходит из строя наибольшее количество аппаратов.

Наиболее важные требования, предъявляемые к ЭА:

1. В нормальном режиме температура электрического аппарата не должна превосходить определенных значений, установленных для данного аппарата в техническом паспорте, т.е. должен длительное время выдерживать нагревание, происходящее за счет протекания по нему электрического тока

2. В аварийном режиме аппарат должен обладать термической стойкостью, т.е. должен кратковременно выдерживать нагревание, происходящее за счет протекания по нему электрического тока короткого замыкания и перегрузки.

3. В аварийном режиме аппарат должен обладать электродинамической стойкостью т.е. должен кратковременно выдерживать механические силы, происходящие за счет протекания по нему электрического тока короткого замыкания и перегрузки.

4. Электрическая прочность изоляции. Изоляция ЭА должна быть рассчитана на определённое напряжение в электрической сети и на некоторые его колебания, а также учитывать возможность ослабления изоляции вследствие ее загрязнения.

5. Механическая и электрическая износоустойчивость - для электрических аппаратов, предназначенных для частых циклов ВО.

6. Специфические требования в зависимости от назначения.

7. Любой электрический аппарат должен иметь минимальные габариты, массу, стоимость, быть простым по устройству, технологичным в производстве, удобным в обслуживании и удовлетворять требованиям эстетики.

1.6. Материалы, применяемые при изготовлении электрических аппаратов

1. *Проводниковые материалы* — это материалы высокой электрической проводимости (медь, сталь, алюминий, латунь), обладают удельным

электрическим сопротивлением при нормальных условиях не более $0,1 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$ и предназначены для изготовления токоведущих частей.

Требования:

- а) малое удельное электрическое сопротивление ρ ;
- б) высокая механическая прочность и пластичность;
- в) стойкость против коррозии.

2. *Магнитные материалы* – предназначены для усиления электромагнитного поля, создаваемого проводником с током.

Требования:

- а) материал должен обладать резко выраженным переходом в область насыщения;
- б) магнитная проницаемость μ должна быть минимальной после перехода в область насыщения;
- в) насыщение должно наступать при возможно малых магнитных полях.

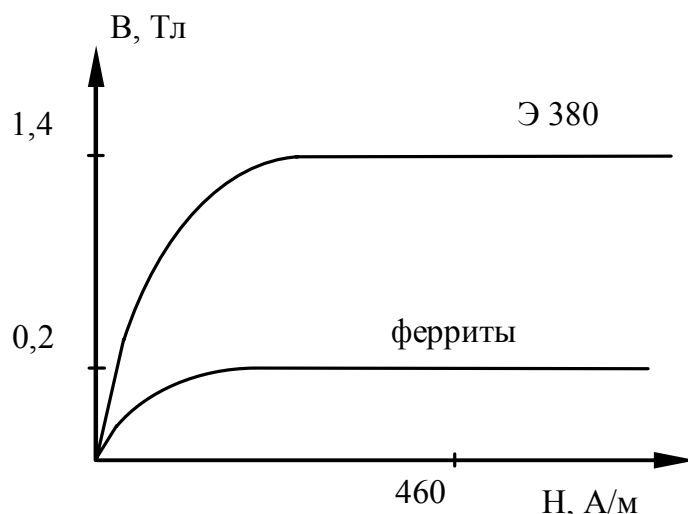


Рис. 1.3. Кривые насыщения для магнитных материалов

Кремний в магнитные материалы добавляется для увеличения удельного электрического сопротивления, что уменьшает величину вихревых токов.

Используются электротехнические стали: Э380 – сплав железа с кремнием, железо-никелевые, железо-кобальтовые стали, ферриты.

3. *Изоляционные материалы* – предназначены для изоляции токоведущих деталей ЭА друг от друга и от других частей электроаппаратов. Это электротехнический картон, лакоткань, текстолит, гетинакс, полиэтилен, эпоксидные компаунды, различные пластмассы.

Изоляция считается хорошей, если величина сопротивления изоляции составляет $R_{из} \geq 100 \text{ МОм}$. ПУЭ допускает эксплуатировать установку до 1000 В с $R_{из} \geq 0,5 \text{ МОм}$.

4. *Дугостойкие изоляционные материалы* – предназначены для выполнения дугогасительных камер. Это асбест, керамика, пластмассы.

5. *Контактные материалы* – предназначены для обеспечения высокой электрической износостойкости контактов. Медь, металлокерамика, серебро.

6. *Биметаллы* – предназначены для изготовления тепловых расцепителей. Тепловой расцепитель выполнен в виде биметаллической пластины, на которую намотана нагревательная спираль, включенная в защищаемую цепь последовательно. Используется эффект различного линейного удлинения некоторых металлов при нагревании. При увеличении тока нагрузки сверх номинального значения спираль нагревает биметаллическую пластину.

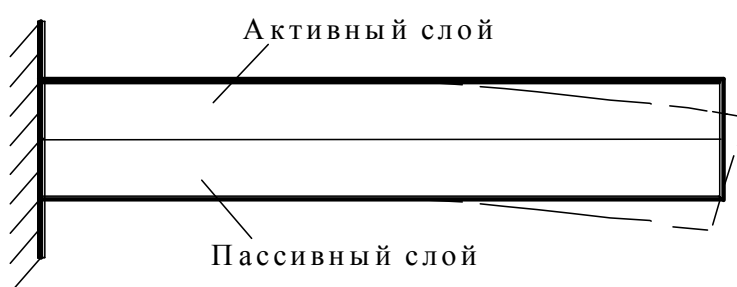


Рис. 1.4. Биметаллическая пластина

Пассивный слой – инвар (36% Ni, 64% Fe). При нагреве активный слой удлиняется в большей степени, чем пассивный слой, и биметалл изгибается, воздействуя своим окончанием на какое-либо отключающее устройство.

7. *Сплавы высокого электрического сопротивления (высокоомные сплавы)* - материалы с удельным электрическим сопротивлением при нормальных условиях не менее 0,3 мкОм·м. Это нихром, манганин.

8. *Полупроводниковые материалы* – для изготовления бесконтактных электрических аппаратов. Это германий, кремний.

9. *Конструкционные материалы.* Предназначены для придания аппарату тех или иных форм. Основное назначение – восприятие механических усилий. Это металлы, пластмассы, электротехнический картон.

Технический прогресс при производстве ЭА в основном определяется качеством материалов.