

Лекция 3

ХАРАКТЕРНЫЕ ПРИЁМНИКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Все приёмники электроэнергии характеризуются различными параметрами, а режимы их работы описываются индивидуальными графиками нагрузки. При этом с целью анализа режимов электропотребления и определения расчетных нагрузок электроприемники, схожие по назначению и роли в технологическом процессе производства, а также с похожими графиками нагрузки и их показателями, объединены в характерные группы:

- электродвигатели силовых и общепромышленных установок;
- электродвигатели производственных станков;
- осветительные электроустановки;
- электрические печи и электротермические установки;
- выпрямительные и преобразовательные установки.

1. Электродвигатели силовых и общепромышленных установок

К ним относятся компрессоры, насосы, вентиляторы, воздухоудвнвые электроустановки, подъемные и транспортные установки.

Данные электроприемники присутствуют практически на всех потребителях электроэнергии. На их долю приходится 45-60 % общего электропотребления предприятий. Мощность этих электроприемников колеблется от долей единицы до тысяч киловатт. В зависимости от мощности они снабжаются электрической энергией на напряжении от 0,22 до 10 кВ.

Режим работы таких установок, как правило, продолжительный. Исключение составляют подъемно-транспортные установки, работающие, как правило, в повторно-кратковременном режиме. Подъемно-транспортные установки используются для технологических процессов как в цехах, так и между ними (конвейеры, подъемники, краны, лифты, лебедки).

Перерыв в электроснабжении компрессоров, насосов, вентиляторов чаще всего недопустим и может повлечь за собой опасность для жизни людей, серьезное нарушение технологического процесса или повреждение оборудования. Например, прекращение подачи сжатого воздуха на машиностроительном заводе, где режущий инструмент крепится при помощи пневматических устройств, может вызвать ранения обслуживающего персонала. Прекращение электроснабжения насосной станции на металлургическом заводе может вывести из строя такую ответственную установку, как доменная печь, и причинить крупные убытки. Последствия отключения насосных установок

во время пожара не нуждаются в пояснениях. В ряде цехов прекращение питания двигателей вентиляторов может вызвать массовые отравления работающего персонала. Таких примеров можно привести большое количество. В указанных случаях установки следует относить к I категории надежности электроснабжения.

Электроприемники рассматриваемой группы, как правило, создают нагрузку равномерную и симметричную по всем трем фазам. Толчки нагрузки имеют место только при пуске. Коэффициент мощности достаточно стабилен и обычно имеет значение 0,8-0,85.

Для электропривода крупных насосов, компрессоров и вентиляторов могут применяться синхронные двигатели, работающие с опережающим коэффициентом мощности.

Для подъемно-транспортных устройств характерны частые толчки нагрузки. В связи с резкими изменениями нагрузки коэффициент мощности также изменяется в значительных пределах, в среднем от 0,3 до 0,8. По бесперебойности питания эти устройства должны быть отнесены (в зависимости от места работы и установки) ко II категории, а в некоторых случаях - к I. В подъемно-транспортных устройствах применяется как переменный, так и постоянный ток. В большинстве случаев нагрузку от подъемно-транспортных устройств на стороне переменного тока следует считать симметричной по всем трем фазам.

2. Электродвигатели производственных станков. Электроприемники данной группы встречаются практически на любом предприятии. Наиболее многочисленная группа - металлообрабатывающие станки. Они выполняют обработку деталей, материалов и изделий методами резания, штамповки, шлифовки и т. д.

Для электропривода станков используют все типы электродвигателей. Мощность двигателей чрезвычайно разнообразна и изменяется от долей до сотен киловатт и больше. Напряжение сети - 660-380/220 В с частотой 50 Гц.

В станках, где требуется высокая скорость вращения, применяются двигатели постоянного тока, которые получают питание от выпрямительных установок.

В зависимости от производственного процесса показатели графиков производственных станков изменяются в очень широких пределах:

$$K_B = 0,5-0,85; K_H = 0,12-0,6; K = 0,4-0,7; \cos \varphi = 0,4-0,7.$$

Производственные станки механических, механосборочных, инструментальных, кузнечно-прессовых цехов относят, как правило, ко II и III кате-

гориям надежности электроснабжения. Электродвигатели производственных станков ремонтных цехов, как правило, относят к III категории. К I категории надежности относятся станки, обрабатывающие дорогостоящие детали и изделия, а также станки, перерыв в питании которых недопустим по условиям техники безопасности (возможны травмы обслуживающего персонала).

3. Осветительные электроустановки. Характеризуются удельной плотностью нагрузки, которая в зависимости от технологического процесса может находиться в широких пределах: $P_{уд} = 4-100 \text{ Вт/м}^2$.

Например, для предприятий, где требуется высокое зрительное напряжение (ювелирное производство), $P_{уд} = 100 \text{ Вт/м}^2$.

Особенность осветительных электроприемников заключается в том, что они являются однофазными электроприемниками. При этом группируются по фазам таким образом, чтобы несимметрия составляла 5-10 %. Работают в продолжительном режиме.

Расход электроэнергии на освещение ориентировочно составляет:

в металлургии - 5 %;

в машиностроении - 15 %;

на предприятиях легкой промышленности 30 %;

в коммунально-бытовом секторе - 40 %.

Номинальное напряжение осветительных установок по условию техники безопасности ограничено на уровне 220 В. Поэтому для осветительных установок промышленных предприятий применяются напряжения от 6 до 220 В.

С точки зрения надежности электроснабжения допускаются кратковременные нарушения питания, составляющие несколько секунд. При этом существуют производства, где отключение освещения опасно для жизни людей. В этом случае применяют аварийное освещение, которое относится к I категории надежности электроснабжения.

Технические характеристики разных источников света:

Лампы накаливания: $H = 10-20 \text{ лм/Вт}$, КПД = 3-5 %;

Люминесцентные лампы: $H = 40-60 \text{ лм/Вт}$, КПД = 40-60 %;

ДРИ: $H = 65-90 \text{ лм/Вт}$.

При определении расчетных нагрузок от осветительных электроприемников необходимо учитывать потери мощности в пускорегулирующей аппаратуре (ПРА) люминесцентных ламп:

ДРЛ, ДРИ - $K_{ПРА} = 1,1$;

ЛЛ - $K_{ПРА} = 1,25$.

В настоящее время электротехническая промышленность производит электронные ПРА (взамен электромагнитным). В этом случае потери в ПРА не учитываются. Основным недостатком люминесцентных источников света является наличие в них вредных паров ртути.

Наиболее перспективными источниками света, способными в скором будущем вытеснить лампы накаливания и даже люминесцентные лампы, являются светодиоды.

Светодиоды, или светоизлучающие диоды (англ. LED - light emitting diodes), хорошо известны каждому как миниатюрные индикаторы, применяемые в бытовой технике.

Светодиод - полупроводниковый прибор с электронно-дырочным *p-n*-переходом или контактом металл-полупроводник, генерирующий при прохождении через него электрического тока оптического излучения. Если к *p-n*-переходу подсоединить источник электрического тока плюсом к *p*-части, то через него потечет ток. При этом в момент встречи электрона и дырки выделяется энергия в виде излучения кванта света - фотона.

Светодиоды обладают высоким уровнем светоотдачи, малым энергопотреблением. Отсутствие нити накала благодаря нетепловой природе излучения светодиодов обуславливает срок службы до 100 000 часов или 11 лет непрерывной работы (срок, сравнимый с жизненным циклом многих осветительных установок). Отсутствие стеклянной колбы определяет очень высокую механическую прочность и надежность. Малое тепловыделение и низкое питающее напряжение гарантируют высокий уровень безопасности, а безинерционность делает светодиоды незаменимыми, когда нужно высокое быстродействие. Но так же следует заметить, что не смотря на все преимущества, у светодиодов есть и свои недостатки, такие, как относительно высокая стоимость и необходимость специального источника питания на 10-12 В постоянного тока, что в свою очередь ведет к дополнительным денежным затратам и потерям электроэнергии.

Электрические печи и электротермические установки. Используются для преобразования электрической энергии в тепловую.

По принципу действия различают следующие типы электрических печей:

- печи сопротивления;
- дуговые печи (выделяют тепло за счет горения дуги);
- индукционные и электротермические установки;
- установки смешанного нагрева.

Электрические печи являются одними из наиболее энергоемких и ответственных приемников электроэнергии. Их мощность составляет от нескольких кВт до сотен МВт.

Электрические печи сопротивления делятся на печи прямого и косвенного действия. В печах косвенного действия теплоту получают за счет прохождения тока по нагревательному элементу (спирали), $f = 50$ Гц; $\cos\varphi = 1$; $U_H = 380$ В.

Такие печи выпускают на напряжение до 1000 В. Они могут быть одно- и трехфазными и, как правило, применяются для плавки цветных металлов ($P_{\text{ном}} = 50\text{-}600$ кВт), а также для термообработки ($P_{\text{ном}} = 5\text{-}10000$ кВт).

Печи прямого действия используют теплоту, возникающую за счет протекания тока в самом изделии (например, печи для получения изделий из графита. Выпускаются одно- и трехфазными: $U_H = 0,38; 6; 10$ кВ, $S_H = 800\text{-}15000$ кВА, $\cos\varphi = 0,7\text{-}0,8$.

Также печи прямого действия используются для получения изделий из хрусталя: $S_H = 400\text{-}4000$ кВА; $U_H = 380$ В; $f = 50$ Гц.

В большинстве случаев печи сопротивления относятся ко II категории надежности электроснабжения. Они работают в продолжительном режиме.

Дуговые электрические печи по способу нагрева делятся на печи прямого и косвенного действия.

Рассмотрим дуговую сталеплавильную печь (ДСП). Такие печи питаются от специального печного трансформатора, позволяющего управлять электрической дугой путем регулирования напряжения от 500 до 1000 В. Дуга в печах прямого действия возникает между электродами (выполняются из медно-графитового сплава) и шихтой (металл со специальными добавками). При этом ток дуги достигает 100-150 кА, $\cos\varphi = 0,85\text{-}0,9$, $S = 400 - 200000$ кВА, $U_I = 6, 10, 35, 110$ кВ, $U_H = 500\text{-}1000$ В.

Часто дуговые сталеплавильные печи различают не по мощности, а по количеству стали в танках (электросталь). Для получения большого количества стали применяют вакуумные дуговые печи. Питание таких печей осуществляется на постоянном напряжении. По надежности электроснабжения дуговые сталеплавильные печи относятся к I категории.

Печи, в которых дуга горит между электродами, и за счет этого плавится металл, называют печами косвенного действия. Они являются однофазными: $U_H = 6, 10$ кВ; $S_H = 125\text{-}600$ кВА. Используется, как правило, для выплавки меди и ее сплавов. Являются электроприемниками переменного тока и относятся к I категории надежности электроснабжения.

Индукционные и электротермические установки подразделяются на плавильные печи и установки для закалки стальных изделий и установки для сквозного нагрева диэлектриков.

При плавке металла в индукционных печах теплота выделяется в самом металле за счет прохождения по нему индукционного тока.

При этом плавильные печи выпускаются со стальным сердечником и без него.

Возникающий в короткозамкнутом витке (канал с металлом) ток, проходя по металлу, выделяет теплоту согласно закону Джоуля-Ленца.

По конструкции индукционные каналные печи представляют собой футерованную ванну, заключенную в металлический корпус. Индукционная единица состоит из индуктора, шихтованного магнитопровода из трансформаторной стали и подового камня с охватывающими индуктор плавильными каналами. Для слива металла через сливной носок печь наклоняется при помощи гидро- или пневмопривода. Загрузку печи ведут сверху через проем, закрытый во время плавки футерованной крышкой. Подъем крышки производится гидро- или пневмоприводом. Подовый камень охлаждается воздухом при помощи вентилятора через зазор между индуктором и подовым камнем. Достоинством таких печей является высокий КПД, составляющий 60-95 %.

Таким образом, печи со стальным сердечником называют каналными: $S_n = 125-2000$ кВА; $U = 0,38; 6; 10$ кВ. Выпускаются в одно-, двух- и трехфазном исполнении и состоят из индуктора (сердечник и обмотка), конденсаторной батареи (т. к. индуктор имеет низкий $\cos\phi$), коммутационно-защитной аппаратуры и аппаратуры управления. Такие печи используют для плавки цветных металлов, чугуна, высококачественно стали ($\cos\phi = 0,2-0,8$).

Индукционные электроустановки чаще относят ко II категории надежности электроснабжения.

В установках для нагрева диэлектриков (электротермические установки) нагреваемый материал помещается в электрическое поле конденсатора, и нагрев происходит за счет токов смещения.

Эта группа установок широко применяется для клейки и сушки древесины, нагрева пресс порошков, пайки и сварки пластиков, стерилизации продуктов и т. п. Питание осуществляется от высокочастотного генератора (ВЧГ) током с частотой 20-40 МГц и выше. В отношении бесперебойности электроснабжения установки для нагрева диэлектриков относятся к приемникам электрической энергии II категории.

Установки смешанного нагрева можно разделить на рудотермические и печи электрошлакового переплава.

В рудотермических печах материал нагревается теплом, которое выделяется при прохождении электрического тока по шихте и горении дуги. Печи применяются для получения ферросплавов, корунда, выплавки чугуна, свинца, возгонки фосфора, выплавки медного и медно-никелевого штейна. Питание осуществляется током промышленной частоты через понижающие трансформаторы. Мощность некоторых печей – 100 МВ (например, печь для возгонки желтого фосфора). Коэффициент мощности 0,85-0,92. В отношении бесперебойности электроснабжения печи для рудотермических процессов относятся к приемникам электрической энергии II категории.

В печах электрошлакового переплава нагрев осуществляется за счет тепла, выделяющегося в шлаке при прохождении по нему тока. Расплавление шлака производится теплом электрической дуги. Электрошлаковый переплав применяется для получения высококачественных сталей и специальных сплавов. Питание печей осуществляется током промышленной частоты 50 Гц через понижающие трансформаторы, обычно от сетей 6-10 кВ с вторичным напряжением 45-60 В. Печи выполняются, как правило, однофазными, но могут быть и трехфазными. Коэффициент мощности 0,85-0,95. В отношении надежности электроснабжения печи электрошлакового переплава относятся к приемникам электрической энергии I категории.

При электроснабжении цехов, имеющих вакуумные электрические печи всех типов, необходимо учитывать, что перерыв в питании вакуумных насосов приводит к аварии и браку дорогостоящей продукции. Эти печи следует отнести к приемникам электрической энергии II категории.

Электросварочные установки - это специфические электроприемники, особенно при расчете электрических нагрузок. По технологии электрическая сварка делится на дуговую, контактную и специальную.

Основным оборудованием дуговых электросварочных установок является источник питания, электропривод перемещения тележек и подачи сварочной проволоки, устройство для поджигания и стабилизации дуги, коммутационно-защитная аппаратура и аппараты управления.

Источники питания дуговых сварочных установок:

постоянного тока - электромашинные преобразователи, выпрямители и передвижные сварочные подстанции;

переменного тока, которые представляют собой одно- или трехфазные трансформаторы.

Чаще дуговая электросварка осуществляется на постоянном токе. Сварочное оборудование для контактной электросварки также питается постоянным или переменным током. При использовании источников питания постоянного тока сварочная нагрузка распределяется по трем фазам сети равномерно, однако график нагрузки остается неравномерным.

Коэффициент мощности этих установок при номинальной нагрузке составляет 0,7-0,8, и такие установки относительно длительное время работают в режиме холостого хода ($\cos\varphi_{xx} = 0,4$).

Электросварочные установки переменного тока представляют собой однофазную нагрузку в виде сварочных трансформаторов для дуговой сварки и сварочных аппаратов контактной сварки, питающихся от трехфазного силового трансформатора.

Практически всегда сварка на переменном токе представляет собой однофазную нагрузку с неравномерной загрузкой фаз и низким $\cos\varphi$ (0,3-0,35).

К специальным видам сварочных установок относятся:

высокочастотные;

лазерные;

плазменные;

электронно-лучевые.

Такие виды сварки используются, когда необходимо получить высокое качество сваривания. Сварка, осуществляемая при частоте более 50 Гц, менее энергоемка. Ее применяют при производстве сварных труб, при сварке оболочек электрических кабелей. При этом сварка осуществляется в трубоэлектросварочных станках ($P_n = 50$ МВт, $U_n = 6-10$ кВ).

Сварочные установки относятся ко II категории надежности электроснабжения.

Выпрямительные и преобразовательные установки используются для преобразования трехфазного тока в постоянный или трехфазного тока промышленной частоты 50 Гц в трехфазный или однофазный ток пониженной, повышенной или высокой частоты.

В зависимости от типа преобразователей тока установки делятся:

- на полупроводниковые преобразовательные установки;
- на преобразовательные установки с ртутными выпрямителями;
- на преобразовательные установки с двигателями-генераторами;
- на преобразовательные установки с механическими выпрямителями.

По своему назначению преобразовательные установки служат для питания:

- двигателей ряда машин и механизмов;
- электролизных ванн;
- внутризаводского электрического транспорта;
- электрофильтров;
- сварочных установок постоянного тока и др.

Преобразовательные установки для целей электролиза широко применяются в цветной металлургии для получения электролитических алюминия, свинца, меди и др. В таких установках ток промышленной частоты напряжением 6-35 кВ, как правило, при помощи кремниевых выпрямителей преобразуется в постоянный ток необходимого по технологическим условиям напряжения (до 825 В).

Перерыв в питании электролизных установок не приводит к тяжелым авариям с повреждением основного оборудования и может быть допущен на несколько минут, а в некоторых случаях на несколько часов. Здесь перерыв питания связан в основном с недовыпуском продукции. Однако вследствие обратной ЭДС электролизных ванн в некоторых случаях могут иметь место перемещения выделившихся металлов обратно в раствор ванны и, следовательно, дополнительные затраты электроэнергии на новое выделение этого же металла.

Электролизные установки должны снабжаться электрической энергией, как приемники II категории, но допускаются кратковременные перерывы в питании. Режим работы электролизных установок дает достаточно равномерный и симметричный по фазам график нагрузки. Коэффициент мощности электролизных установок составляет 0,85-0,9. Особенностью электролизного процесса является необходимость поддержания постоянства выпрямленного тока. В связи с этим возникает необходимость регулирования напряжения со стороны переменного тока.

Преобразовательные установки для внутрипромышленного электрического транспорта (откатка, подъем, различные виды перемещения грузов и т. п.) по мощности относительно невелики (от сотен до 2000-3000 кВт). Коэффициент мощности таких установок колеблется в пределах 0,7-0,8. Нагрузка на стороне переменного тока симметрична по фазам, но резко изменяется за счет пиков тока при работе тяговых электродвигателей. Перерыв в питании приемников этой группы может повлечь за собой порчу продукции и даже оборудования (особенно на металлургических заводах). Прекращение работы транспорта вообще вызывает серьезные осложнения в работе предприятия, и поэтому эта группа потребителей должна снабжаться электроэнергией, как

приемники I или II категории, допускающие кратковременный перерыв в питании. Питание этих установок производится переменным током промышленной частоты напряжением 0,38-35 кВ.

Преобразовательные установки для питания электрофильтров (с механическими выпрямителями) до 100-200 кВт имеют широкое применение для очистки газов. Питаются эти установки переменным током промышленной частоты от специальных трансформаторов, имеющих на первичной обмотке напряжение 6-10 кВ, а на вторичной до 110 кВ. Коэффициент мощности этих установок равен 0,7-0,8. Нагрузка на стороне высокого напряжения симметрична и равномерна. Перерывы в питании допустимы, длительность их зависит от технологического процесса производства. В таких производствах, как химические заводы, эти установки могут быть отнесены к приемникам I и II категорий.

Коммунально-бытовые приемники и потребители электроэнергии

К коммунально-бытовым потребителям электроэнергии относятся общественные и административные учреждения (школы, детские сады, поликлиники, больницы, театры и т. д.), жилые дома и коммунальные предприятия (бани, прачечные, столовые, предприятия бытового обслуживания).

Рассмотрим характеристики основных приемников электроэнергии коммунально-бытовых потребителей (таблица 3.1).

Основным приемником электроэнергии в жилищном секторе является холодильник. На долю холодильников приходится около 25 % всей расходуемой электроэнергии, на долю освещения – около 40 %.

Энергопотребление является одной из важнейших характеристик бытовой электротехники, поэтому в 1992 г. с целью повышения эффективности электробытовых приборов Европейским сообществом была принята директива 92/75/ЕЕС, согласно которой с января 1995 г. Каждый прибор европейских производителей обязан иметь наклейку, отображающую ее энергетические характеристики. На этой наклейке латинскими буквами отображаются классы энергоэффективности (от А до G). Например, для холодильников энергопотребление класса А примерно в 3 раза меньше, чем энергопотребление такого же холодильника класса G.

Таблица 3.1 - Характеристики основных приемников электроэнергии коммунально-бытовых потребителей

Наименование	P_n , кВт	W , кВт ч/год	K_n
1. Электроплита	2-7	440	0,6
2. Оборудование для подогрева жидкости	1-4	300	0,5
3. Холодильник	0,18-0,3	570	0,6
4. Телевизор	0,06	180	0,8
5. Компьютер	0,3	40	0,4
6. Пылесос	1-1,5	65	0,7
7. Утюг	2	30	0,8
8. Печь СВЧ	0,8-1,5	120	0,5

Сельскохозяйственные потребители электроэнергии

В сельских районах находятся следующие потребители электроэнергии:

Жилые дома (жилым сельским домом при расчете нагрузок считается многоквартирный дом или квартира в многоквартирном доме, имеющая отдельный счетчик электроэнергии).

Предприятия, обслуживающие население (больницы, школы, магазины, бани и т. д.).

Производственные потребители колхозов и совхозов (животноводческие фермы, зерноочистительные пункты, хранилища сельскохозяйственной продукции, котельные и т. д.).

Предприятия по переработке сельскохозяйственной продукции (молокозаводы, консервные заводы, мясокомбинаты и т. д.).

Характеристики этих потребителей, необходимые для определения расчетных нагрузок, изложены в справочной литературе.

На предприятиях по производству сельскохозяйственной продукции производственный процесс осуществляется средствами, оказывающими воздействие на животных и растения. К таким средствам относятся системы электрического нагрева:

электрокалориферы ($P_n = 5-100$ кВт), используемые для создания оптимальных параметров воздуха (температура, влажность, концентрация пыли и т.д.);

электроводонагреватели ($P_n = 5-1000$ кВт) для нагрева воды при отсутствии централизованного горячего водоснабжения;

электроустановки для сушки сельскохозяйственной продукции и кормов;

лампы термоизлучателей, используемые для облучения скота и птицы.

Для привода механизмов в сельском хозяйстве, как правило, используются асинхронные двигатели (синхронные двигатели и двигатели постоянного тока используются очень редко).

Мельницы, измельчители кормов, овощетерки, насосы для орошения, подъемно-транспортные механизмы - механизмы, для которых специально выпускаются электродвигатели, что обусловлено сложными условиями эксплуатации (химически активная атмосфера животноводческих помещений, большая запыленность зерноочистительно-сушильных комплексов, высокая влажность в кормоцехах, а также необходимость работать под открытым небом).

Также большое значение в сельском хозяйстве имеют осветительные и облучающие электроустановки. Они оказывают биологическое воздействие на животных и растения. Облучатели используются для дезинфекции воздуха, ультрафиолетового облучения, обогрева инфракрасными лучами.

Контрольные вопросы

Опишите в качестве приемника электроэнергии электродвигатели силовых и общепромышленных установок.

Опишите в качестве приемника электроэнергии электродвигатели производственных станков.

Опишите в качестве приемника электроэнергии осветительные электроустановки.

Опишите в качестве приемника электроэнергии электрические печи и электротермические установки.

Опишите в качестве приемника электроэнергии выпрямительные и преобразовательные установки.

Коммунально-бытовые приемники и потребители электроэнергии.

Сельскохозяйственные потребители электроэнергии.