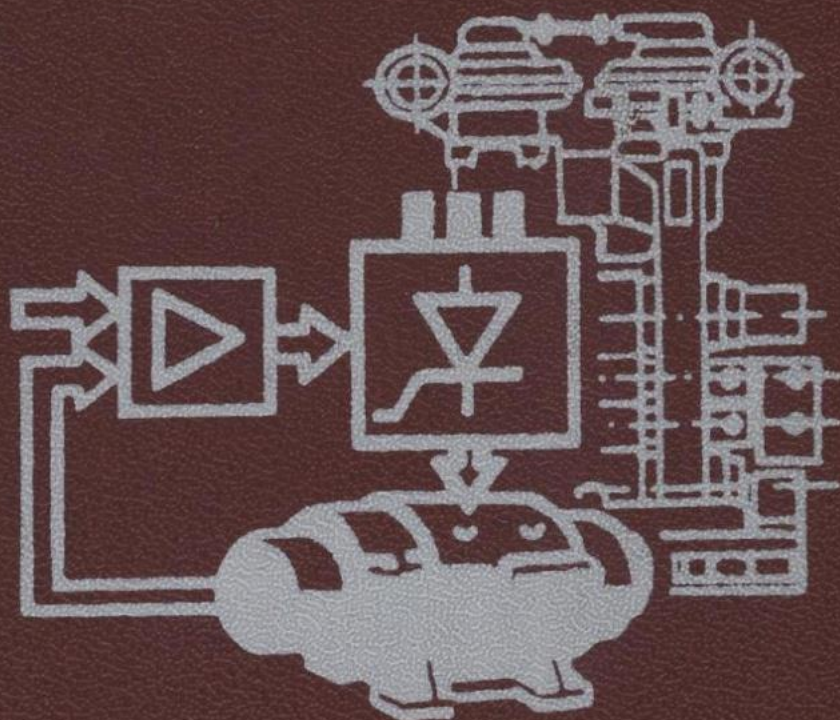


Т.Е. Карманова

ПРИЕМНИКИ И ПОТРЕБИТЕЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Учебное пособие



Т.Е. Карманова

ПРИЕМНИКИ И ПОТРЕБИТЕЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Учебное пособие

Архангельск
2015

УДК 621.31

*Рекомендовано к изданию учебно-методической комиссией
института энергетики и транспорта САФУ им. М.В. Ломоносова
(протокол №9 от 17 декабря .2015 г.)*

Составитель: Карманова Татьяна Евгеньевна, к.т.н, ст.преподаватель каф.
ЭПП

Рецензенты:

Технический директор ГУ ОАО ТГК-2, ТЭЦ, г. Архангельск, Пальмин Л.И;
Начальник электроцеха ГУ ОАО ТГК-2, ТЭЦ, г. Архангельск, А.В. Грязнов

Карманова , Т. Е.

Приемники и потребители электрической энергии систем электроснабжения:
учебное пособие / Т.Е. Карманова. – Архангельск: САФУ имени М.В. Ломо-
носова, 2015. – 120 с.

Содержит краткие сведения по электрооборудованию, электропотреблению и режимам работы различных потребителей и приемников электроэнергии. В нем изложены способы расчета электрических нагрузок. Приведены основные положения метода упорядоченных диаграмм, расчет с использованием коэффициентов спроса и равномерности максимумов нагрузок. Теоретические основы расчета сопровождаются рассмотрением примеров. Для закрепления изложенного материала по каждому раздела приведены контрольные вопро-сы.

Пособие подготовлено на кафедре «Электроснабжения промышленных предприятий» САФУ имени М.В. Ломоносова, предназначено для студентов направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» дневной и заочной форм обучения.

© Карманова Т.Е., 2015

© Учреждение образования «Северный Арктический
федеральный университет имени М.В. Ломоносова», 2015

Содержание

Введение	5
Тема 1. Основные понятия о приемниках и потребителях электроэнергии	6
Классификация электроприемников	6
Классификация потребителей электрической энергии	12
Характеристики электроприемников	13
Контрольные вопросы	15
Тема 2. Графики электрических нагрузок	16
Общие сведения о графиках нагрузки	16
Индивидуальные графики нагрузки	17
Графики групповой нагрузки	19
Показатели графиков нагрузки	23
Коэффициенты, характеризующие графики нагрузки	29
Контрольные вопросы	34
Тема 3. Характерные приемники электроэнергии	35
Электродвигатели силовых и общепромышленных установок	35
Электродвигатели производственных станков	36
Осветительные электроустановки	37
Электрические печи и электротермические установки	39
Выпрямительные и преобразовательные установки	46
Коммунально-бытовые приемники и потребители электроэнергии	48
Сельскохозяйственные потребители электроэнергии	49
Контрольные вопросы	51
Тема 4. Методы определения расчетной электрической нагрузки	52
Статистический метод определения расчетной нагрузки	53
Метод упорядоченных диаграмм	55
Определение расчетной нагрузки для группы из трех или менее электроприемников	60
Вспомогательные методы определения расчетной нагрузки	61

Определение расчетной нагрузки потребителей на напряжении 6–10 кВ	63
Определение расчетной нагрузки при наличии однофазных электроприемников в группе	66
Уточнение метода упорядоченных диаграмм	70
Учет нагрузочной способности элементов системы электроснабжения при определении расчетной нагрузки статистическим методом	71
Учет реальной постоянной времени нагрева при определении расчетной нагрузки методом упорядоченных диаграмм	71
Пиковая нагрузка приемников и потребителей электроэнергии	72
Контрольные вопросы	74
Тема 5. Определение расхода и потерь электроэнергии потребителей	76
Определение расхода активной энергии	76
Определение расхода реактивной энергии	80
Определение потерь мощности и энергии в системах Электроснабжения	80
Пути снижения потерь мощности и энергии в элементах систем электроснабжения потребителя	83
Контрольные вопросы	90
Тема 6. Влияние качества электроэнергии на работу электроприемника	91
Влияние отклонений напряжения	91
Влияние колебаний напряжения	95
Влияние несимметрии напряжений	96
Влияние отклонения частоты	97
Контрольные вопросы	98
Тема 7. Взаимоотношения потребителей с энергоснабжающей организацией, взаимодействие с органами Госэнергонадзора, региональными энергетическими комиссиями и другими организациями	99
Контрольные вопросы	107
Примеры заданий для проведения практических работ	108
Список источников	119

ВВЕДЕНИЕ

Электрическая энергия оказывает значительное влияние на все отрасли народного хозяйства, а также на уровень развития и технический прогресс любого государства. Поэтому электроэнергетика наиболее объективно определяет уровень экономического развития страны. Проектирование систем электроснабжения требует комплексного подхода к выбору и оптимизации схем электрических сетей, техническому обоснованию решений, определяющих состав, структуру, внешние и внутренние связи, динамику развития и надежность работы системы в целом и ее отдельных элементов.

Цель изучения данной дисциплины состоит в получении теоретических знаний и практических навыков по электрооборудованию, электропотреблению и режимам работы различных потребителей, а также по формированию и влиянию электрических нагрузок на элементы системы электроснабжения.

Задачами дисциплины являются: изучение классификации и характеристик электроприемников и потребителей электроэнергии, характерных групп электроприемников и особенностей их режимов работы, графиков электрических нагрузок и их показателей; освоение методов определения расчетных электрических нагрузок, расхода электроэнергии, потерь мощности и энергии потребителей; ознакомление с путями повышения эффективности электропотребления; оценка влияния качества электроэнергии на работу электроприемника; знакомство с взаимоотношением потребителей с энергоснабжающей организацией и взаимодействиями с органами Госэнергонадзора, региональными энергетическими комиссиями и другими организациями.

Предлагаемое пособие предназначено для студентов электроэнергетических специальностей. В нем изложены способы расчета электрических нагрузок. Приведены основные положения метода упорядоченных диаграмм, расчет с использованием коэффициентов спроса и равномерности максимумов нагрузок. Теоретические основы расчета сопровождаются рассмотрением примеров. Для закрепления изложенного материала по каждому раздела приведены контрольные вопросы.

ТЕМА 1

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О ПРИЕМНИКАХ И ПОТРЕБИТЕЛЯХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Электроприемник – устройство, в котором происходит преобразование электрической энергии в другие виды энергии для ее использования (осветительные лампы, двигатели и т. д.).

Электроприемник или группа электроприемников, связанных технологическим процессом и размещенных на определенной территории, называется потребителем электрической энергии (станок, цех, завод и т. д.).

Классификация электроприемников

Электроприемники в практике электроснабжения удобно классифицировать по следующим признакам:

- по надежности электроснабжения;
- по роду тока;
- по напряжению;
- по режиму работы.

1. По степени надежности электроснабжения электроприемники делятся на следующие три категории:

- электроприемники I категории – электроприемники, перерыв электроснабжения которых может повлечь за собой опасность для жизни людей (например, система вентиляции кислотного цеха, операционная), значительный ущерб народному хозяйству, повреждение дорогостоящего основного оборудования, массовый брак продукции, расстройство сложного технологического процесса, нарушение функционирования особо важных элементов коммунального хозяйства. Приемники электроэнергии I категории должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых взаимно резервирующих источников питания, и перерыв их электроснабжения при нарушении

электроснабжения от одного источника питания может быть допущен лишь на время автоматического восстановления питания.

Из состава электроприемников I категории выделяется особая группа, бесперебойная работа которых необходима для безаварийного останова производства с целью предотвращения угрозы жизни людей, взрывов, пожаров и повреждения дорогостоящего основного оборудования (например, непрерывная работа насоса по циркуляции воды необходима для охлаждения стенок сталеплавильной печи). Для электроснабжения особой группы приемников электроэнергии I категории должно предусматриваться дополнительное питание от третьего независимого взаимно резервирующего источника питания. Независимым источником питания приемника электроэнергии или группы приемников электроэнергии называют источник питания, на котором сохраняется напряжение в пределах, регламентированных ПУЭ для послеаварийного режима, при исчезновении его на другом или других источниках питания этих приемников.

К числу независимых источников питания относят две секции или системы шин одной или двух электростанций и подстанций при одновременном соблюдении следующих двух условий:

- 1) каждая секция или система шин в свою очередь имеет питание от независимого источника питания;
- 2) секции (системы) шин не связаны между собой или имеют связь, автоматически отключающуюся при нарушении нормальной работы одной секции (системы) шин.

В качестве третьего независимого источника питания для особой группы приемников электроэнергии и в качестве второго независимого источника питания для остальных приемников I категории используют местные электростанции, электростанции энергосистем, специальные агрегаты бесперебойного питания, аккумуляторные батареи и т. п. Если резервированием электроснабжения нельзя обеспечить необходимую непрерывность техноло-

гического процесса или если резервирование электроснабжения экономически нецелесообразно, осуществляют технологическое резервирование.

Электроснабжение приемников электроэнергии I категории с особо сложным технологическим процессом, требующим длительного времени на восстановление рабочего режима, при наличии технико-экономических обоснований осуществляют от двух независимых взаимно резервирующих источников питания, к которым предъявляют дополнительные требования, определяемые особенностями технологического процесса.

– электроприемники II 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. Приемники электроэнергии II категории обеспечивают электроэнергией от двух независимых взаимно резервирующих источников питания. Для приемников электроэнергии II категории при нарушении электроснабжения от одного источника питания допустимы перерывы электроснабжения на время, необходимое для включения резервного питания действиями дежурного персонала или выездной оперативной бригады.

– электроприемники III категории – все остальные электроприемники, не подходящие под определения I и II категорий. Это приемники вспомогательных цехов, несерийного производства продукции и т. п. Для приемников электроэнергии III категории электроснабжение выполняют от одного источника питания при условии, что перерывы электроснабжения, необходимые для ремонта или замены поврежденного элемента системы электроснабжения, не превышают 1 суток.

В зависимости от категории надежности, к которой относится тот или иной электроприемник, устанавливаются требования к системам электроснабжения.

2. По роду тока различают следующие электроприемники:

- электроприемники, работающие от сети промышленной частоты (50, 60 Гц) – большинство электроприемников;
- электроприемники, работающие от сети повышенной (пониженной) частоты;
- электроприемники, работающие от сети постоянного тока.

Установки повышенной частоты применяются, например, для нагрева диэлектриков. Повышение частоты используется также в технологиях, требующих высокие скорости вращения ($n = 20000$ об/мин; $f = 133\text{--}400$ МГц). Пониженная частота используется в металлургии. Постоянный ток используется в транспорте, для электролиза и др.

3. По напряжению электроприемники классифицируют следующим образом:

- до 1 кВ и выше 1 кВ – переменный ток.
- до 1,5 кВ и выше 1,5 кВ – постоянный ток.

Номинальное напряжение электроприемника определяет величину его мощности. Мощные электрические двигатели используются для привода насосных, компрессорных агрегатов. При выборе типа электрического двигателя большое значение имеет мощность и напряжение:

- при напряжении до 1 кВ и мощности до 100 кВт экономичнее использовать асинхронные двигатели;
- свыше 100 кВт – синхронные двигатели;
- при напряжении 6 кВ и мощности до 300 кВт – асинхронные двигатели;
- при напряжении 6 кВ и мощности больше 300 кВт – синхронные двигатели.

В настоящее время на практике чаще всего используются асинхронные электродвигатели.

4. По режиму работы в соответствии с ГОСТ 183–74 электроприемники классифицируют на 8 режимов. Но для решения практических задач по опре-

делению электрических нагрузок, как правило, используют 3 следующих характерных режима работы электроприемников:

- продолжительный режим работы электроприемника соответствует номинальной неизменной нагрузке, продолжающейся столь долго, что температура t его частей достигает установившихся значений (рисунок 1.1, а). Установившейся температурой считается температура, изменение которой в течение 1 ч не превышает 1 °С;

- кратковременный режим работы электроприемника (рисунок 1.1, б) характеризуется тем, что он работает при номинальной мощности в течение времени, за которое его температура не успевает достичь установившейся. При отключении электроприемник длительно не работает, и его температура снижается до температуры окружающей среды;

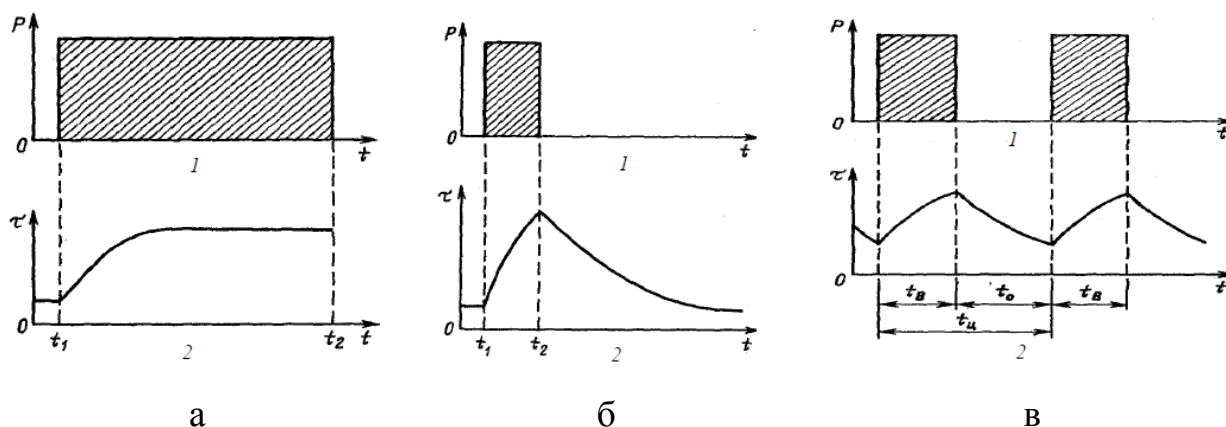
- повторно-кратковременный режим работы электроприемника – режим, при котором кратковременные рабочие периоды номинальной нагрузки чередуются с паузами (рисунок 1.1, в). Продолжительность рабочих периодов и пауз не настолько велика, чтобы перегревы отдельных частей электроприемника при неизменной температуре окружающей среды могли достигнуть установившихся значений. При повторно-кратковременном режиме работы электроприемник можно сильнее нагружать, чем при продолжительном номинальном режиме.

Повторно-кратковременный режим работы характеризуется продолжительностью включения (ПВ), равной отношению времени включения $t_{\text{в}}$ ко времени всего цикла $t_{\text{ц}}$:

$$\text{ПВ} = \frac{t_{\text{в}}}{t_{\text{о}} + t_{\text{в}}} 100 = \frac{t_{\text{в}}}{t_{\text{ц}}} 100 \quad (1.1)$$

где $t_{\text{о}}$ – продолжительность отключения (паузы).

Значение $t_{\text{ц}}$ при ПКР не должно превышать 10 минут



а – продолжительный режим работы электроприемника

б – кратковременный режим работы электроприемника

в – повторно-кратковременный режим работы электроприемника

Рисунок 1.1 - Графики нагрузки (1) и изменения температуры нагрева частей электроприемника (2) при различных режимах работы

Электротехническая промышленность выпускает оборудование со стандартными значениями ПВ, равными 15, 25, 40 и 60 %.

Фактические значения ПВ в процессе работы изменяются в значительных пределах. Соотношение между мощностями P_1 и P_2 электроустановки, работающей в повторно-кратковременном режиме при соответствующих $PВ_1$ и $PВ_2$ имеет вид:

$$P_1 \sqrt{PВ_1} = P_2 \sqrt{PВ_2} = P_{\text{прод}}, \quad (1.2)$$

где $P_{\text{прод}}$ – мощность, соответствующая продолжительному режиму работы (ПВ = 100 %).

Электроприемники продолжительного режима характеризуются коэффициентом включения:

$$k_B = \frac{t_B}{t_B + t_{\Pi}} = \frac{t_B}{t_{\text{ц}}} \quad (1.3)$$

Величина $t_{\text{ц}}$ при продолжительном режиме должна быть более 10 мин.

Режим работы электроприемников характеризуется временем включения, временем отключения, временем цикла, определяющим нагрев отдель-

ных частей электроприемника, а также токоведущих частей системы электроснабжения.

Одной из характеристик, формально описывающих данный процесс, является постоянная времени нагрева (T_o , мин) – время, в течение которого токоведущие части нагрелись бы до установившейся температуры, если бы отсутствовал теплообмен с окружающей средой. Поэтому выбор всех токоведущих частей элементов системы электроснабжения по условию их допустимого нагрева осуществляют с учетом T_o .

Классификация потребителей электрической энергии

Потребители электрической энергии классифицируются:

- по суммарной установленной мощности электроприемников;
- по принадлежности к отрасли промышленности;
- по тарифной группе;
- по категории энергетической службы.

1. По суммарной установленной мощности ($P_{уст}$) электроприемников различают следующие потребители электроэнергии:

- малые, $P_{уст} < 5 \text{ МВт}$;
- средние, $5 \text{ МВт} \leq P_{уст} \leq 75 \text{ МВт}$;
- крупные, $P_{уст} > 75 \text{ МВт}$.

2. По принадлежности к отрасли промышленности потребители электроэнергии бывают металлургические, химические, нефтехимические, легкой промышленности, машиностроения, горнорудные.

3. По тарифной группе различают 2 группы потребителей электроэнергии, отличающиеся условиями выбора компенсирующих устройств, а также условиями расчетов за электроэнергию:

- I тарифная группа – потребители, установленная (присоединенная) мощность трансформаторов которых $S_{тр} \geq 750 \text{ кВ} \cdot \text{А}$. Выбор компенсирующих устройств осуществляется при проектировании (реконструкции) одновременно с выбором всех элементов системы электроснабжения. При этом

потребители данной группы рассчитываются электроэнергию по двухставочному либо многоставочному тарифам;

– II тарифная группа – присоединенная мощность трансформаторов которых $S_{\text{тр}} \leq 750 \text{ кВ} \cdot \text{А}$. Мощность компенсирующих устройств таких потребителей устанавливается энергоснабжающей организацией. Оплата за электроэнергию, как правило, осуществляется по одноставочному тарифу.

4. О масштабах и сложностях энергетического хозяйства потребителей можно судить по суммарной годовой трудоемкости ремонтов и обслуживания электрооборудования. Чем выше эта трудоемкость (чел · ч), тем сложнее энергетическое хозяйство.

Характеристики электроприемников

Основными характеристиками электроприемников являются:

- номинальная мощность $P_{\text{н}}$ ($S_{\text{н}}$, $Q_{\text{н}}$);
- номинальное напряжение $U_{\text{н}}$;
- номинальный коэффициент мощности $\cos \varphi_{\text{н}}$;
- номинальный КПД $\eta_{\text{н}}$;
- номинальная продолжительность включения $\text{ПВ}_{\text{н}}$;
- номинальная частота $f_{\text{н}}$;
- номинальный ток $I_{\text{н}}$.

Номинальная мощность отдельных электроприемников принимается равной:

– механической мощности на валу – для электродвигателей. При этом для электродвигателей с повторно-кратковременным режимом работы:

$$P_{\text{ном}} = P_{\text{пасп}} \sqrt{\text{ПВ}_{\text{пасп}}}, \quad (1.4)$$

– для силовых и электропечных трансформаторов (работают, как правило, в длительном режиме):

$$S_{\text{ном}} = S_{\text{пасп}} , \quad (1.5)$$

– для сварочных трансформаторов (как правило, работают в ПКР):

$$S_{\text{ном}} = S_{\text{пасп}} \sqrt{\text{ПВ}_{\text{пасп}}} , \quad (1.6)$$

– для источников света
лампы накаливания:

$$P_{\text{ном}} = P_{\text{пасп}} , \quad (1.7)$$

газоразрядные лампы с электромагнитными пускорегулирующим аппаратом (ПРА):

$$P_{\text{ном}} = K_{\text{ПРА}} P_{\text{пасп}} , \quad (1.8)$$

где $K_{\text{ПРА}} = 1,25$ – для люминесцентных ламп; $K_{\text{ПРА}} = 1,1$ – для ламп высокого давления, например, типа ДРЛ.

В электронном пускорегулирующем аппарате отсутствуют потери мощности и энергии $K_{\text{ПРА}}^{\text{э}} = 1$.

Под номинальной реактивной мощностью одного электроприемника понимается реактивная мощность, потребляемая из сети или генерируемая в сеть при номинальной активной мощности и номинальном напряжении, а для синхронного двигателя ток возбуждения должен быть равным номинальному.

Номинальная электрическая мощность определяется, как

$$P_{\text{нэ}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\eta_{\text{н}}} , \quad (1.9)$$

$$S_H = \frac{P_{\text{ном}}}{\eta_H \cos \varphi_H}, \quad (1.10)$$

где $P_{\text{нэ}}$ – активная электрическая мощность;

$P_{\text{ном}}$ – номинальная механическая мощность;

$\cos \varphi_H$ – коэффициент активной мощности, который равен: $\cos \varphi_H = \frac{P_{\text{нэ}}}{S_H} = \frac{P_{\text{ном}}}{\eta_H S_H}$

η_H – номинальный КПД, $\eta_H = \frac{P_{\text{ном}}}{P_{\text{нэ}}} = \frac{P_{\text{ном}}}{P_{\text{ном}} + \Delta P_{\text{ном}}}$;

$\text{tg} \varphi_H$ – коэффициент реактивной мощности, $\text{tg} \varphi_H = \frac{Q_H \cdot \eta_H}{P_H}$.

S_H – полная мощность.

Номинальный ток электроприемников может определяться по выражениям:

- для электродвигателей: $i_H = \frac{P_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi_H \cdot \eta_H}$

- для печей, трансформаторов, генераторов и др.: $i_H = \frac{S_H}{\sqrt{3} \cdot U_H}$

При этом значения i_H , P_H , S_H определяют, как правило, допустимый тепловой режим работы электроприемника.

Следует отметить, что номинальный режим очень часто отличается от оптимального.

Контрольные вопросы.

- 1) Что называют приемником и потребителем электроэнергии?
- 2) Классификация электроприемников.
- 3) Основные условия электроснабжения приемников I категории.
- 4) Назовите режимы работы электроприемников. Что такое ПВ?
- 5) Классификация потребителей электрической энергии.
- 6) Основные характеристики электроприемников.

ТЕМА 2

ГРАФИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

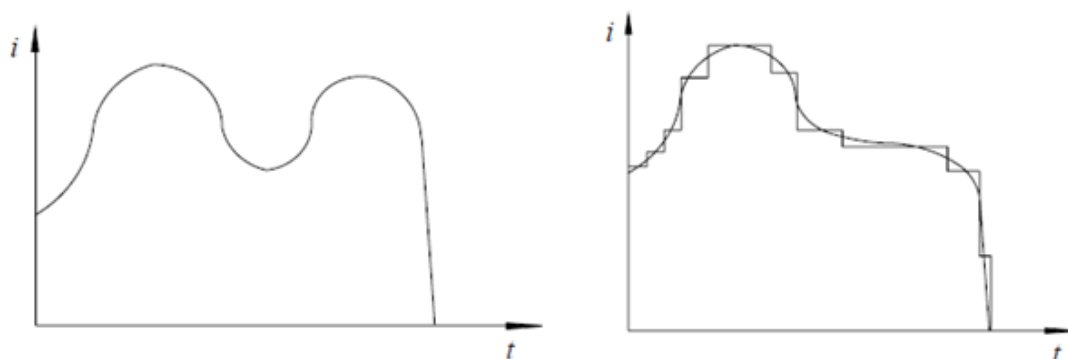
Общие сведения о графиках нагрузки

При проектировании и эксплуатации систем электроснабжения выделяют три вида электрической нагрузки:

- активная мощность нагрузки P ;
- реактивная мощность нагрузки Q ;
- ток I .

Кривая, характеризующая изменение нагрузки во времени, называется графиком электрической нагрузки (рисунок 2.1).

Под величиной нагрузки в данный момент времени понимается ее действующее значение, показываемое измерительными приборами с достаточно малой инерцией.



а

б

а – непрерывный; б – дискретный

Рисунок 2.1 - Графики нагрузки

Для решения практических задач электроснабжения непрерывный график заменяют дискретным (рисунок 2.1, б). Он может быть получен при помощи счетчиков электрической нагрузки.

Различают индивидуальные и групповые графики электрической нагрузки – соответственно, для отдельных электроприемников и для группы электроприемников.

Зная индивидуальные графики нагрузки, можно получить групповой:

$$P(t) = \sum_{i=1}^n p_i(t), \quad (2.1)$$

$$Q(t) = \sum_{i=1}^n q_i(t), \quad (2.2)$$

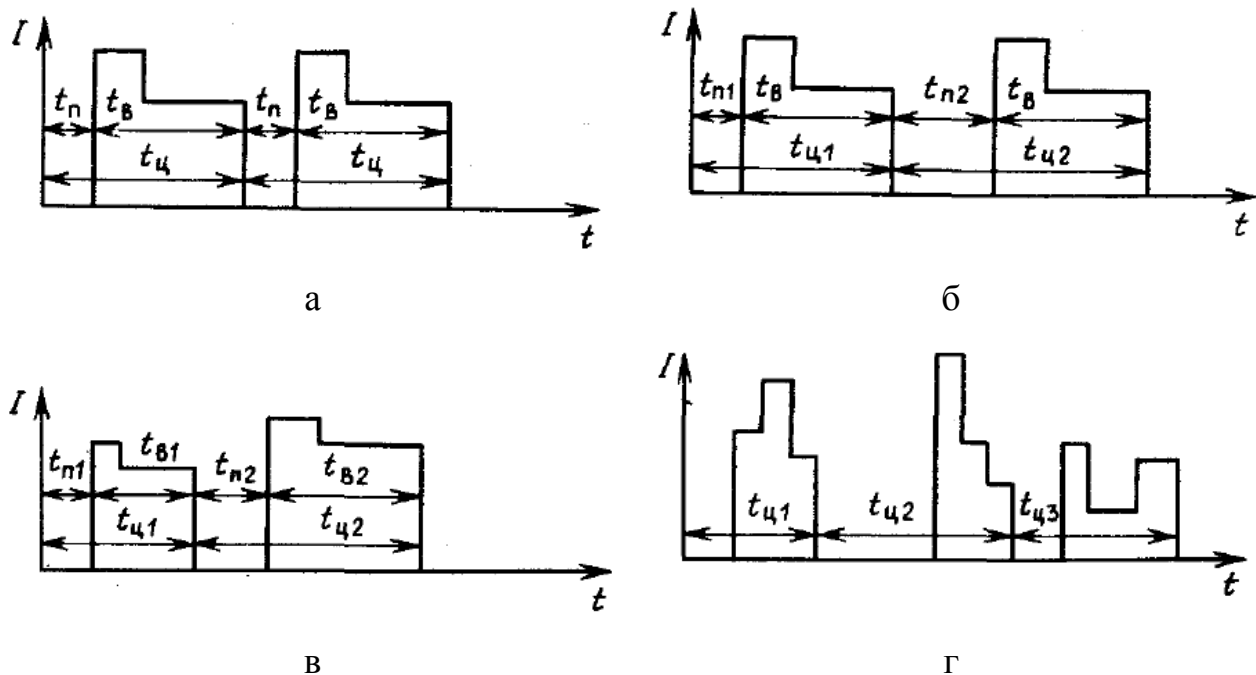
$$I(t) = \frac{\sqrt{P^2(t)+Q^2(t)}}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (2.3)$$

Выражение $I(t) \approx \sum i_i(t)$ можно использовать тогда, когда коэффициенты мощности электроприемников, формирующих групповой график нагрузки, примерно равны.

Индивидуальные графики нагрузки

В практике электроснабжения, как правило, используют групповые графики нагрузки (ГГН), но учитывая, что они формируются отдельными электроприемниками, необходимо рассмотреть индивидуальные графики нагрузки (ИГН). Различают 4 вида ИГН (рисунок 2.2):

- периодические;
- циклические;
- нециклические;
- нерегулярные.



а – периодические; б – циклические; в – нециклические; г – нерегулярные
Рисунок 2.2 - Индивидуальные графики нагрузки различных типов

Периодические графики (рисунок 2.2, а) отвечают строго ритмичному производству с одинаковыми токами и временем t_n , t_b , $t_ц$ за разные циклы: $t_{n1} = t_{n2} = \text{const}$, $t_{b1} = t_{b2} = \text{const}$, $t_{ц1} = t_{ц2} = \text{const}$, характеризуются стабильностью потребления электроэнергии за среднее время цикла $W_1 = W_2 = \text{const}$.

Такие графики имеют, например, отдельные станки в автоматических поточных линиях.

Циклические графики (рисунок 2.2, б) характерны для электроприемников поточных линий, где имеются ручные операции, например, установка, подгонка деталей, их съем и т. д. Время пауз t_n и циклов $t_ц$ у таких графиков за разные циклы не равны и изменяются по случайному закону:

$$t_{n1} \neq t_{n2} \neq \text{const}, t_{b1} = t_{b2} = \text{const}, t_{ц1} \neq t_{ц2} \neq \text{const}, W_1 = W_2 = \text{const}.$$

Нециклические графики (рисунок 2.2, в) имеют электроприемники, когда выполняемые ими операции строго не регламентированы, например, станки на ремонтных участках. В этом случае t_b , t_n и $t_ц$ являются случайными, меняется и величина нагрузки от цикла к циклу. При этом нециклический график,

подобно периодическому и цикличному, характеризуется стабильностью потребления электроэнергии за среднее время цикла: $t_{п1} \neq t_{п2} \neq \text{const}$, $t_{в1} \neq t_{в2} \neq \text{const}$, $t_{ц1} \neq t_{ц2} \neq \text{const}$, $W_1 = W_2 = \text{const}$.

Нерегулярные графики (рисунок 2.2, г) встречаются редко. Их имеют электроприемники, которые обслуживают технологические процессы с неустановившимся характером. При этом условие стабильности потребления электроэнергии уже не соблюдается: $t_{п1} \neq t_{п2} \neq \text{const}$, $t_{в1} \neq t_{в2} \neq \text{const}$, $t_{ц1} \neq t_{ц2} \neq \text{const}$, $W_1 \neq W_2 \neq \text{const}$.

Например, электропривод для бурения скважин большой глубины будет создавать нерегулярный график нагрузки, так как твердость породы и ее толщина все время меняются.

Графики групповой нагрузки

Для групповых графиков нагрузки степень регулярности определяется не только типами составляющих его индивидуальных графиков, но и взаимозависимостями нагрузок отдельных электроприемников.

По периодичности различают следующие типы групповых графиков нагрузки:

- нерегулярные;
- почти периодические.

В большинстве случаев имеют место почти периодические групповые графики нагрузки (рисунок 2.3).

Групповые графики нагрузки, для которых характерна повторяемость нагрузки в течение разных смен в определенные временные интервалы, называют почти периодическими.

Групповые графики нагрузки, используемые для решения практических задач электроснабжения, делятся на суточные (сменные), годовые (по месяцам), упорядоченные, типовые.

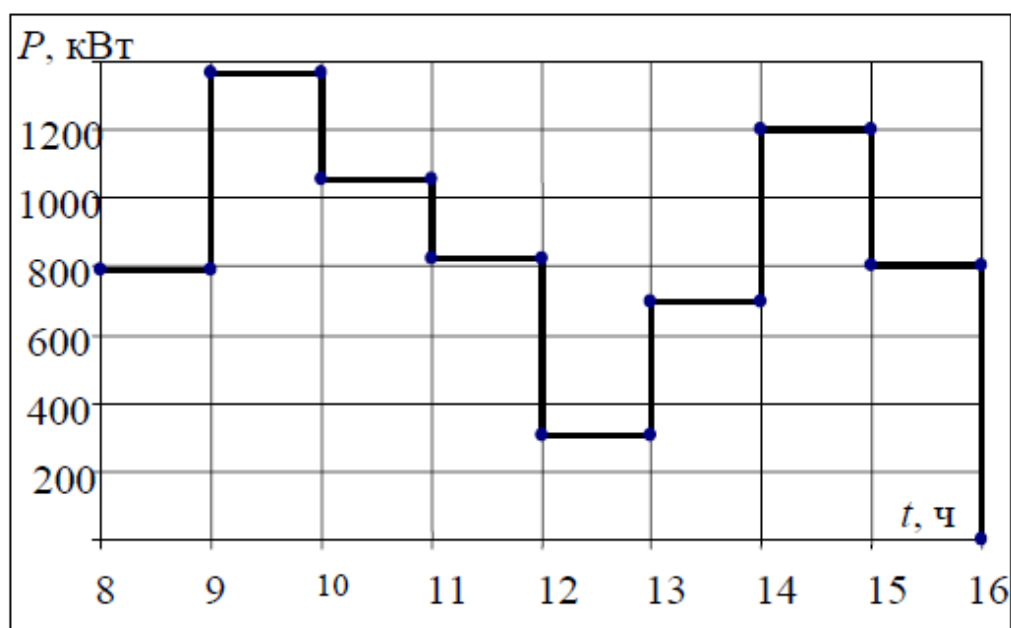


Рисунок 2.3 - Групповой график нагрузки потребителя электроэнергии за смену

Суточные (сменные) графики нагрузки (рисунок 2.3) характеризуют изменение нагрузки в течение суток (смены). При этом следует различать рабочие сутки, а также выходные и праздничные дни, нагрузка в которые существенно ниже. Особенностью суточных графиков нагрузки является их неравномерность, когда наблюдаются утренний и вечерний максимумы. Ночью нагрузка существенно снижается. Исключение составляют потребители с непрерывным технологическим процессом.

Годовые графики нагрузки характеризуют изменение нагрузки по месяцам в течение года (рисунок 2.4).

Различают два временных периода:

- 1) осеннее-зимний (1 и 4 кварталы года);
- 2) весеннее-летний (2 и 3 кварталы года).

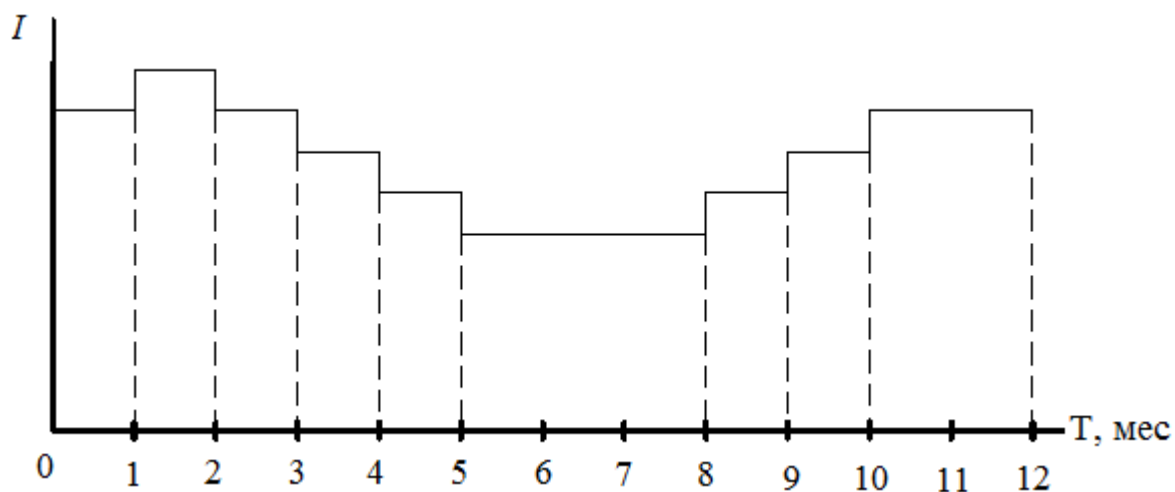


Рисунок 2.4 - Годовой график нагрузки потребителя электроэнергии

Для годовых графиков нагрузки характерно снижение нагрузки в течение летнего периода и увеличение ее в зимний период. Данные графики используются для определения сезонного фактора нагрузки, что имеет существенное значение при проектировании систем электроснабжения потребителей электроэнергии сельскохозяйственного производства.

Упорядоченные графики нагрузки показывают время работы потребителя с определенной нагрузкой за принятый временной промежуток, например, за сутки или за год (рисунок 2.5).

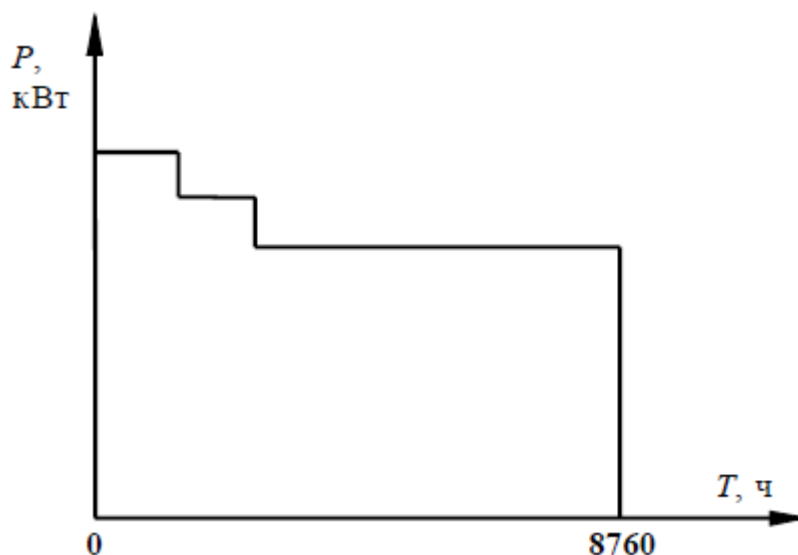


Рисунок 2.5 - Упорядоченный график нагрузки потребителя электроэнергии

Упорядоченные графики используют для определения расхода электроэнергии и времени максимума нагрузки T_m (времени максимальных потерь τ), а также для установления закона распределения вероятности нагрузки.

Типовой график нагрузки – усредненный по времени и набору электроприемников график нагрузки аналогичных по режиму работы потребителей.

При большом количестве электроприемников, входящих в группу (цех, завод, жилой дом, район), их групповой график нагрузки становится устойчивым, почти периодическим.

Различают типовые графики сельскохозяйственных потребителей, промышленных потребителей (по отраслям) и потребителей коммунально-бытового сектора. Данные типовых графиков нагрузки приводятся в справочной литературе в относительных единицах и используются при проектировании систем электроснабжения потребителей.

Нагрузка типового графика, как правило, нормируется относительно максимального значения и представляется в процентах.

В отличие от промышленных потребителей, вечерний максимум нагрузки потребителей коммунально-бытового сектора больше, чем утренний.

При рассмотрении типовых графиков нагрузки имеют место характерные графики за летний и зимний дни. Для различия графиков нагрузки по сезонам года используют коэффициент сезонности (в основном, для потребителей сельского хозяйства).

Коэффициент сезонности – отношение математического ожидания максимума нагрузки данного месяца к математическому ожиданию годового максимума нагрузки.

При проектировании систем электроснабжения следует учитывать, что время наступления максимальной нагрузки у различных потребителей разное, поэтому при совместном электропитании этих потребителей необходимо учитывать эффект несовмещения максимумов их нагрузки.

Очевидно, что суммарная максимальная нагрузка потребителей меньше суммы их максимумов: $P_{m\Sigma} \leq \sum P_{mi}$.

Данное явление характеризуется коэффициентом совмещения максимумов: $K_0 = K_\Sigma = \frac{P_{m\Sigma}}{\sum P_{mi}}$. Значения этого коэффициента представлены в справочной литературе для различных потребителей электроэнергии. Также он может быть определен в зависимости от коэффициента использования и времени использования максимума нагрузки потребителей электроэнергии по справочным номограммам: $K_0 = f(K_{и}; T_m)$.

Таким образом, типовые графики нагрузки (как правило, суточные) приводятся в справочной литературе, где нагрузка представлена в относительных единицах. Однако на практике оперировать с графиками нагрузки не всегда удобно, поэтому при расчетах электрических нагрузок, согласовании технических условий на электроснабжение, решении задач на лимитирование и управление электропотреблением пользуются показателями, характеризующими графики нагрузки.

Показатели графиков нагрузки

При решении практических задач электроснабжения очень часто отсутствуют графики электрических нагрузок. Поэтому для описания режимов энергопотребления в практике электроснабжения используют систему показателей, адекватно описывающих эти графики. При этом различают физические величины и безразмерные коэффициенты графиков нагрузки.

При рассмотрении индивидуальных графиков их показатели обозначаются строчными буквами (p, q, s, i, k), групповых – прописными (P, Q, S, I, K).

Физические величины, характеризующие графики электрических нагрузок:

1. P_c – средняя нагрузка (Q_c, S_c, I_c).
2. $P_{ск}$ – среднеквадратичная (эффективная) нагрузка ($Q_{ск}, S_{ск}, I_{ск}$).

3. P_m – максимальная нагрузка (Q_m, S_m, I_m):

а) P_p – расчетная (максимальная длительная) нагрузка;

б) $P_{\text{пик}}$ – пиковая (максимальная кратковременная) нагрузка.

Средняя нагрузка – постоянная, неизменная во времени нагрузка в течение рассматриваемого промежутка времени, которая вызывает такой же расход электроэнергии, что и реальная, изменяющаяся нагрузка за этот же промежуток времени (T):

$$P_c = \frac{\int_0^T P(t)dt}{T}, \quad (2.4)$$

На практике средняя нагрузка определяется по показателям электрических счетчиков, либо других приборов, с помощью формул:

$$P_c = \frac{W}{T}, \quad (2.5)$$

$$Q_c = \frac{V}{T}, \quad (2.6)$$

$$P_c = \frac{\sum P_i \cdot \Delta t_i}{T}, \quad (2.7)$$

$$i_c = \frac{1}{\sqrt{3}U_H \cdot T} \int_0^T \sqrt{P^2 + Q^2} dt \approx \frac{\sqrt{P_c^2 + Q_c^2}}{\sqrt{3}U_H}, \quad (2.8)$$

$$P_c = \sum p_{ci}; Q_c = \sum q_{ci}; I_c \approx \sum i_{ci}$$

В практических целях в качестве средней нагрузки используется среднечасовая, средняя нагрузка за смену, за сутки, среднегодовая нагрузка. Для определения расчетной нагрузки используется средняя нагрузка за наиболее нагруженную смену, в качестве которой выбирается смена с

наибольшим расходом электроэнергии. Средняя мощность используется также и для определения расхода электроэнергии потребителей.

Среднеквадратичная нагрузка – нагрузка, которая не изменяется в течение промежутка времени T и вызывает потери мощности и энергии в элементах системы электроснабжения потребителей такие же, как реальная нагрузка, изменяющаяся за это же время:

$$P_{\text{ск}} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T P^2(t) dt}, \quad (2.9)$$

$$I_{\text{ск}} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T I^2(t) dt}, \quad (2.10)$$

$$P_{\text{ск}} = \sqrt{\frac{\sum P_i^2 \cdot \Delta t}{T}}, \quad (2.11)$$

Среднеквадратичная нагрузка используется для определения потерь мощности и энергии в элементах системы электроснабжения.

Максимальная нагрузка – это наибольшая из средних нагрузок за рассматриваемый промежуток времени. При этом различают максимальную длительную и максимальную кратковременную нагрузки.

Максимальная длительная нагрузка характеризуется периодом усреднения от нескольких минут до нескольких часов (рисунок 2.6). Она используется для выбора токоведущих частей СЭС по условию нагрева.

Максимальная кратковременная нагрузка характеризуется периодом усреднения от доли до нескольких секунд. Ее называют пиковой нагрузкой:

$$I_{\text{пик}} > I_{\text{м}} \geq I_{\text{ск}} \geq I_{\text{с}}.$$

Пиковая нагрузка используется для расчетов релейной защиты и автоматики, выбора предохранителей и автоматических выключателей.

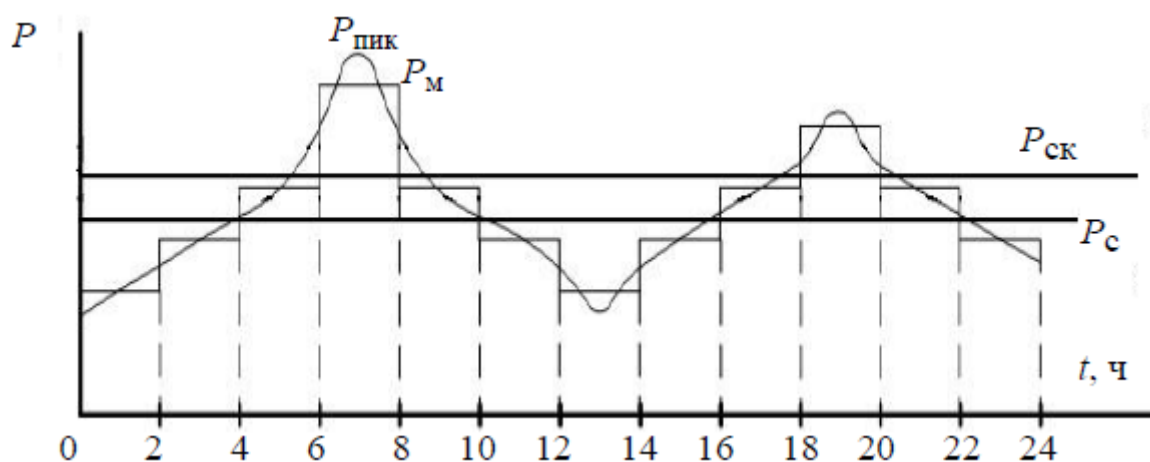


Рисунок 2.6 - Физические величины графика нагрузки

Из максимальной длительной нагрузки важнейшее значение имеет расчетная нагрузка. Под расчетной понимается такая условная нагрузка, которая эквивалентна реальной нагрузке по наиболее тяжелому тепловому эффекту. В связи с этим рассматривают следующие 2 определения расчетной нагрузки:

1. Расчетная нагрузка, определяющая нагрев (износ) изоляции.
2. Расчетная нагрузка, определяющая нагрев токоведущих частей.

Из двух значений расчетной мощности используют наибольшее значение. Как правило, этим значением является нагрузка, которая обуславливает наибольший нагрев проводника над температурой окружающей среды. При этом значение расчетной мощности определяется как:

$$P_p = \sqrt{3} I_p U_n \cos \varphi_{\text{ср.взв}}, \quad (2.12)$$

$$\cos \varphi_{\text{ср.взв}} = \frac{W}{\sqrt{W^2 + V^2}}.$$

где W , V – расходы активной и реактивной нагрузки соответственно.

Так как нагрев проводника определяется продолжительностью нагрузки, то должны существовать определенные периоды усреднения графика нагрузки. В качестве такого периода принимается величина, равная утроен-

ному значению постоянной времени нагрева токоведущих частей системы электроснабжения, на которые рассчитывается нагрузка: $T_{\text{уср}} = 3T_0$.

Постоянная времени нагрева (T_0) характеризует соотношение поглощающей и теплоотдающей способностей проводника:

$$T_0 = \frac{G \cdot c}{F}, \quad (2.13)$$

где G – масса, кг;

F – площадь охлаждающей поверхности, м^2 ;

c – коэффициент теплоотдачи.

T_0 зависит от материала проводника, его сечения и способа прокладки и может изменяться от нескольких минут до нескольких часов. Например, для открыто проложенных проводов с резиновой изоляцией постоянная времени нагрева принимает значения, приведенные в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Зависимость постоянной времени нагрева проводников от сечения

$F, \text{мм}^2$	6	10	16	25	35	50	70	95	120
$T_0, \text{мин}$	3	4,2	5,5	7,2	9	12	15	18,4	21,4

Постоянная времени нагрева токоведущих частей определяет период усреднения суточных графиков нагрузки, которые используются для решения задач по выбору токоведущих частей по условию их допустимого нагрева. Поэтому в большинстве случаев в качестве такого периода принят 30-минутный интервал, что соответствует постоянной времени нагрева проводников сечением 25–50 мм^2 , наиболее часто используемых в практике проектирования. Однако необходимо отметить, что при выборе сечения электропроводки без учета ее реальной постоянной времени нагрева приводит к тому, что в области малых сечений значение нагрузки занижено, и, следовательно, имеет место повышенный износ проводников. В области больших сечений завышенное значение нагрузки приводит к увеличению затрат на токо-

ведущие части СЭС. Данные положения можно пояснить на следующем примере.

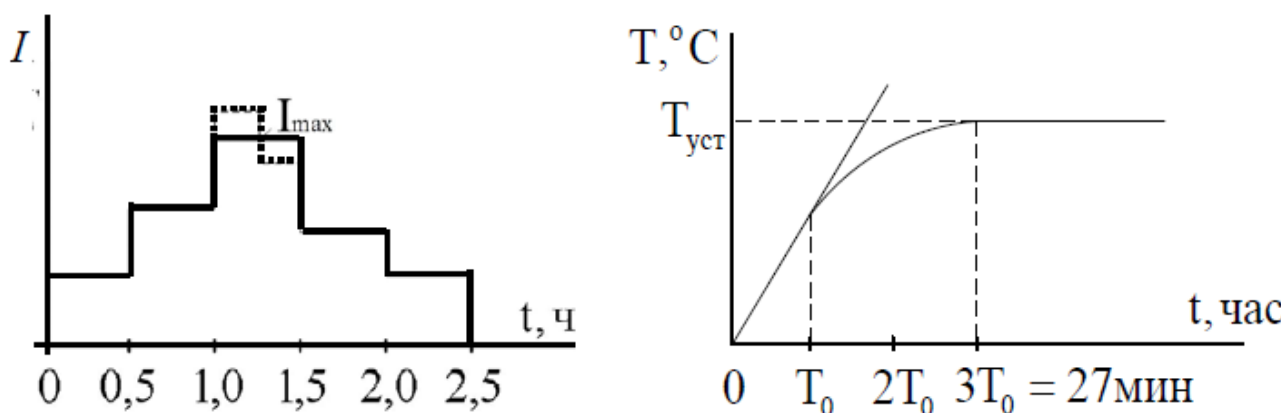


Рисунок 2.7 - Обоснование периода усреднения графика нагрузки

Предположим, что используя максимальную нагрузку (I_{\max}), представленную на графике (рисунок 2.7, $T_{\text{уст}}$ – установившаяся температура), выбран проводник сечением 35 мм^2 . Постоянная времени нагрева данного проводника $T_0 = 9$ минут. Это означает, что температура его нагрева станет равной $T_{\text{уст}}$, через время $3 \cdot T_0 = 27$ минут. В результате период нагрева практически соответствует периоду усреднения графика нагрузки, равному 30 минут.

Предположим, что используя эту же усредненную за 30 минут максимальную нагрузку I_{\max} , выбран проводник сечением 6 мм^2 . Постоянная времени его нагрева $T_0 = 3$ минуты, поэтому период нагрева до установившейся температуры составит 9 минут (рисунок 2.8). Это означает, что для выбора такого проводника целесообразно использовать график с периодом усреднения 9 минут.

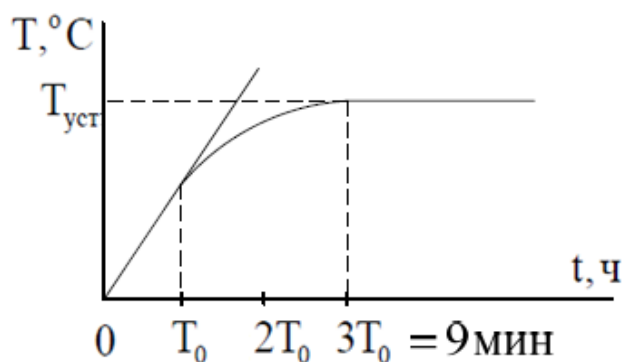


Рисунок 2.8 - Изменение температуры во времени проводника при $T_0 = 9$ мин

В итоге имеет место занижение расчетной нагрузки ($I_{max} < I'_{max}$) и повышенный износ выбранного проводника.

Коэффициенты, характеризующие графики нагрузки

Наряду с физическими величинами графики нагрузки описываются безразмерными коэффициентами. Эти коэффициенты устанавливают связь между основными физическими величинами, характеризуют неравномерность графиков нагрузки и использование электроприемников и потребителей электроэнергии по мощности и времени.

Коэффициенты, характеризующие связь между основными физическими величинами графиков нагрузки:

1. Коэффициент максимума графика:

$$K_M = \frac{P_M}{P_c}, \quad (2.14)$$

где P_M – максимальная нагрузка;

где P_c – средняя нагрузка.

В практике электроснабжения при определении расчетных нагрузок вместо коэффициента максимума используют коэффициент расчетной нагрузки:

$$K_p = \frac{P_p}{P_c}, \quad (2.15)$$

где P_p – расчетная нагрузка, представляющая собой максимальную нагрузку, эквивалентную реальной по тепловому эффекту.

Коэффициент максимума относится к групповым графикам нагрузки и устанавливает связь между средней и максимальной нагрузками за наиболее загруженную смену.

Коэффициент расчетной нагрузки определяется по справочным номограммам в зависимости от группового коэффициента использования, эффективного количества электроприемников и постоянной времени нагрева токоведущих частей: $K_p = f(K_{и}; n_{э}; T_0)$.

При этом приняты следующие постоянные времени нагрева:

- $T_0 = 10$ мин – для сетей напряжением до 1 кВ, выполненных распределительными шинопроводами и шкафами;
- $T_0 = 2,5$ ч – для магистральных шинопроводов, вводнораспределительных устройств и цеховых трансформаторных подстанций;
- $T_0 \geq 30$ мин – для кабелей напряжением 6–10 кВ, питающих цеховые трансформаторные подстанции и распределительные пункты. Расчетная мощность нагрузки для этих элементов определяется при $K_p = 1$.

2. Коэффициент заполнения графика:

$$K_{з.г} = \frac{P_c}{P_m} = \frac{1}{K_m}, \quad (2.16)$$

Коэффициент обратный коэффициенту максимума.

3. Коэффициент спроса:

$$K_c = \frac{P_p}{P_{ном}}, \quad (2.17)$$

$$K_c = K_{\text{и}} \cdot K_{\text{м}}, \quad (2.18)$$

где $K_{\text{и}}$ – коэффициент использования;

$K_{\text{м}}$ – коэффициент максимума.

4. Коэффициент формы графика:

$$K_{\text{ф.г}} = \frac{P_{\text{ск}}}{P_{\text{с}}} \geq 1, \quad (2.19)$$

$K_{\text{ф.г}} = 1-1,2$ – для групповых графиков;

$K_{\text{ф.г}} = 1-3$ – для индивидуальных графиков.

Например, режим работы насосного агрегата привода нефтедобывающего станка-качалки характеризуется периодическим графиком нагрузки (рисунок 2.9). Коэффициент формы такого графика составляет около 2-х, что приводит к высоким потерям мощности и энергии в элементах электроснабжения данной установки. Поэтому, с целью снижения потерь, к одному источнику питания (трансформатору) подключают несколько таких агрегатов, в результате чего выравнивается групповой график нагрузки.

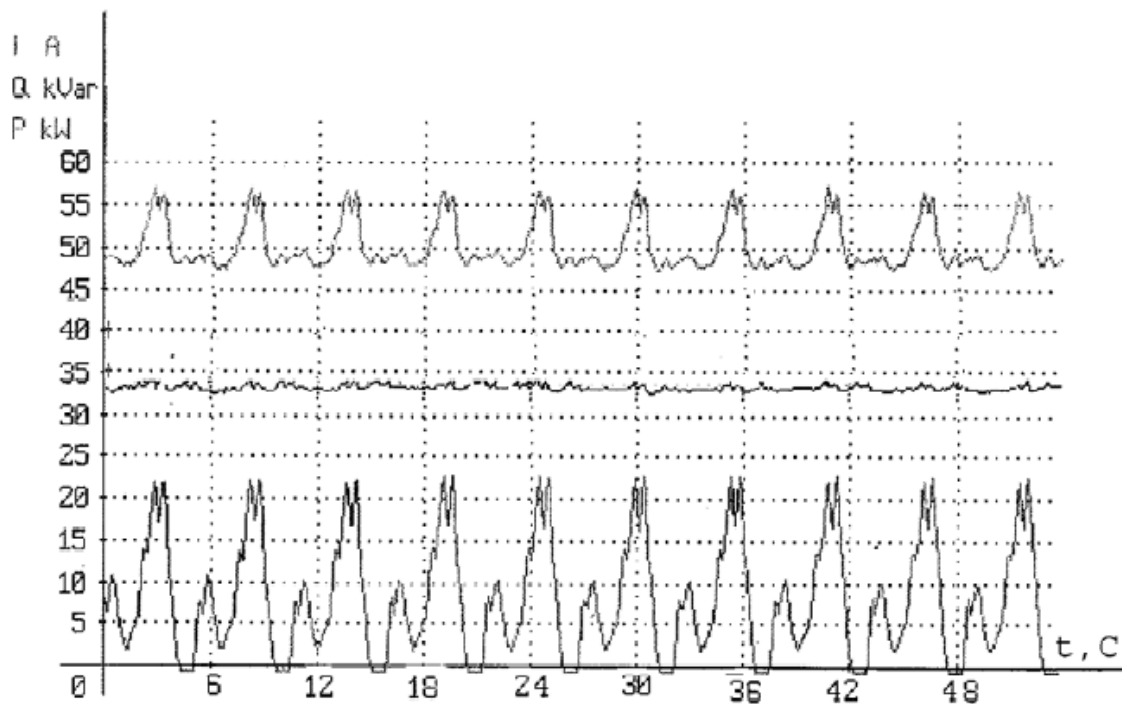


Рисунок 2.9 - График нагрузки агрегата нефтедобычи типа ШГН с двигателем марки Asle ($P_{\text{н}} = 50$ кВт, $\cos\varphi_{\text{н}} = 0,85$)

Коэффициент формы характеризует степень неравномерности графика нагрузки, прямо пропорционален величине потерь мощности и энергии в элементах системы электроснабжения потребителя.

Коэффициенты, характеризующие режимы работы электроприемников (потребителей электроэнергии):

1. Коэффициент включения:

$$K_B = \frac{t_B}{t_B + t_0 + t_{xx}}, \quad (2.20)$$

где t_B – время включения и работы электроприемников;

t_0 – время отключения электроприемника;

t_{xx} – время работы в режиме холостого хода.

Для групповых графиков коэффициент включения определяется как средневзвешенное значение коэффициентов включения входящих в группу электроприемников:

$$K_B = \frac{\sum K_{Bi} P_{Hi}}{\sum P_{Hi}}, \quad (2.21)$$

Коэффициент включения K_B характеризует использование электроприемников по времени.

2. Коэффициент загрузки:

$$K_3 = \frac{P_{CB}}{P_{НОМ}}, \quad (2.22)$$

где P_{CB} – средняя мощность нагрузки за время включения электроприемника:

$$P_{CB} = \frac{T_{ц}}{T_B} P_c, \quad (2.23)$$

где $T_{\text{ц}}$ – время цикла;

$T_{\text{в}}$ – время включения;

$P_{\text{с}}$ – средняя нагрузка за цикл или смену

$$P_{\text{св}} = \frac{\sum P_i \cdot \Delta t_i}{T_{\text{в}}}, \quad (2.24)$$

Коэффициент загрузки характеризует использование электроприемников по мощности.

3. Коэффициент использования:

$$K_{\text{и}} = \frac{P_{\text{с}}}{P_{\text{ном}}}, \quad (2.25)$$

При заданных индивидуальных коэффициентах использования групповой коэффициент рассчитывается как средневзвешенное значение по выражению:

$$K_{\text{и}} = \frac{\sum K_{\text{и}i} \cdot P_{\text{ном}i}}{\sum P_{\text{ном}i}}, \quad (2.26)$$

Коэффициент использования характеризует использование электроприемников по мощности и по времени – это один из основных коэффициентов, применяемых при определении расчетной нагрузки. Его значения приведены в справочниках для электрооборудования различных типов (например, для металлообрабатывающих станков $K_{\text{и}} = 0,12-0,2$).

$$K_{\text{и}} = K_3 \cdot K_{\text{в}}, \quad (2.27)$$

Наряду с коэффициентами использования в справочной литературе приведены также коэффициенты мощности электроприемников. Эти пара-

метры используются для определения расчетной нагрузки, расхода электроэнергии, для составления электрических балансов (таблица 2.2).

Таблица 2.2 – Характеристики режимов работы некоторых электроприемников

Наименование электроприемника	$K_{\text{и}}$	$\cos \varphi$
1	2	3
Насосы	0,7	0,8
Вентиляторы и компрессоры	0,6–0,75	0,75–0,85
Конвейеры		
– до 10 кВт	0,4	0,4
– свыше 10 кВт	0,55	0,7
Краны	0,25	0,5–0,6

Продолжение таблицы 2.2

1	2	3
Сушильный шкаф	0,8	1
Металлорежущие станки (МРС)	0,12–0,2	0,4–0,65
Сварочные трансформаторы	0,3	0,4
. Индукционные печи	0,7	0,75
Печи сопротивления	0,6–0,75	0,95

Контрольные вопросы.

- 1) Что называют графиком электрической нагрузки, какие нагрузки выделяют?
- 2) Типы индивидуальных графиков нагрузки.
- 3) Типы групповых графиков нагрузки.
- 4) Показатели графиков нагрузки.
- 5) Коэффициенты, характеризующие графики нагрузки.
- 6) Коэффициенты, характеризующие режимы работы электроприемников.

ТЕМА 3

ХАРАКТЕРНЫЕ ПРИЕМНИКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Все приемники 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, воздуходувные 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 обо-

рудования. 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:

$$K_B = 0,5–0,85; K_{и} = 0,12–0,6; K_c = 0,4–0,7; \cos \varphi = 0,4–0,7.$$

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

- 1) Лампы накаливания: $H = 10\text{--}20$ лм/Вт, КПД = 3–5 %;
 - 2) Люминесцентные лампы: $H = 40\text{--}60$ лм/Вт, КПД = 40–60 %;
- ДРИ: $H = 65\text{--}90$ лм/Вт.

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

ДРЛ, ДРИ – $K_{\text{ПРА}} = 1,1$;

ЛЛ – $K_{\text{ПРА}} = 1,25$.

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.

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

По принципу действия различают следующие типы электрических печей:

- 1) печи сопротивления;
- 2) дуговые печи (выделяют тепло за счет горения дуги);
- 3) индукционные и электротермические установки;
- 4) 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).

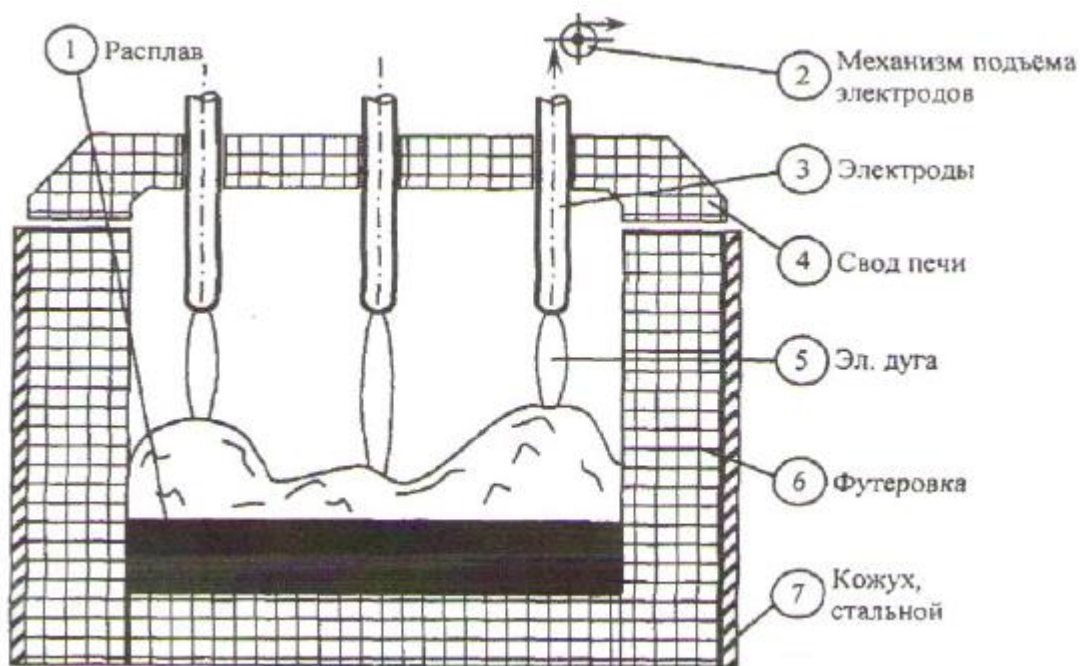
Печи прямого действия используют теплоту, возникающую за счет протекания тока в самом изделии (например, печи для получения изделий из графита. Выпускаются одно- и трехфазными: $U_H = 0,38; 6; 10$ кВ, $S_H = 800\text{--}15000$ кВ·А, $\cos\varphi = 0,7\text{--}0,8$.

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

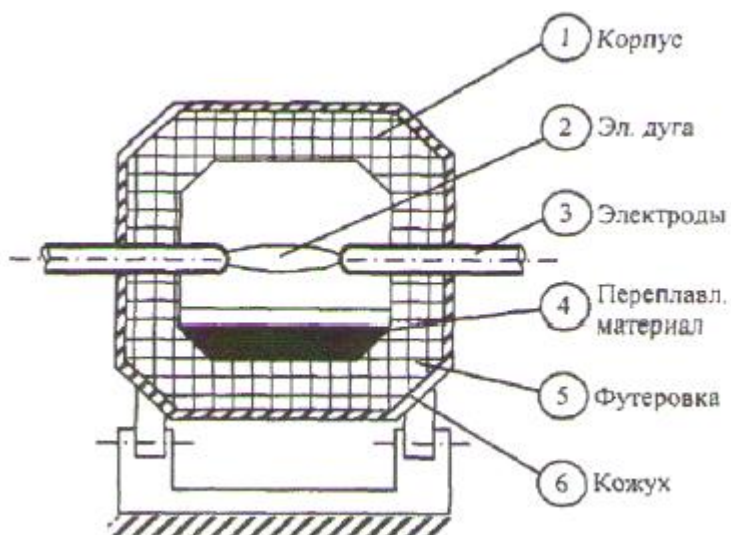
В большинстве случаев печи сопротивления относятся ко II категории надежности электроснабжения. Они работают в продолжительном режиме.

Дуговые электрические печи по способу нагрева делятся на печи прямого и косвенного действия (рисунок 3.1).

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, $\cos\varphi = 0,85\text{--}0,9$, $S = 400\text{--}200000$ кВ·А, $U_I = 6, 10, 35, 110$ кВ, $U_{II} = 500\text{--}1000$ В.



А



Б

а – прямого действия; б – косвенного действия
Рисунок 3.1 – Дуговые сталеплавильные печи

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: $U_n = 6, 10 \text{ кВ}$; $S_n = 125\text{--}600 \text{ кВ}\cdot\text{А}$. 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 (рисунок 3.2).

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

По конструкции (рисунок 3.2) индукционные каналные печи представляют собой футерованную ванну 7, заключенную в металлический корпус 6. Индукционная единица состоит из индуктора 3, шихтованного магнитопровода 2 из трансформаторной стали и подового камня 10 с охватывающими индуктор плавильными каналами 1. Для слива металла 8 через сливной носок 4 печь наклоняется при помощи гидро- или пневмопривода. Загрузку печи ведут сверху через проем, закрытый во время плавки футерованной крышкой 5. Подъем крышки производится гидро- или пневмоприводом. Подовый камень 10 охлаждается воздухом при помощи вентилятора 9 через зазор между индуктором и подовым камнем. Достоинством таких печей является высокий КПД, составляющий 60–95 %.

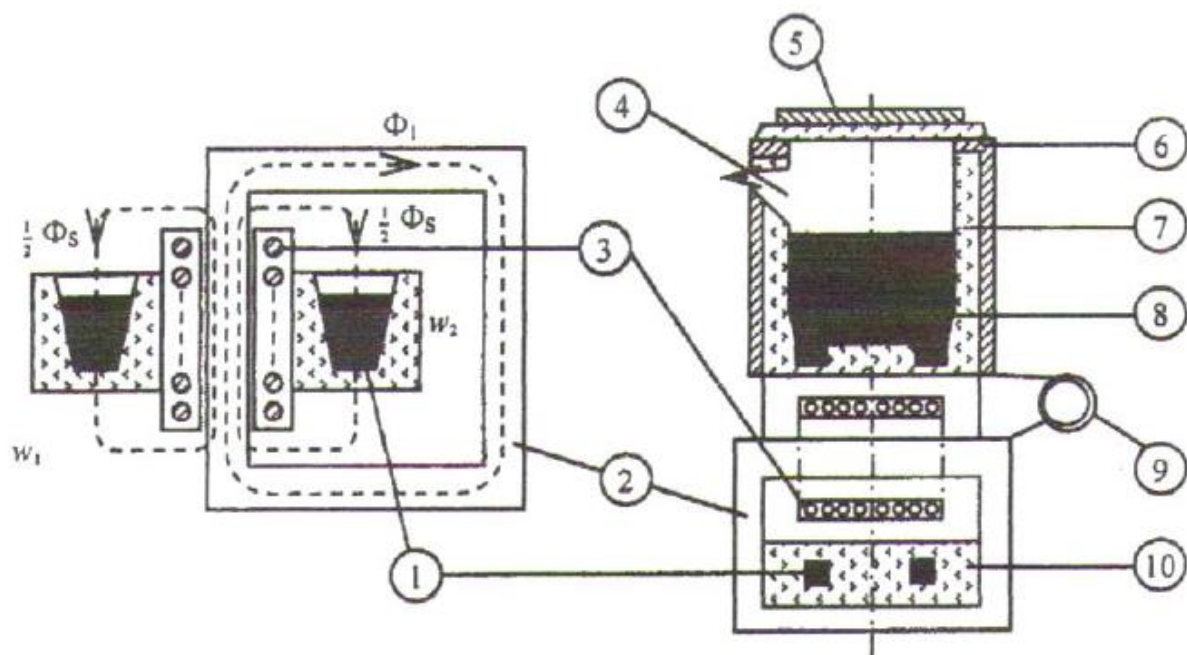


Рисунок 3.2 – Индукционная электроустановка

Таким образом, печи со стальным сердечником называют канальными: $S_n = 125\text{--}2000 \text{ кВ}\cdot\text{А}$; $U = 0,38; 6; 10 \text{ кВ}$. Выпускаются в одно-, двух- и трех-фазном 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 ($\cos\phi = 0,2\text{--}0,8$).

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 (рисунок 3.3).

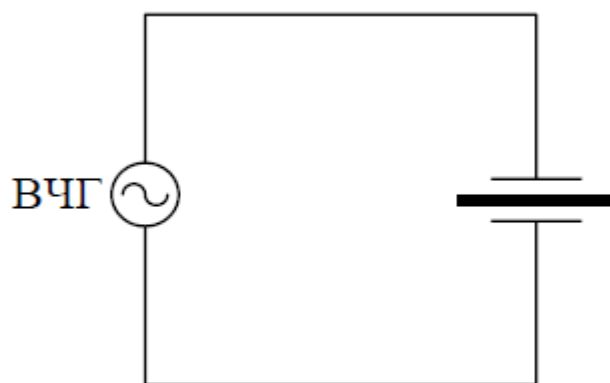


Рисунок 3.3 – Электрическая схема установки нагрева диэлектриков

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.

5. 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:

- 1) на полупроводниковые преобразовательные установки;
- 2) на преобразовательные установки с ртутными выпрямителями;
- 3) на преобразовательные установки с двигателями-генераторами;
- 4) на преобразовательные установки с механическими выпрямителями.

По своему назначению преобразовательные установки служат для питания:

- 1) двигателей ряда машин и механизмов;

- 2) электролизных ванн;
- 3) внутризаводского электрического транспорта;
- 4) электрофильтров;
- 5) 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:

1. Жилые дома (жилым сельским домом при расчете нагрузок считается многоквартирный дом или квартира в многоквартирном доме, имеющая отдельный счетчик электроэнергии).
2. Предприятия, обслуживающие население (больницы, школы, магазины, бани и т. д.).

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

4. 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:

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

2) электроводонагреватели ($P_n = 5\text{--}1000$ кВт) для нагрева воды при отсутствии централизованного горячего водоснабжения;

3) электроустановки для сушки сельскохозяйственной продукции и кормов;

4) 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.

- 1) Опишите в качестве приемника электроэнергии электродвигатели силовых и общепромышленных установок.
- 2) Опишите в качестве приемника электроэнергии электродвигатели производственных станков.
- 3) Опишите в качестве приемника электроэнергии осветительные электроустановки.
- 4) Опишите в качестве приемника электроэнергии электрические печи и электротермические установки.
- 5) Опишите в качестве приемника электроэнергии выпрямительные и преобразовательные установки.
- 6) Коммунально-бытовые приемники и потребители электроэнергии.
- 7) Сельскохозяйственные потребители электроэнергии.

ТЕМА 4

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСЧЕТНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

Определение расчетной нагрузки, является одной из основных задач электроснабжения. При этом различают 2 величины расчетной нагрузки:

- определяющая максимальный нагрев проводника;
- вызывающая максимальный износ изоляции.

Расчетной нагрузкой по пику нагрева проводника называется такая неизменная во времени нагрузка, которая обуславливает максимальный перегрев проводника над температурой окружающей среды. Расчетной нагрузкой по пику теплового износа изоляции называется такая неизменная во времени нагрузка, которая вызывает такой же максимальный тепловой износ изоляции, как и реальная, изменяющаяся во времени нагрузка.

Для решения практических задач используют наибольшую из этих двух нагрузок. В общем случае расчетный ток определяется по выражению

$$I_p = \frac{P_p}{\sqrt{3} U_n \cos \varphi_{\text{ср.взв}}}, \quad (4.1)$$

$$\cos \varphi_{\text{ср.взв}} = \frac{W}{\sqrt{V^2 + W^2}}, \quad (4.2)$$

где W – расход активной электроэнергии, кВт · ч; V – расход реактивной электроэнергии, квар · ч.

Величина расчетной нагрузки определяет выбор токоведущих элементов СЭС, а также обуславливает ее основные техникоэкономические показатели. Так, если величина расчетной нагрузки завышена относительно фактической, то это приведет к увеличению капитальных затрат на СЭС. Если она меньше фактической, то это ведет к ускоренному износу оборудования, к увеличению потерь мощности и энергии, может привести к повреждению электрооборудования и перерывам электроснабжения.

Для определения расчетной нагрузки имеется большое количество методов, и все эти методы условно можно разделить на основные и вспомогательные. К основным методам относятся статистический и метод упорядоченных диаграмм показателей графиков нагрузки.

Вспомогательными методами являются метод коэффициента спроса, удельной мощности на единицу производственной площади, удельного расхода электроэнергии на единицу выпускаемой продукции либо оказываемых услуг.

Статистический метод определения расчетной нагрузки

Статистический метод основан на положении о том, что нагрузка, при числе электроприемников от 4-х и более, подчиняется нормальному закону распределения вероятности (закон Гаусса). При этом плотность распределения вероятности нагрузки определяется выражением

$$\varphi(P) = -\frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(P-P_c)^2}{2\sigma^2}}, \quad (4.3)$$

где σ – среднее квадратическое отклонение нагрузки от математического ожидания.

В основе статистического метода заложено одно из основных правил теории вероятности случайных величин, подчиняющихся нормальному закону распределения (правило трех сигм): вероятность того, что случайная величина, подчиняющаяся нормальному закону распределения вероятности, отклонится от своего математического ожидания на величину, превышающую утроенное значение среднее квадратическое отклонения, практически равна 0: $P = 1 - 0,9973 = 0,0027$.

Распространяя данное правило к определению расчетной нагрузки, очевидно, что с вероятностью 0,9973 электрическая нагрузка будет находиться в следующих пределах: $P_c - 3\sigma \leq P \leq P_c + 3\sigma$.

Тогда критические значения нагрузки могут быть определены по выражениям:

$$P_{\max} = P_c + 3\sigma, \quad (4.4)$$

$$P_{\min} = P_c - 3\sigma; \quad (4.5)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (P_i + P_c)^2 \cdot \Delta t_i}{T}}, \quad (4.6)$$

$$P_c = \frac{\sum P_i \cdot \Delta t_i}{T}, \quad (4.7)$$

В практических целях не целесообразно определять расчетную (максимальную) нагрузку с очень высокой вероятностью, поэтому выражение для определения P_p принимает вид:

$$P_p = P_c + \beta \cdot \sigma, \quad (4.8)$$

где β – кратность меры рассеивания (коэффициент Стьюдента).

Чем меньше β , тем выше вероятность того, что реальная нагрузка превысит расчетную (таблица 4.1). Поэтому важным моментом статистического метода является определение (обоснование) значения β .

Таблица 4.1 – Вероятность превышения рассчитанной нагрузки

β	–3	–2,5	–2	–1,5	–1	–0,5	0,5	1	1,5	2	2,5	3
P	0,9973	0,995	0,975	0,935	0,84	0,69	0,31	0,16	0,065	0,025	0,005	0,003

На практике при определении расчетной нагрузки без учета теплового износа изоляции принимают $\beta = 2,5$. В этом случае вероятность того, что реальная нагрузка превысит расчетную, составляет 0,005 или 0,5 %.

В некоторых случаях $\beta = 1,65$, при этом вероятность превышения реальной нагрузки составляет 0,05 или 5%, что является приемлемым для инженерных расчетов. Под вероятностью превышения реальной нагрузки рас-

четной понимается доля времени, в течение которого реальная нагрузка может быть больше, чем расчетная.

Для современных потребителей электроэнергии, режимы работы которых отличаются нестабильностью, закон распределения вероятности нагрузки иногда отличается от нормального.

Вероятности нагрузки при равномерном законе распределения:

$$P_c - \sqrt{3}\sigma < P < P_c + \sqrt{3}\sigma$$

$$P_m = P_p + \sqrt{3}\sigma$$

При этом все значения нагрузки равновероятны.

Статистический метод применяется на стадии реконструкции СЭС, когда известны графики нагрузки.

Метод упорядоченных диаграмм

В случае, когда количество электроприемников в группе более 3-х, для определения расчетной электрической нагрузки при проектировании СЭС используется метод упорядоченных диаграмм. Данный метод является основным для определения расчетной нагрузки для напряжения до 1 кВ и применяется в основном при проектировании цехового электроснабжения. Сущность метода упорядоченных диаграмм заключается в установлении связи между расчетной мощностью нагрузки и показателями режимов работы электроприемников группы:

$$P_m = K_m \cdot K_{\text{и}} \cdot P_{\text{уст}}, \quad (4.9)$$

где K_m – коэффициент максимума графика нагрузки;

$K_{\text{и}}$ – групповой коэффициент использования;

$P_{\text{уст}}$ – установленная мощность электроприемников в группе.

С 1992 г. выражение для определения расчетной мощности нагрузки унифицировано и имеет вид:

$$P_p = K_p \cdot P_{см} = K_p \cdot K_{и} \cdot P_{уст}, \quad (4.10)$$

где K_p – коэффициент расчетной активной нагрузки.

В то время, как $K_{м} \geq 1$, значения K_p могут быть как больше, так и меньше единицы, в зависимости от того, на каком уровне СЭС определяется расчетная нагрузка.

Метод упорядоченных диаграмм основан на следующем алгоритме:

1. Определение установленной мощности группы электроприемников:

$$P_{уст} = \sum p_{пасп.i}, \quad (4.11)$$

При этом значения $p_{пасп.i}$ электроприемников, работающих в повторно-кратковременном режиме не приводятся к длительному режиму работы;

2. Определение группового коэффициента использования:

$$K_{и} = \frac{\sum K_{иi} \cdot P_{иi}}{\sum P_{иi}} = \frac{\sum K_{иi} \cdot P_{иi}}{P_{уст}}, \quad (4.12)$$

где $K_{иi}$ – коэффициент использования i -го электроприемника, принимается по справочным данным в зависимости от наименования электроприемника.

3. Определение эффективного количества электроприемников в группе:

$$n_{эф} = \frac{(\sum P_{иi})^2}{\sum P_{иi}^2} = \frac{P_{уст}^2}{\sum P_{иi}^2}, \quad (4.12)$$

Эффективное количество электроприемников $n_{эф}$ – такое количество электроприемников, одинаковых по мощности и по режиму работы, которое обеспечивают такую же расчетную нагрузку, как и реальное количество электроприемников, разных по мощностям и режимам работы.

Эффективное количество электроприемников $n_{\text{эф}}$ зависит от фактического числа электроприемников в группе (n), показателя силовой сборки в группе ($m = p_{\text{номmax}} / p_{\text{номmin}}$), коэффициента использования ($K_{\text{и}}$), номинальной мощности ($P_{\text{ном}}$) $n_{\text{эф}} = f(n; m; K_{\text{и}}; P_{\text{ном}})$.

Способы упрощенного вычисления эффективного количества электроприемников $n_{\text{эф}}$:

1) При четырех и более фактических электроприемниках в группе эффективное число приемников считается равным фактическому при $m \leq 3$ и любом коэффициенте использования $K_{\text{и}}$.

При определении эффективного количества электроприемников $n_{\text{эф}}$ исключаются те наименьшие электроприемники группы, суммарная номинальная мощность которых не превышает 5 % суммарной номинальной мощности всей группы. При этом число исключенных электроприемников не учитывается также и в величине n .

2) При $m > 3$ и $K_{\text{и}} \geq 0,2$ эффективное число электроприемников определяется по соотношению:

$$n_{\text{эф}} = \frac{2 \cdot \sum P_{\text{ном}i}}{P_{\text{ном max}}}, \quad (4.13)$$

В тех случаях когда найденное по формуле (4.13) эффективное число электроприемников оказывается больше чем фактическое число электроприемников в группе, следует принимать $n_{\text{эф}} = n$.

3)) При $m > 3$ и $K_{\text{и}} \leq 0,2$ эффективное число электроприемников определяется с помощью кривых и таблиц. Порядок определения следующий:

- определяется наибольший по номинальной мощности электроприемник рассматриваемой группы;
- определяются наиболее крупные электроприемники, номинальная мощность которых равна или больше половины мощности наибольшего электроприемника группы;

- определяются число n_1 и суммарная номинальная мощность $P_{\text{ном } 1}$ наибольших электроприемников группы;
- определяются число n и суммарная номинальная мощность $P_{\text{ном}}$ всех электроприемников группы;
- находятся значения $n^* = n_1 / n$ и $P^* = P_{\text{ном } 1} / P_{\text{ном}}$;
- по кривым и по таблицам по найденным значениям n^* и P^* определяется величина $n_{\text{эф}*}$, а затем из выражения $n_{\text{эф}*} = n_{\text{эф}} / n$ находится $n_{\text{эф}}$.

4. Определение по справочным номограммам коэффициента расчетной активной нагрузки:

$$K_p = f(K_{\text{и}}; n_{\text{эф}}; T_o),$$

где T_o – постоянная времени нагрева элемента СЭС, на который определяется расчетная нагрузка:

- 1) $T_o = 10$ мин – цеховые электросети, выполненные распределительными шинопроводами (ШРА) и распределительными шкафами (ШР или ПР);
- 2) $T_o = 2,5$ ч – магистральные шинопроводы (ШМА), вводнораспределительные устройства (ВРУ), цеховые трансформаторные подстанции (ЦТП);
- 3) $T_o = 30$ мин – для сетей 6–10 кВ. В этом случае $K_p = 1$ и не зависит от $K_{\text{и}}$ и $n_{\text{эф}}$.

5. Определяется расчетная активная нагрузка:

$$P_p = K_p \cdot K_{\text{и}} \cdot P_{\text{уст}}, \quad (4.14)$$

6. Определение расчетной реактивной нагрузки. При этом возможны 2 случая:

- 1) если $T_o = 10$ мин, то

$$Q_p = K_{\text{мр}} \cdot \sum (P_{\text{н}i} \cdot K_{\text{и}i} \cdot \text{tg} \varphi_i), \quad (4.15)$$

где $\operatorname{tg}\varphi_i$ – коэффициент реактивной мощности i -го электроприемника в группе, определяется по справочным данным в зависимости от наименования электроприемника;

$K_{\text{рм}}$ – коэффициент расчетный реактивной нагрузки:

$$K_{\text{рм}} = 1,1 \text{ при } n_{\text{эф}} \leq 10;$$

$$K_{\text{рм}} = 1 \text{ при } n_{\text{эф}} > 10;$$

2) если $T_o = 2,5$ ч (ШМА, ВРУ, ЦТП), а также при $T_o = 30$ мин (сети 6 – 10кВ), то

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg}\varphi_{\text{ср.взв}}, \quad (4.15)$$

где $\operatorname{tg}\varphi_{\text{ср.взв}}$ – средневзвешенный коэффициент реактивной мощности группы электроприемников:

$$\operatorname{tg}\varphi_{\text{ср.взв}} = \frac{\sum P_{\text{н}i} \cdot \operatorname{tg}\varphi_i}{\sum P_{\text{н}i}} = \frac{\sum P_{\text{н}i} \cdot \operatorname{tg}\varphi_i}{P_{\text{уст}}} = \frac{V}{W}, \quad (4.16)$$

7. Определение полной расчетной нагрузки:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (4.17)$$

8. Определение расчетного тока:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_{\text{н}}}, \quad (4.18)$$

Полученный ток используется для выбора элементов электрической сети по условию допустимого нагрева. При этом условие допустимого нагрева является основным для проектирования систем цехового электроснабжения. Исключение составляют цеха, время использования максимальной нагрузки

(T_m) которых > 5000 часов. В этом случае выбор элементов электроснабжения осуществляется по экономическим условиям (согласно ПУЭ).

Определение расчетной нагрузки

для группы из трех или менее электроприемников

В качестве расчетной нагрузки принимается суммарная установленная электрическая нагрузка электроприемников:

$$P_p = \sum \frac{P_{hi}}{\eta_{hi}}, \quad (4.19)$$

$$Q_p = \sum q_{hi} = \sum \frac{P_{hi}}{\eta_{hi}} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{hi}, \quad (4.20)$$

$$S_p = \sqrt{P_{pi}^2 + Q_{pi}^2}, \quad (4.21)$$

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} U_n}, \quad (4.22)$$

где $\operatorname{tg} \varphi_{hi}$ – номинальный коэффициент реактивной мощности электроприемника, указывается в паспортных данных электроприемника;

η_{hi} – номинальный коэффициент полезного действия электроприемника.

Для одиночных электроприемников в качестве расчетной принимается номинальная нагрузка, приведенная к длительному режиму работы:

$$p_p = \frac{P_{hi}}{\eta_{hi}} \sqrt{\text{ПВ}}, \quad (4.23)$$

$$q_p = \frac{P_{hi}}{\eta_{hi}} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{hi} \sqrt{\text{ПВ}}, \quad (4.24)$$

$$S_p = \sqrt{p_p^2 + q_p^2}, \quad (4.25)$$

$$i_p = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_H} = \frac{P_H \cdot \sqrt{ПВ}}{\sqrt{3}U_H \cdot \cos \varphi_H \cdot \eta_H}, \quad (4.26)$$

Полученное значение тока используется для расчета ответвлений к электроприемникам (выбор провода, магнитного пускателя, защитной аппаратуры).

Вспомогательные методы определения расчетной нагрузки

На практике в ряде случаев отсутствуют графики электрической нагрузки (ГЭН), а также сведения о режимах работы электроприемников. В этих случаях расчетную нагрузку определяют вспомогательными (эмпирическими) методами:

1. Метод коэффициента спроса.
2. Метод удельного расхода электроэнергии на единицу выпускаемой продукции.
3. Метод удельной плотности нагрузки на единицу производственной площади.

1. Метод коэффициента спроса

Расчетная нагрузка определяется по выражению:

$$P_p = K_c \cdot P_{уст}, \quad (4.27)$$

$$Q_p = P_p \cdot tg \varphi, \quad (4.28)$$

где K_c – коэффициент спроса группы электроприемников. Значение K_c принимается по справочным таблицам в зависимости от состава группы электроприемников, наименования потребителя (физически K_c показывает долю суммы номинальных мощностей электроприемников, статистически отражающей максимальный, практически ожидаемый режим одновременной работы и загрузки некоторого сочетания установленных электроприемников);

$\text{tg } \varphi$ – средневзвешенный коэффициент реактивной мощности рассматриваемого потребителя электроэнергии, определяется по справочным данным.

Метод широко используется для определения расчетной нагрузки цехов предприятия и завода в целом, особенно на предпроектных стадиях.

2. Метод удельного расхода электроэнергии на единицу выпускаемой продукции

$$P_c = \frac{C_{уд} \cdot \Pi}{T}, \text{ кВт} \quad (4.29)$$

где Π – объем произведенной продукции за время T ;

$C_{уд}$ – удельный расход электроэнергии, характеризует эффективность использования электроэнергии, кВт · ч/ед. прод.:

$$C_{уд} = \frac{W}{\Pi}, \quad (4.30)$$

Метод используется для определения средней нагрузки участков, отделений и цехов, где технологическая продукция Π однородна и количественно мало меняется. Значения удельного расхода электроэнергии приводятся в справочной литературе в зависимости от наименования продукции, однако на практике эти значения могут отличаться. Значение удельных расходов электроэнергии целесообразно принимать по результату их измерения, а также по результатам разработки норм расхода электроэнергии на единицу выпускаемой продукции.

3. Метод удельной плотности нагрузки на единицу производственной площади

Удельная плотность нагрузки определяется на основании обследования цехов действующих промышленных предприятий:

$$S_{уд} = \frac{S_p}{F_{ц}}, \text{ кВ}\cdot\text{А/м}^2, \quad (4.31)$$

$$P_{уд} = \frac{P_p}{F_{ц}}, \text{ кВ/м}^2, \quad (4.31)$$

где S_p – максимальная (расчетная) нагрузка цеха;

$F_{ц}$ – площадь цеха.

Значения $S_{уд}$, $P_{уд}$ приводятся в справочной литературе в зависимости от наименования потребителя и площади его производственных помещений.

Например, для металлообрабатывающих цехов $P_{уд} = 0,12\text{--}0,25 \text{ кВт/м}^2$.

Расчетная нагрузка определяется по выражению: $P_p = P_{уд} \cdot F$.

Данный метод широко используется для определения расчетной осветительной нагрузки. При этом расчетная нагрузка освещения определяется по выражению

$$P_{р.о} = K_{с.о} \cdot P_{уд.о} \cdot F, \quad (4.32)$$

где $K_{с.о}$ – коэффициент спроса осветительной нагрузки;

$P_{уд.о}$ – удельная мощность осветительной нагрузки, которая в зависимости от требований к освещенности изменяется в широких пределах (4–100 Вт/м²).

Определение расчетной нагрузки потребителей на напряжении 6–10 кВ

Задача заключается в поиске расчетной электрической нагрузки цехов потребителя, а также на шинах его источников питания (РП, ГПП, ПГВ). При определении расчетной нагрузки, как правило, используют вспомогательные методы расчета: метод коэффициента спроса для определения расчетной силовой нагрузки и метод удельной плотности нагрузки для определения расчетной осветительной мощности.

Расчет выполняется в следующем порядке:

1. Методом коэффициента спроса определяется расчетная нагрузка каждого из участков (цехов) потребителя:

$$P_{pci} = K_{ci} \cdot P_{уст i} , \quad (4.33)$$

$$Q_{pci} = P_{pci} \cdot \operatorname{tg} \varphi_i , \quad (4.34)$$

где K_{ci} , $\operatorname{tg} \varphi_i$ – коэффициенты спроса и реактивной мощности i -го участка (цеха) предприятия, принимаются по справочным данным.

2. Методом удельной плотности нагрузки определяется расчетная осветительная мощность:

$$P_{p.o i} = K_{c.o i} \cdot P_{уд.o i} \cdot F_i , \quad (4.35)$$

где $K_{c.o i}$ – коэффициент спроса осветительной нагрузки i -го участка;

$P_{уд.o i}$ – коэффициент удельной мощности осветительной нагрузки, Вт/м²;

F_i – площадь участка.

3. Рассчитывается суммарная полная нагрузка всех участков (цехов) потребителя:

$$P_{p\Sigma} = P_{p\Sigma i} + \sum P_{poi}$$

$$Q_{p\Sigma} = \sum Q_{pci}$$

$$S_{p\Sigma} = \sqrt{P_{p\Sigma}^2 + Q_{p\Sigma}^2}$$

4. Определяется расчетная нагрузка предприятия в целом:

$$P_{рп} = K_o \cdot (P_{p\Sigma} + \Delta P_{л} + \Delta P_{т} + P_{вн}), \quad (4.36)$$

$$Q_{рп} = K_o \cdot (Q_{p\Sigma} + \Delta P_{л} + \Delta Q_{т} + Q_{вн}), \quad (4.37)$$

где K_o – коэффициент одновременности максимумов нагрузки, находится в зависимости от группового коэффициента использования и количества присоединений (участков) потребителей, $K_o = f(K_{и}; n)$ по справочной номограм-

ме и учитывает разновременность максимумов нагрузки отдельных участков потребителя;

$P_{\text{вн}}$, $Q_{\text{вн}}$ – расчетная активная и реактивная нагрузки электроприемников высокого напряжения потребителя:

$$P_{\text{вн}} = K_{\text{с}} \cdot P_{\text{н}}^{\text{вн}}$$

$$Q_{\text{вн}} = P_{\text{вн}} \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

Из формул видно, что при определении расчетной нагрузки потребителя в целом учитываются потери мощности в элементах системы внутризаводского электроснабжения (кабельные линии и цеховые трансформаторы). На стадии, когда нет схем электроснабжения и отсутствуют сведения об ее элементах, потери мощности в них допускается определять по приближенным выражениям:

- для трансформаторов

$$\Delta P_{\text{т}} = 0,025 \cdot S_{\text{р}\Sigma}$$

$$\Delta Q_{\text{т}} = 0,1 \cdot S_{\text{р}\Sigma}$$

- для кабелей.

$$\Delta P_{\text{л}} = 0,035 \cdot S_{\text{р}\Sigma}$$

$$\Delta Q_{\text{л}} \approx 0$$

На основании расчета нагрузки потребителя выбираются высоковольтные кабельные линии, необходимые для канализации электроэнергии по территории потребителя, а также элементы РП, ГПП, ПГВ:

$$S_{\text{рп}} = \sqrt{P_{\text{рп}}^2 + Q_{\text{рп}}^2}, \quad (4.38)$$

$$I_{\text{р}} = \frac{S_{\text{р}}}{\sqrt{3}U_{\text{н}}}, \quad (4.39)$$

Определение расчетной нагрузки при наличии однофазных электроприемников в группе

Наряду с 3-фазными электроприемниками потребители электроэнергии используют также и однофазные электроприемники (сварочные агрегаты, гальванические электроустановки, осветительные электроустановки и др.).

При включении однофазных электроприемников на фазное напряжение нагрузка каждой фазы определяется суммой всех подключенных нагрузок на эту фазу (рисунок 4.1а).

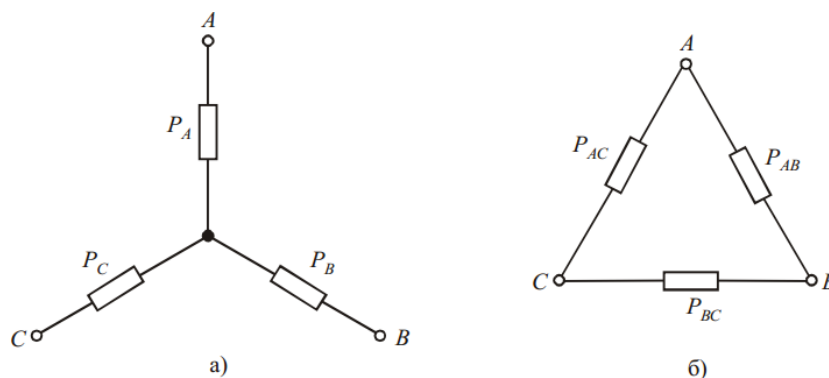


Рисунок 4.1 – Схема включения однофазных нагрузок
на фазное (а) и линейное (б) напряжение

При включении однофазных электроприемников на линейной напряжение нагрузка отдельных фаз определяется как полусумма нагрузок двух плеч, прилегающих к данной фазе (рисунок 4.1б):

$$P_a = (P_{ab} + P_{ac})/2; \quad P_b = (P_{ab} + P_{bc})/2; \quad P_c = (P_{bc} + P_{ac})/2$$

Степень неравномерности распределения нагрузки по фазам рассчитывается по выражению

$$H = \frac{P_{\text{ф.нб}} - P_{\text{ф.нм}}}{P_{\text{ф.нм}}}, \quad (4.40)$$

где $P_{\text{ф.нб}}$ – номинальная нагрузка наиболее нагруженной из фаз;

$P_{\text{ф.нм}}$ – номинальная нагрузка наименее нагруженной из фаз.

Расчет приемников повторно-кратковременного режима работы приводится к длительному.

Если неравномерность однофазных электроприемников не превышает 15 % общей мощности 3-фазных электроприемников в группе, то они учитываются как 3-фазные электроприемники (сумма всех однофазных нагрузок).

Если неравномерность превышает 15 %, то расчетная нагрузка определяется по одной из рассмотренных ниже методик.

При наличии однофазных электроприемников, когда их количество не превышает 3-х, эквивалентная расчетная 3-фазная нагрузка определяется следующим образом:

- при включении электроприемников на фазное напряжение:

$$P_{\text{усл}}^{(3)} = 3P_{\text{ф.нб}}^{(1)} \quad (4.41)$$

где $P_{\text{ф.нб}}^{(1)}$ - мощность наиболее загруженной фазы.

- при включении на линейное напряжение:

$$P_{\text{усл}}^{(3)} = \sqrt{3}P_{\text{ф.нб}}^{(1)} - \text{для одного электроприемника} \quad (4.42)$$

$$P_{\text{усл}}^{(3)} = 3P_{\text{ф.нб}}^{(1)} - \text{для нескольких электроприемников} \quad (4.43)$$

условная трехфазная номинальная мощность может быть определена и по мощности двух наиболее загруженных плеч $P_{\text{ном1}}$ и $P_{\text{ном2}}$:

$$P_{\text{усл}}^{(3)} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{P_{\text{ном1}}^2 + P_{\text{ном2}}^2 + P_{\text{ном1}} \cdot P_{\text{ном2}}} \quad (4.44)$$

Расчетная нагрузка для однофазных электроприемников в случае, когда их количество больше, чем 3, при одинаковых коэффициентах использования $K_{\text{и}}$ и мощности $\cos \varphi$ определяется по формулам:

$$P_{\text{р}} = 3K_{\text{и}}K_{\text{р}}P_{\text{ф.нб}}, \quad (4.45)$$

$$Q_p = 3K_n K_p P_{ф.нб} \cdot tg\varphi, \quad (4.46)$$

где K_p – коэффициент расчетной активной нагрузки, определяется в зависимости от группового коэффициента использования K_n и эффективного количества электроприемников в группе: $K_p = f(K_n; n_{эф})$.

При этом эффективное количество однофазных электроприемников определяется по выражениям:

1) для однофазных электроприемников

$$n_{эф} = \frac{2 \sum P_{н.о.i}}{3P_{н.о.мах}} \quad (4.47)$$

где $\sum P_{н.о.i}$ – сумма номинальных мощностей однофазных электроприемников в группе;

$P_{н.о.мах}$ – наибольшая номинальная мощность однофазного электроприемника в группе.

2) для групп с однофазными и трехфазными электроприемниками

$$n_{эф} = \frac{(\sum P_{н.3i} + \sum P_{н.о.i})^2}{\sum P_{н.3i}^2 + \sum P_{н.о.i}^2}, \quad (4.48)$$

где $P_{н.3i}$ – номинальная нагрузка 3-фазного электроприемника;

$P_{н.о.i}$ – эквивалентная номинальная нагрузка однофазного электроприемника наиболее загруженной фазы.

В общем случае, когда количество однофазных электроприемников более 3-х, значения K_n и $\cos\varphi$ различны, электроприемники включены как на фазное, так и на линейное напряжение, расчетная нагрузка определяется в следующей последовательности:

1) Определяется средняя нагрузка по фазам. Например, для фазы А:

$$P_{с.а} = K_n P_{ab} p_{(ab)a} + K_n P_{ca} p_{(ca)a} + K'_n P_{a0} \quad (4.49)$$

где P_{ab}, P_{ca} – нагрузка присоединений на линейное напряжение;

P_{a0} – нагрузка, присоединенная на фазное напряжение;

$P_{(ab)a}$, $P_{(ca)a}$ – коэффициенты приведения нагрузок, включенных на линейное напряжение АВ и СА соответственно к фазе А. Значения этих коэффициентов принимаются по таблице 4.2 в зависимости от $\cos \varphi$.

Таблица 4.2 – Коэффициенты приведения однофазной нагрузки, включенной на линейное напряжение, к нагрузке, отнесенной к одной фазе трехфазного тока и фазному напряжению

Коэффициенты приведения	$\cos \varphi$							
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
$P_{(ab)a}; P_{(bc)b}; P_{(ca)c}$	1,4	1,17	1	0,89	0,8	0,72	0,64	0,5
$P_{(ab)b}; P_{(bc)c}; P_{(ca)a}$	-0,4	-0,17	0	0,11	0,2	0,28	0,36	0,6
$Q_{(ab)a}; Q_{(bc)b}; Q_{(ca)c}$	1,26	0,86	0,58	0,38	0,22	0,09	-0,05	-0,29
$Q_{(ab)b}; Q_{(bc)c}; Q_{(ca)a}$	2,45	1,44	1,16	0,96	0,8	0,67	0,53	0,29

2. Из полученных значений находится наиболее загруженная фаза по активной и реактивной мощности, например, фаза «а», после чего определяется эффективное число электроприемников. При этом коэффициент использования $K_{и}$ определяется для наиболее загруженной фазы. Например, для фазы А:

$$K_{и.а} = \frac{P_{см(а)}}{\left(\frac{P_{ab}+P_{ca}}{2}\right)+P_{a0}}, \quad (4.50)$$

где P_{ab} , P_{ca} – суммарные номинальные мощности однофазных электроприемников, включенных на $U_{л}$ между наиболее загруженной фазой и смежные с ней фазы в 3-фазной системе; P_{a0} – суммарная номинальная мощность однофазных электроприемников, включенных на фазное напряжение наиболее загруженной фазы.

Далее определяется коэффициент расчетной мощности: $K_p = f(n_{эф}, K_{и})$ и расчетная нагрузка:

$$P_p = 3K_p K_{и} P_{ф.нб} = 3K_p P_{ср}, \quad (4.51)$$

$$Q_p = 3P_{ср} K_{м.р}, \quad (4.52)$$

Уточнение метода упорядоченных диаграмм

В 1992 г. метод упорядоченных диаграмм вышел в новой редакции, включающей следующие уточнения и дополнения:

1. Электроприемники повторно-кратковременного режима не приводятся к длительному режиму работы.
2. При определении расчетной нагрузки за установленную мощность многодвигательного станка принимается сумма номинальных мощностей одновременно работающих электродвигателей.
3. Коэффициент максимума K_m в выражении для определения P_p ($P_p = K_m K_{\text{и}} P_{\text{уст}}$) заменен на коэффициент расчетной нагрузки K_p , значения которого уточнены.
4. Для определения K_p используются две номограммы, полученные для различных уровней цехового электроснабжения. В одной номограмме значения K_p принимаются для питающих сетей напряжением до 1 кВ, выполненных распределительными шинопроводами, шкафами, коммутационными ящиками, с постоянной времени нагрева 10 мин. В другой номограмме значения K_p приведены для определения расчетной нагрузки на шинах 0,4 кВ цеховой трансформаторной подстанции (ЦТП), магистральных шинопроводах и вводнораспределительных устройствах ($T_0 = 2,5$ ч).
5. При определении расчетной нагрузки цехов заводских электрических сетей напряжением 6–10 кВ, $K_p = 1$. Для таких сетей $T_0 = 30$ мин.
6. Коэффициент совмещения максимумов нагрузки участков потребителя (K_{Σ}) заменен на коэффициент одновременности (K_o), значения которого определяются в зависимости от группового коэффициента использования и количества присоединений по справочным данным.

Метод упорядоченных диаграмм позволяет рассчитывать электрическую нагрузку с вероятностью 0,95.

Учет нагрузочной способности элементов системы электроснабжения при определении расчетной нагрузки статистическим методом

Нагрузочная способность электрической сети определяется постоянной времени нагрева и длительно допустимым током ее токоведущих элементов. На практике при определении расчетной нагрузки в качестве усреднения принимается интервал времени, который, как правило, составляет 30 мин.

Реальное утроенное значение постоянной времени нагрева токоведущих частей электрической сети часто отличается от 30 мин. В частности, анализ параметров проводников показывает, что для проводов и кабелей, проложенных в трубах, $T_0 = 30$ мин имеет место лишь при сечении 35 мм^2 . Во всех остальных случаях целесообразно определять расчетную нагрузку с учетом реального периода усреднения графика нагрузки T :

$$P_p = P_c + \frac{\beta \cdot \sigma_{30}}{\sqrt{\frac{T}{3 \cdot 10}}}, \quad (4.53)$$

где σ_{30} – среднеквадратическое отклонение нагрузки, определяемое по графику с периодом усреднения 30 мин;

T – реальный период усреднения графика нагрузки.

Учет реальной постоянной времени нагрева при определении расчетной нагрузки методом упорядоченных диаграмм

Для учета T_0 может использоваться способ, основанный на следующем алгоритме:

1. Пусть определены значения расчетного тока I_p и коэффициента расчетной нагрузки K_p группы электроприемников методом упорядоченных диаграмм. Руководствуясь условиями нагрева по справочным данным выбираем сечение проводника F для питания группы электроприемников;

2. Для выбранного проводника по справочнику определяем его постоянную времени нагрева T_0 , пересчитываем K_p с учетом реального значения T_0 относительно ее начального значения:

$$K_{pt} = 1 + \frac{K_p - 1}{\sqrt{\frac{3 \cdot T_0}{3 \cdot 10}}}, \quad (4.54)$$

3. Уточняем исходный расчетный ток:

$$I'_p = I_p \cdot \frac{K_{pt}}{K_p}, \quad (4.55)$$

4. Используя значение I'_p , выбираем сечение проводника F' .

5. Проверяем условие $F' = F$. Если оно не выполняется, то расчет повторяется по пунктам 2–4 до тех пор, пока сечение проводника, полученное на последней итерации, не будет равным сечению проводника, полученному на предпоследней итерации.

Алгоритм предполагает, что после нескольких итераций расчетная нагрузка группы электроприемников будет соответствовать длительно допустимому току проводника с его реальной постоянной времени нагрева T_0 . Учет реальной постоянной времени нагрева позволяет экономить металл в области больших сечений, повышает надежность СЭС в области малых сечений.

Пиковая нагрузка приемников и потребителей электроэнергии

Пиковой нагрузкой одного или нескольких электроприемников называется максимально возможная кратковременная электрическая нагрузка. Практически, продолжительность такой нагрузки составляет 0,5–2 с. Значение пиковой нагрузки необходимо для расчетов параметров срабатывания и выбора комплектов аппаратов защиты и автоматики в СЭС потребителей.

Пиковая нагрузка возникает при пуске электродвигателей, работе дуговых электропечей, электрической сварке и т. д.

1. Определение пиковой электрической нагрузки одиночных электроприемников

Для одиночных электроприемников пиковый ток приравнивается к их пусковому току:

$$i_{\text{пик}} = K_{\text{п}} \cdot i_{\text{н}}, \quad (4.56)$$

где $K_{\text{п}}$ – кратность пускового тока по отношению к номинальному;

$i_{\text{н}}$ – номинальный ток электроприемника, при этом нагрузка не приводится к длительному режиму работы (для электроприемников, работающих в ПКР).

- для электродвигателей $i_{\text{н}} = \frac{P_{\text{н}}}{\sqrt{3}U_{\text{н}} \cos \varphi_{\text{н}} \eta_{\text{н}}};$

- для электрических печей и сварочных агрегатов $i_{\text{н}} = \frac{S_{\text{н}}}{\sqrt{3}U_{\text{н}}}.$

Значение кратности пуска $K_{\text{п}}$ обычно указывается в паспорте электроприемника. В случае, когда отсутствуют паспортные данные по значениям пускового тока электроприемника, в качестве величины пикового тока допускается принимать:

- 1) 5-кратное значение номинального тока $i_{\text{н}}$ асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором;
- 2) не ниже 2,5-кратного значения $i_{\text{н}}$ двигателя постоянного тока или асинхронного электродвигателя с контактными кольцами;
- 3) не ниже 3-кратного значения номинального тока для печных или сварочных аппаратов.

2. Определение пикового тока группы электроприемников

Для группы электроприемников пиковый ток определяется, исходя из следующего предположения: пиковый ток возникает при работе всех электроприемников в группе в момент пуска электроприемника с наибольшим

пусковым током. В инженерных расчетах допускается определять пиковый ток по упрощенному выражению

$$I_{\text{пик}} = i_{\text{п.мах}} + I_{\text{р}} - K_{\text{и}} i_{\text{н.мах}}, \quad (4.57)$$

где $i_{\text{п.мах}}$ – наибольший из пусковых токов электроприемников в группе;

$I_{\text{р}}$ – расчетный (максимальный) ток группы электроприемников;

$i_{\text{н.мах}}$ – номинальный ток электроприемника с наибольшим пусковым током;

$K_{\text{и}}$ – коэффициент использования электроприемника с наибольшим пусковым током.

Более точно пиковый ток группы электроприемников определяется по выражению:

$$I_{\text{пик}} = i_{\text{п.мах}} + K'_{\text{р}} \cdot \frac{\sqrt{(P_{\text{с}} - p_{\text{с}})^2 + (Q_{\text{с}} - q_{\text{с}})^2}}{\sqrt{3} U_{\text{н}}}, \quad (4.58)$$

где $P_{\text{с}}$, $Q_{\text{с}}$ – средние активная и реактивная нагрузки группы электроприемников за наиболее загруженную смену;

$p_{\text{с}}$, $q_{\text{с}}$ – средние активная и реактивная нагрузки электродвигателя с наибольшим пусковым током за наиболее нагруженную смену; '

$K'_{\text{р}}$ – коэффициент расчетной нагрузки группы электроприемников без учета электродвигателя с наибольшим пусковым током.

Пиковый ток используется для определения параметров срабатывания и выбора коммутационно защитной аппаратуры элементов системы электро-снабжения.

Контрольные вопросы.

- 1) В чем заключается определение расчетной нагрузки?
- 2) Статистический метод определения расчетной нагрузки.
- 3) Метод упорядоченных диаграмм.
- 4) Что такое эффективное количество электроприемников в группе, способы определения.

- 5) Определение расчетной нагрузки для группы из трех или менее электроприемников.
- 6) Метод коэффициента спроса.
- 7) Метод удельного расхода электроэнергии на единицу выпускаемой продукции.
- 8) Метод удельной плотности нагрузки на единицу производственной площади.
- 9) Определение расчетной нагрузки потребителей на напряжении 6–10 кВ.
- 10) Определение расчетной нагрузки при наличии однофазных электроприемников в группе.
- 11) Учет нагрузочной способности элементов системы электроснабжения при определении расчетной нагрузки статистическим методом.
- 12) Учет реальной постоянной времени нагрева при определении расчетной нагрузки методом упорядоченных диаграмм.
- 13) Пиковая нагрузка приемников и потребителей электроэнергии. Определение пиковой электрической нагрузки одиночных электроприемников.
- 14) Определение пикового тока группы электроприемников.

ТЕМА 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА И ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Определение расхода электроэнергии необходимо для осуществления денежных расчетов за электропотребление с энергоснабжающей организацией, для оценки удельного расхода электроэнергии на единицу выпускаемой продукции, с целью контроля энергоэффективности.

Расход электроэнергии, как правило, определяется по показаниям счетчиков. В случаях, когда счетчики отсутствуют, либо когда необходимо сравнить их показания с теоретически обоснованным расходом электроэнергии, применяют аналитические методы расчета.

Определение расхода активной энергии

1. Метод удельного расхода электроэнергии

$$W = C_{уд} \cdot П, \tag{5.1}$$

где $C_{уд}$ – удельный расход электроэнергии на единицу выпускаемой продукции, значение которого нормируется по каждому виду продукции (услуг), при этом нормы удельного расхода энергии используются потребителями с целью контроля за эффективностью электропотребления;

$П$ – объем выпущенной продукции за время T ;

W – расхода электроэнергии за время T .

На практике значения $C_{уд}$ часто являются нестабильными (рисунок 5.1), особенно это характерно в рыночных условиях функционирования.

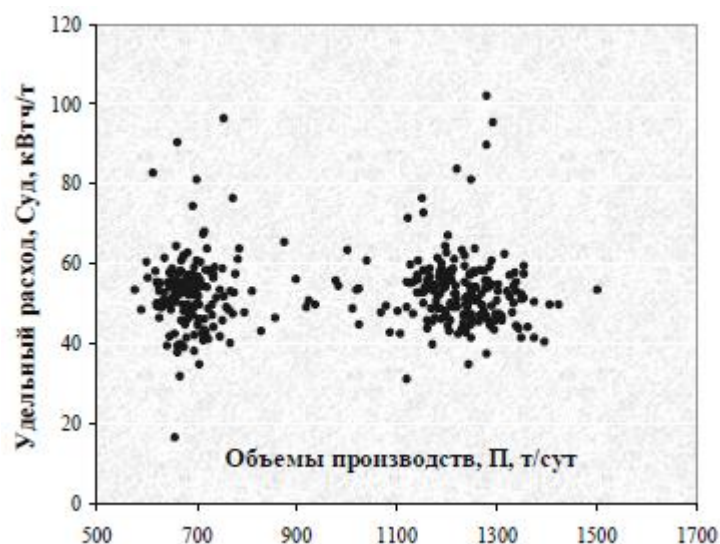


Рисунок 5.1 – Корреляционное поле точек зависимости суточного удельного электропотребления от производительности

Поэтому данный метод определения расхода электроэнергии является приближенным.

2. Определение расхода электроэнергии по графику нагрузки

Расход электроэнергии численно равен площади фигуры, ограниченной графиком электрической нагрузки (рисунок 5.2).

$$W = \sum P_i \cdot \Delta t_i, \quad (5.2)$$

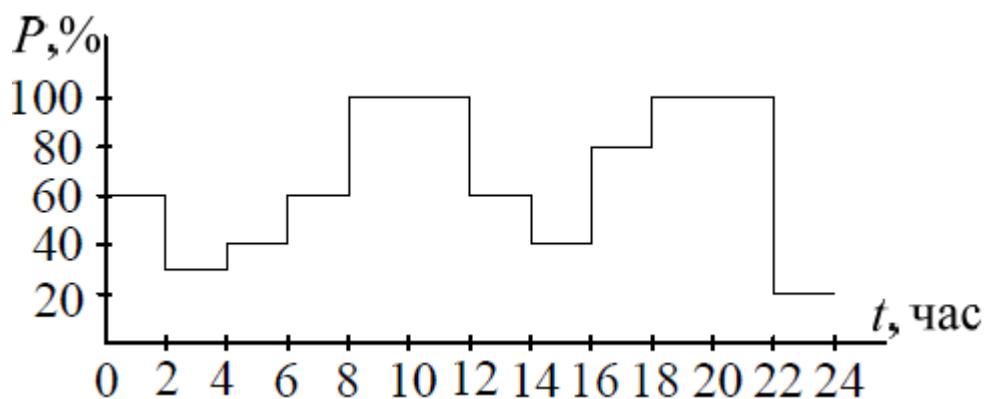


Рисунок 5.2 – График нагрузки потребителя электроэнергии

Метод является точным, но на практике часто отсутствуют графики электрической нагрузки, поэтому используются укрупненные методы определения расхода электроэнергии.

3. Метод коэффициента использования

Годовой расход электроэнергии определяется по выражению

$$W_{\Gamma} = P_{\text{уст}} \cdot K_{\text{и}} \cdot \alpha \cdot T_{\Gamma}, \quad (5.3)$$

где T_{Γ} – годовой фонд рабочего времени;

α – коэффициент сменности по энергоиспользованию, показывает связь между средней нагрузкой за наиболее нагруженную смену и среднегодовой нагрузкой $\alpha = \frac{P_{\text{с.г}}}{P_{\text{с}}} \leq 1$. Значения этого коэффициента приводятся в справочных таблицах для различных потребителей электроэнергии.

В случаях, когда отсутствуют данные об α , годовой расход электроэнергии определяется по выражению

$$W_{\Gamma} = P_{\text{с}} \cdot (T_1 + T_2 \cdot \beta_2 + T_3 \cdot \beta_3) \cdot C, \quad (5.4)$$

где T_1, T_2, T_3 – годовой фонд рабочего времени за 1-ю, 2-ю и 3-ю рабочие смены;

β_2, β_3 – коэффициенты, учитывающие степень мене нагруженной 2-й и 3-й смены относительно первой;

C – коэффициент, учитывающий работу в выходные и праздничные дни.

Данный метод на практике используется очень редко.

4. Определение расхода электроэнергии через максимальную нагрузку

Годовой расход электроэнергии определяется по выражению

$$W_{\Gamma} = P_{\text{с}} \cdot T_{\text{м}}, \quad (5.5)$$

где $P_{\text{м}}$ – максимальная нагрузка потребителя;

T_m – время использования максимума нагрузки, т.е. время, в течение которого потребитель израсходует столько же электроэнергии при работе с максимальной нагрузкой, сколько и при работе по реальной нагрузке за годовой фонд рабочего времени (рисунок 5.3) $W_r = P_c \cdot T$, $W_r = P_m \cdot K_{зг} \cdot T$.

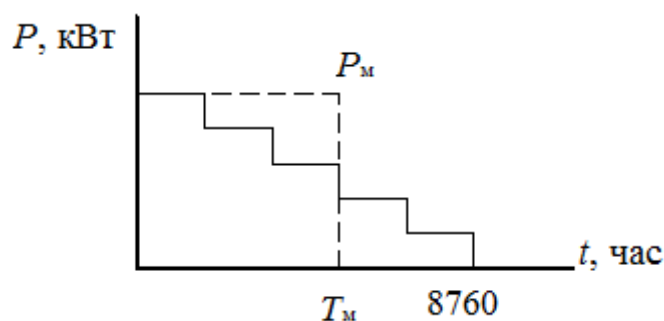


Рисунок 5.3 – Определение расхода электроэнергии через максимальную нагрузку

5. Определение расхода электроэнергии по уравнению регрессии (расчетно-статистический метод)

$$W = aП + bC + cf + \dots + d, \quad (5.6)$$

где a, b, c, \dots, d – коэффициенты регрессии расхода электроэнергии на влияющие факторы;

$П, C, f$ – объем выпущенной продукции и прочие влияющие факторы (как правило, технологические).

На практике также могут использоваться и нелинейные уравнения регрессии.

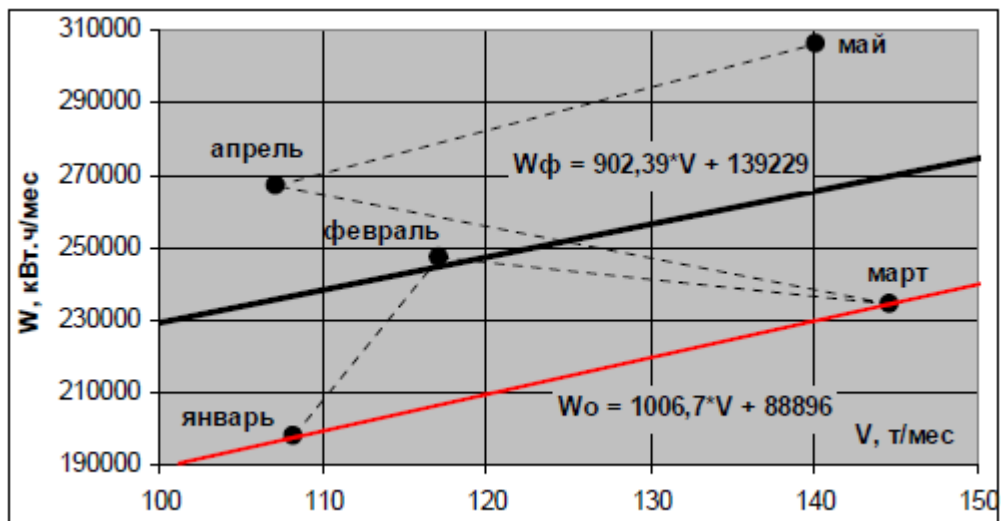


Рисунок 5.4 – Модели месячного расхода электрической энергии

Определение расхода реактивной энергии

Расход реактивной энергии определяется аналогично расходу активной энергии. В общем случае реактивное энергопотребление определяется по выражению

$$V_{\Gamma} = W_{\Gamma} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{\text{ср.взв}}, \quad (5.7)$$

где $\operatorname{tg} \varphi_{\text{ср.вз}}$ – средневзвешенный коэффициент реактивной мощности, может быть выражен через средневзвешенный коэффициент активной мощности:

$$\cos \varphi_{\text{ср.взв}} = \frac{W^2}{\sqrt{W^2 + V^2}}.$$

Определение расхода реактивной энергии необходимо для осуществления денежных расчетов за реактивное электропотребление (при необходимости), а также для выбора компенсирующих устройств.

Определение потерь мощности и энергии в системах электроснабжения

В настоящее время 10–15 % электрической энергии теряется при ее транспортировке и трансформации. Поэтому актуальной является задача воз-

действия на факторы, определяющие потери электроэнергии, с целью их снижения.

Основные потери электрической энергии в системах электроснабжения имеют место в линиях электропередачи и трансформаторах. Существуют несколько способов определения потерь мощности и энергии.

1) Определение потерь мощности и энергии по средней (среднеквадратичной) нагрузке

$$\Delta P = 3(I_c \cdot K_{ф.г})^2 \cdot R = \left(\frac{S_c K_{ф.г}}{U_n}\right)^2 \cdot R = \left(\frac{S_{ск}}{U_n}\right)^2 \cdot R, \quad (5.8)$$

где I_c , S_c – средний ток и мощность потребителя;

$K_{ф.г}$ – коэффициент формы графика нагрузки;

R – сопротивление элемента системы электроснабжения;

$S_{ск}$ – среднеквадратичная нагрузка потребителя.

В данном случае потери электрической энергии определяются по выражению:

$$\Delta W_\Gamma = \Delta P \cdot T_\Gamma, \quad (5.9)$$

где T_Γ – годовой фонд рабочего времени.

2) Определение потерь мощности и энергии по максимальной мощности нагрузки (метод времени максимальных потерь)

$$\Delta P_m = \left(\frac{S_m}{U_n}\right)^2 \cdot R, \quad (5.10)$$

где S_m – максимальная мощность нагрузки.

Потери электрической энергии здесь определяются по выражению

$$\Delta W_\Gamma = \Delta P_m \cdot \tau, \quad (5.11)$$

где τ – время максимальных потерь. Это время, в течение которого теряется столько же энергии при работе с максимальной нагрузкой, сколько за время работы потребителя по реальному графику:

$$\tau = \left(\frac{P_{\text{ск}}}{P_{\text{м}}}\right)^2 \cdot T = (K_{\text{ф.г}} \cdot K_{\text{з.г}})^2 \cdot T, \quad (5.12)$$

Время максимальных потерь может также определяться по эмпирическому выражению

$$\tau = (0,124 + T \cdot 10^{-4})^2 \cdot 8760.$$

Данное выражение может быть использовано для определения годового времени максимальных потерь потребителей, у которых $T_{\text{м}} > 3000$ ч, если $\cos\varphi > 0,6$.

$T_{\text{м}}$ – время использования максимальной нагрузки – время, в течение которого потребитель израсходует столько же энергии при работе с максимальной нагрузкой, сколько и при работе с реальной нагрузкой за годовой фонд рабочего времени: $T_{\text{м}} = K_{\text{з.г}} \cdot T_{\text{г}}$.

Для определения τ могут также использоваться номограммы, представляющие собой зависимость $\tau = f(T_{\text{м}}, \cos\varphi)$.

3) Приближенный расчет потерь мощности в линиях электропередачи и трансформаторах

На предпроектных стадиях, когда отсутствуют сведения о схеме электроснабжения и неизвестны параметры ее элементов, при определении расчетной нагрузки вспомогательными методами потери мощности и энергии в линиях и трансформаторах допускается учитывать, приближенно используя следующие выражения:

– потери в трансформаторах:

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot S_{p\Sigma}$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot S_{p\Sigma}$$

где $S_{p\Sigma}$ – суммарная расчетная мощность нагрузки потребителя;

– потери в линиях электропередачи (канализация электроэнергии по территории предприятия обычно осуществляется кабельными линиями):

$$\Delta P_L = 0,035 \cdot S_{p\Sigma}$$

$$\Delta Q_T \approx 0$$

На предприятиях канализация электроэнергии осуществляется, как правило, кабельными линиями. При этом активное сопротивление кабеля в 10 и более раз превышает реактивное сопротивление, поэтому потерями реактивной мощности пренебрегают.

Пути снижения потерь мощности и энергии в элементах систем электроснабжения потребителей

В условиях низкой загрузки элементов системы электроснабжения потребителей, относительные потери мощности и энергии резко возрастают. В этих условиях необходимо рассмотреть мероприятия, позволяющие снизить потери мощности и энергии.

1) Определение оптимального количества работающих трансформаторов:

- потери мощности в трансформаторах определяются по выражению

$$\Delta P_T = \frac{1}{n} \left(\frac{S}{S_H} \right)^2 \cdot \Delta P_{K3} + n \Delta P_{XX}, \quad (5.13)$$

- потери энергии:

$$\Delta W_T = \frac{1}{n} \left(\frac{S_M}{S_{HT}} \right)^2 \cdot \Delta P_{K3} \cdot \tau + n \Delta P_{XX} \cdot T_\Gamma = \left(\frac{1}{n} \left(\frac{S_{CK}}{S_{HT}} \right)^2 \Delta P_{K3} + n \Delta P_{XX} \right) \cdot T_\Gamma, \quad (5.14)$$

где T_Γ – время работы трансформаторов в течение года.

Определение диапазона нагрузки потребителя, при которых целесообразна работа одного (двух) трансформаторов выполняется, исходя из равенства:

$$\left(\frac{S_{CK}}{S_{HT}} \right)^2 \Delta P_{K3} + n \Delta P_{XX} = \frac{1}{2} \left(\frac{S}{S_H} \right)^2 \cdot \Delta P_{K3} + 2 \cdot \Delta P_{XX}$$

$$S_\Gamma = S_{HT} \cdot \sqrt{\frac{2 \Delta P_{XX}}{\Delta P_{K3}}}$$

где S_Γ – граничная мощность нагрузки потребителя электроэнергии.

При $S > S_\Gamma$ целесообразна работа 2-х трансформаторов, если же $S < S_\Gamma$, то следует использовать в работе один трансформатор.

В общем случае, при количестве трансформаторов n , S_Γ определяется как:

$$S_\Gamma = S_{HT} \cdot \sqrt{\frac{n \cdot (n-1) \cdot \Delta P_{XX}}{\Delta P_{K3}}}, \quad (5.15)$$

2) Оптимизация загрузки трансформаторов потребителя.

Задача заключается в перераспределении нагрузок потребителя таким образом, чтобы КПД установленных трансформаторов был максимальным, что имеет место при выполнении условия

$$\Delta P_M = \Delta P_{CT}$$

откуда следует уравнение

$$\frac{1}{n} \left(\frac{S_0}{S_{HT}} \right)^2 \Delta P_{K3} = n \Delta P_{XX}$$

$$S_0 = n \cdot S_{HT} \cdot \sqrt{\frac{\Delta P_{XX}}{\Delta P_{K3}}}$$

В данном случае речь идет об оптимизации режимов работы уже установленных трансформаторов. Однако снижение потерь мощности и энергии необходимо планировать уже на стадии проектирования. На этой стадии целесообразно говорить не о минимальных потерях электроэнергии, а о минимальных затратах, которые учитывают стоимость потерь электроэнергии и трансформаторов.

Из представленных выше выражений следует, что потери мощности и энергии в трансформаторах определяются соотношением потерь холостого хода и короткого замыкания в них. Также эти потери определяются режимом работы потребителя, формально описываемым показателями графика нагрузки. В связи с этим электротехническая промышленность производит трансформаторы с различным соотношением потерь холостого хода и короткого замыкания (таблица 5.1), и при выборе определенного типа трансформатора необходимо учитывать эти характеристики, а также показатели режима работы потребителя.

Таблица 5.1 – Технические характеристики трансформаторов

Марка	ТМГ			ТМГМШ			ТМГСИ		
Номинальная мощность, S_H , кВ·А	400	630	1000	400	630	1000	400	630	1000
Потери холостого хода, ΔP_{XX} , кВт	0,83	1,24	1,6	0,6	0,94	1,25	0,83	1,24	1,6
Потери короткого замыкания, ΔP_{K3} , кВт	5,4	7,6	10,8	5,4	7,6	10,8	6	8,6	12,4

3) Регулирование напряжения в цеховых сетях потребителей.

Регулирование напряжения в цеховых сетях потребителей электроэнергии является одним из возможных путей энергосбережения.

Пределы отклонения напряжения от номинального значения ($U_{\text{ном}}$) регламентируются ГОСТ и составляют $\pm 5\%$. Каждый электроприемник выпускается предприятием-изготовителем для работы при номинальном напряжении и обеспечивает нормальное функционирование при отклонениях напряжения в пределах, допускаемых ГОСТом. При отклонениях напряжения в допускаемых пределах показатели работы электроприемника не остаются постоянными, при этом существенно изменяется также потребляемая из сети мощность.

Результаты проведенных исследований показали, например, что из-за повышения напряжения на зажимах источников света увеличивается потребляемая мощность, что ведет к повышению расхода электроэнергии. Известно выражение, показывающее изменение мощности от напряжения на зажимах ламп накаливания и комплектах: лампа ДРЛ-ПРА. Увеличение потребляемой мощности при увеличении напряжения характерно и для других электроприемников. Поскольку не отмечалось отрицательного влияния на работу технологического оборудования при регулировании напряжения в пределах, допустимых по ГОСТ, целесообразно определение и поддержание оптимального напряжения в цеховых электросетях.

Одним из наиболее дешевых и простых способов управления режимом напряжения является применение сухих автотрансформаторов. Так как в основу положено пятипроцентное регулирование напряжение, то электромагнитная (типовая) мощность сухого автотрансформатора меньше номинальной мощности трансформатора подстанции, с которым последовательно работает автотрансформатор, в 20 раз.

Это устройство весьма миниатюрно и может быть установлено наверху подстанции, на стене помещения. В условиях действующего предприятия наиболее предпочтительными точками установки сухих автотрансформаторов являются вводы 0,4 кВ распределительных подстанций 6-35/0,4 кВ. При этом регулирование напряжения становится локальным и поэтому наиболее эффективным.

Схема регулирования напряжения (рисунок 5.5) включает в свой состав: автотрансформатор АТСЗ-1000/5, реле максимального напряжения и схему управления. Схемой предусмотрено два режима работы: ручной и автоматический.

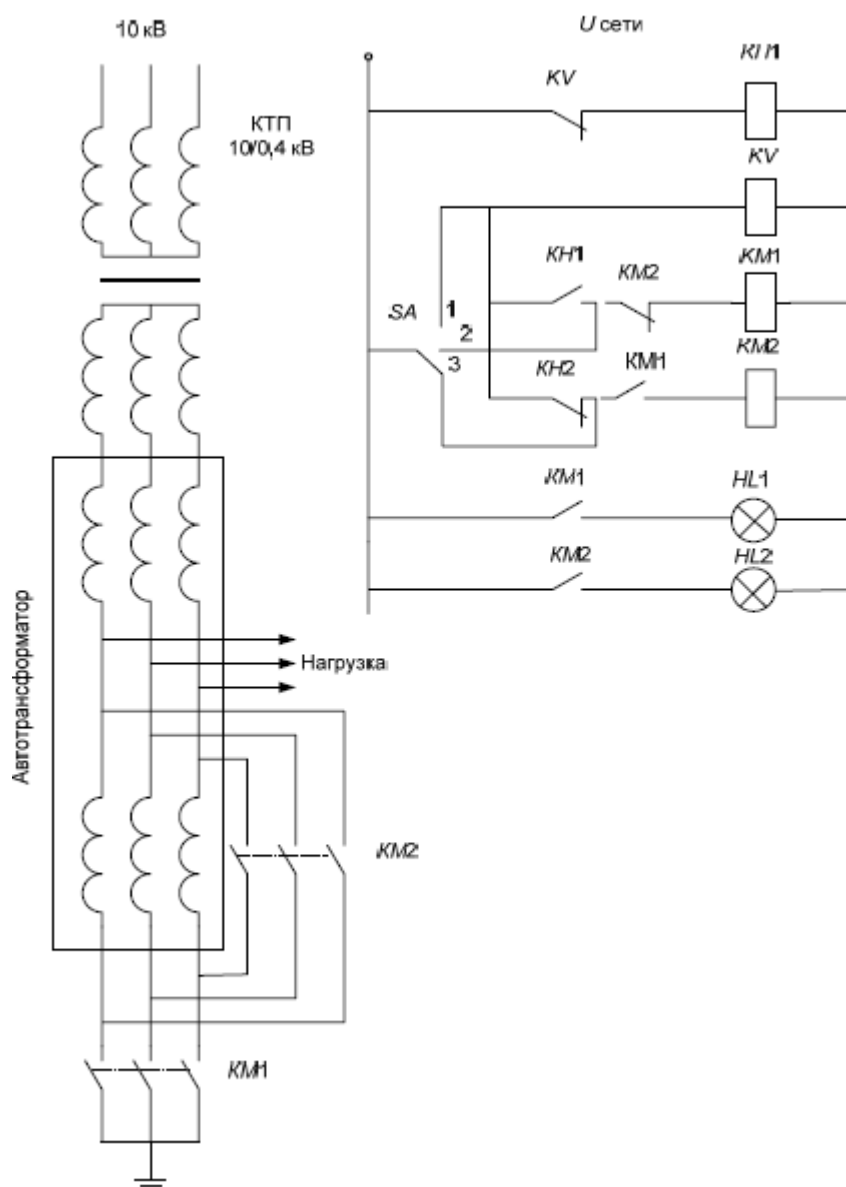


Рисунок 5.5 – Схема регулирования напряжения с помощью автотрансформатора

Работа схемы в автоматическом режиме. При повышении вторичного напряжения силового трансформатора, замыкается контакт реле *KV* и подает напряжение на катушку реле *KИ1*. Реле своим контактом *KИ1.1* подключает

магнитный пускатель $KM1$ и контактом $KH1.2$ отключает магнитный пускатель $KM2$, который своими контактами шунтировал автотрансформатор. Пускатель $KM1$ подключает АТСЗ-1000/5 в схему подстанции, обеспечивая снижение напряжения. При снижении напряжения на величину заданного гистерезиса возврата реле KV срабатывает, отключает реле $KH1$ от сети. После отключения реле $KH1$ автотрансформатор выводится из работы. Рекомендуемые установки реле KV :

- напряжение срабатывания 230 В;
- гистерезис возврата 5 %.

Уставки реле максимального напряжения могут меняться в зависимости от следующих факторов: вторичного напряжения трансформатора, протяженности питающей и распределительной сети, характера и величины нагрузки.

Работа схемы в ручном режиме. В ручном режиме включение и отключение трансформатора производится электротехническим персоналом. Для этого переключатель SA устанавливают в положение 2. Включается магнитный пускатель $KM1$ и своими силовыми контактами подключает АТСЗ-1000/5 к сети.

Оценочный расчет величины нерационального расхода электроэнергии при работе цеховых электроприемников при повышенном напряжении ведется по следующим формулам:

- определяется фактический линейный ток:

$$I_{\phi} = \frac{P_{\text{ср}}}{\sqrt{3}U_{\text{н}}}, \quad (5.16)$$

- эквивалентное сопротивление нагрузки:

$$R_{\text{эк}} = \frac{U_{\text{м}}}{I_{\phi}}, \quad (5.17)$$

- суммарный линейный ток при отрегулированном напряжении:

$$I_o = \frac{U_o}{R_{\text{эф}}}, \quad (5.18)$$

- суммарная расчетная мощность при отрегулированном напряжении:

$$P_o = \sqrt{3} I_o U_o, \quad (5.19)$$

- приращение мощности:

$$\Delta P = P_{\text{ср}} - P_o, \quad (5.20)$$

- годовая экономия электроэнергии при снижении напряжения:

$$\Delta \mathcal{E} = \Delta P \cdot T, \quad (5.21)$$

Для унификации оценочных расчетов эффективности регулирования напряжения может использоваться номограмма (рисунок 5.6).

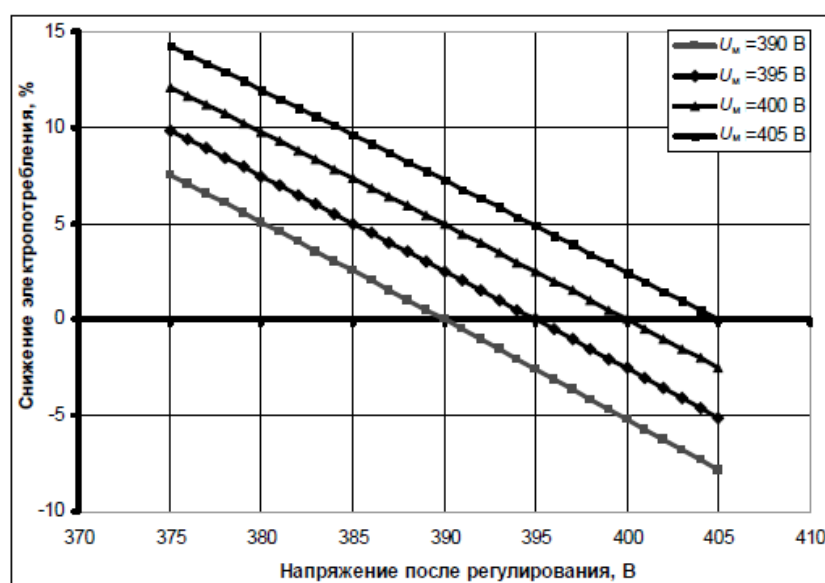


Рисунок 5.6 – Номограмма для унификации оценочных расчетов эффективности регулирования напряжения

4) Компенсация реактивной мощности нагрузки.

Потери мощности определяются по выражению:

$$\Delta P = \left(\frac{S}{U_H}\right)^2 \cdot R = \frac{P^2 + (Q - Q_K)^2}{U_H^2} \cdot R, \quad (5.22)$$

где Q_K – мощность компенсирующего устройства.

Компенсация позволяет разгрузить элементы системы электроснабжения, что приводит к снижению потерь мощности и энергии в них.

Значительная доля теряемой энергии, в несколько раз превышающая потери в линиях и трансформаторах, приходится на приемники электроэнергии. Так, электрические двигатели в условиях низкой нагрузки работают с КПД, равным 40–60 %. Поэтому одним из путей снижения этих потерь является замена низко загруженных электродвигателей двигателями меньшей мощности.

Контрольные вопросы.

- 1) Метод удельного расхода электроэнергии
- 2) Определение расхода электроэнергии по графику нагрузки.
- 3) Метод коэффициента использования дл определения потерь активной электроэнергии.
- 4) Определение расхода электроэнергии через максимальную нагрузку.
- 5) Определение расхода электроэнергии по уравнению регрессии (расчетно-статистический метод).
- 6) Определение расхода реактивной энергии
- 7) Определение потерь мощности и энергии в системах электроснабжения.
- 8) Пути снижения потерь мощности и энергии в элементах систем электроснабжения потребителей.

ТЕМА 6

ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА РАБОТУ ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКОВ

1 Влияние отклонений напряжения

Отклонения напряжения оказывают значительное влияние на работу асинхронных двигателей (АД), являющихся наиболее распространенными приемниками электроэнергии в промышленности.

При изменении напряжения изменяется механическая характеристика АД – зависимость его вращающего момента M от скольжения s или частоты вращения (рисунок 6.1). С достаточной точностью можно считать, что вращающий момент двигателя пропорционален квадрату напряжения на его выводах. При снижении напряжения уменьшается вращающий момент и частота вращения ротора двигателя, так как увеличивается его скольжение. Снижение частоты вращения зависит также от закона изменения момента сопротивления M_c (на рисунке 6.1 M_c принят постоянным) и от загрузки двигателя.

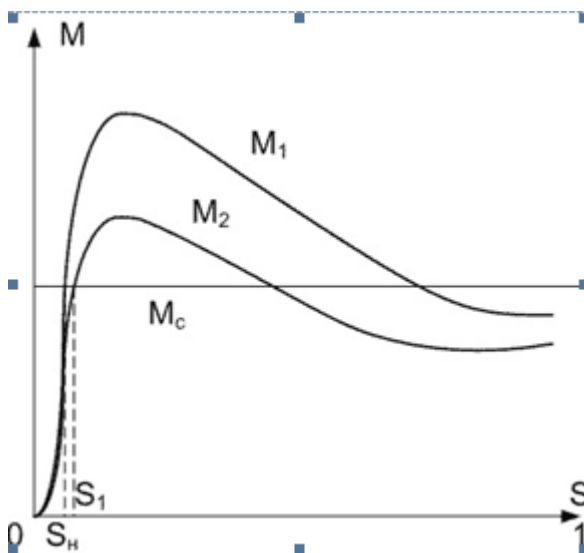


Рисунок 6.1 – Механическая характеристика двигателя при номинальном (M_1) и пониженном (M_2) напряжениях

При малых нагрузках двигателя частота вращения ротора будет больше номинальной частоты вращения (при номинальной нагрузке двигателя). В та-

ких случаях понижения напряжения не приводят к уменьшению производительности технологического оборудования, так как снижения частоты вращения двигателей ниже номинальной не происходит.

Для двигателей, работающих с полной нагрузкой, понижение напряжения приводит к уменьшению частоты вращения. Если производительность механизмов зависит от частоты вращения двигателя, то на выводах таких двигателей рекомендуется поддерживать напряжение не ниже номинального.

Снижение напряжения ухудшает и условия пуска двигателя, так как при этом уменьшается его пусковой момент.

Практический интерес представляет зависимость потребляемой двигателем активной и реактивной мощности от напряжения на его выводах.

В случае снижения напряжения на зажимах двигателя реактивная мощность намагничивания уменьшается (на 2 – 3 % при снижении напряжения на 1 %), при той же потребляемой мощности увеличивается ток двигателя, что вызывает перегрев изоляции.

Снижение напряжения приводит также к заметному росту реактивной мощности, теряемой в реактивных сопротивлениях рассеяния линий, трансформаторов и АД.

Повышение напряжения на выводах двигателя приводит к увеличению потребляемой им реактивной мощности. При этом удельное потребление реактивной мощности растет с уменьшением коэффициента загрузки двигателя. В среднем на каждый процент повышения напряжения потребляемая реактивная мощность увеличивается на 3 % и более (в основном за счет увеличения тока холостого хода двигателя), что в свою очередь приводит к увеличению потерь активной мощности в элементах электрической сети.

Лампы накаливания характеризуются номинальными параметрами: потребляемой мощностью $P_{\text{ном}}$, световым потоком $F_{\text{ном}}$, световой отдачей $\eta_{\text{ном}}$ (равной отношению излучаемого лампой светового потока к ее мощности) и средним номинальным сроком службы $T_{\text{ном}}$. Эти показатели в значительной мере зависят от напряжения на выводах ламп накаливания. При отклонениях

напряжения на 10% эти характеристики приближенно можно описать следующими эмпирическими формулами:

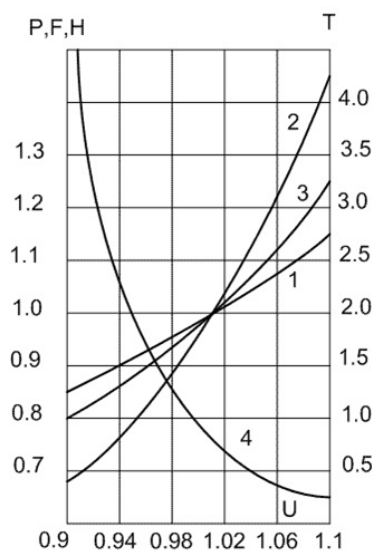
$$P_{0.В} = \frac{P}{P_{НОМ}} = \left(\frac{U}{U_{НОМ}}\right)^{1,53}, \quad (6.1)$$

$$F_{0.В} = \frac{F}{F_{НОМ}} = \left(\frac{U}{U_{НОМ}}\right)^{3,67}, \quad (6.2)$$

$$T_{0.В} = \frac{T}{T_{НОМ}} = \left(\frac{U}{U_{НОМ}}\right)^{-14,8}, \quad (6.3)$$

$$\eta_{0.В} = \frac{\eta}{\eta_{НОМ}} = \left(\frac{U}{U_{НОМ}}\right)^{2,14}, \quad (6.4)$$

Из кривых на рисунке 6.2. видно, что со снижением напряжения наиболее заметно падает световой поток. При повышении напряжения сверх номинального увеличивается световой поток F , мощность лампы P и световая отдача h , но резко снижается срок службы лампы T и в результате они быстро перегорают. При этом имеет место и перерасход электроэнергии.



1 – потребляемая мощность, 2 – световой поток,
3 – световая отдача, 4 – срок службы

Рисунок 6.2 – Зависимости характеристик лампы накаливания от напряжения

Люминесцентные лампы менее чувствительны к отклонениям напряжения. При повышении напряжения потребляемая мощность и световой поток увеличиваются, а при снижении – уменьшаются, но не в такой степени как у ламп накаливания. При пониженном напряжении условия зажигания люминесцентных ламп ухудшаются, поэтому срок их службы, определяемый распылением оксидного покрытия электродов, сокращается как при отрицательных, так и при положительных отклонениях напряжения.

При отклонениях напряжения на 10% срок службы люминесцентных ламп в среднем снижается на 20 – 25%. Существенным недостатком люминесцентных ламп является потребление ими реактивной мощности, которая растет с увеличением подводимого к ним напряжения.

Отклонения напряжения отрицательно влияют на качество работы и срок службы бытовой электронной техники (радиоприемники, телевизоры, телефонно-телеграфная связь, компьютерная техника).

Вентильные преобразователи обычно имеют систему автоматического регулирования постоянного тока путем фазового управления. При повышении напряжения в сети угол регулирования автоматически увеличивается, а при понижении напряжения уменьшается. Повышение напряжения на 1 % приводит к увеличению потребления реактивной мощности преобразователем примерно на 1-1,4%, что приводит к ухудшению коэффициента мощности. В то же время другие показатели вентильных преобразователей с повышением напряжения улучшаются, и поэтому выгодно повышать напряжение на их выводах в пределах допустимых значений.

Электрические печи чувствительны к отклонениям напряжения. Понижение напряжения электродуговых печей, например, на 7 % приводит к удлинению процесса плавки стали в 1,5 раза. Повышение напряжения выше 5% приводит к перерасходу электроэнергии.

Отклонения напряжения отрицательно влияют на работу электросварочных машин: например, для машин точечной сварки при изменении напряжения на 15% получается 100 % - ный брак продукции.

2 Влияние колебаний напряжения

К числу ЭП, чрезвычайно чувствительных к колебаниям напряжения относятся осветительные приборы, особенно лампы накаливания и электронная техника.

Стандартом определяется воздействие колебаний напряжения на осветительные установки, влияющие на зрение человека. Мигание источников освещения (фликер-эффект) вызывает неприятный психологический эффект, утомление зрения и организма в целом. Это ведет к снижению производительности труда, а в ряде случаев и к травматизму.

Наиболее сильное воздействие на глаз человека оказывают мигания с частотой 3 - 10 Гц, поэтому допустимые колебания напряжения в этом диапазоне минимальны - менее 0,5 % .

При одинаковых колебаниях напряжения отрицательное влияние ламп накаливания проявляется в значительно большей мере, чем газоразрядных ламп. Колебания напряжения более 10 % могут привести к погасанию газоразрядных ламп. Зажигание их в зависимости от типа ламп происходит через несколько секунд и даже минут.

Колебания напряжения нарушают нормальную работу и уменьшают срок службы электронной аппаратуры: радиоприемников, телевизоров, телефонно-телеграфной связи, компьютерной техники, рентгеновских установок, радиостанций, телевизионных станций и т.д.

При значительных колебаниях напряжения (более 15%) могут быть нарушены условия нормальной работы электродвигателей, возможно отпадание контактов магнитных пускателей с соответствующим отключением работающих двигателей.

Колебания напряжения с размахом 10 – 15 % могут привести к выходу из строя батарей конденсаторов, а также вентильных преобразователей.

Влияние колебаний напряжения на отдельные приемники электроэнергии изучены еще недостаточно. Это затрудняет технико-экономический ана-

лиз при проектировании и эксплуатации систем электроснабжения с резко переменными нагрузками.

3 Влияние несимметрии напряжений

Качественно отличается действие несимметричного режима по сравнению с симметричным для таких распространенных трехфазных ЭП, как асинхронные двигатели. Особое значение для них имеет напряжение обратной последовательности. Сопротивление обратной последовательности электродвигателей примерно равно сопротивлению заторможенного двигателя и, следовательно, в 5 – 8 раз меньше сопротивления прямой последовательности. Поэтому даже небольшая несимметрия напряжений вызывает значительные токи обратной последовательности. Токи обратной последовательности накладываются на токи прямой последовательности и вызывают дополнительный нагрев статора и ротора (особенно массивных частей ротора), что приводит к ускоренному старению изоляции и уменьшению располагаемой мощности двигателя (уменьшению к.п.д. двигателя). Так, срок службы полностью загруженного асинхронного двигателя, работающего при несимметрии напряжения 4%, сокращается в 2 раза. При несимметрии напряжения 5% располагаемая мощность двигателя уменьшается на 5 – 10%.

При несимметрии напряжений сети в синхронных машинах наряду с возникновением дополнительных потерь активной мощности и нагревом статора и ротора могут возникнуть опасные вибрации в результате появления знакопеременных вращающих моментов и тангенциальных сил, пульсирующих с двойной частотой сети. При значительной несимметрии вибрация может оказаться опасной, а в особенности при недостаточной прочности и наличии дефектов сварных соединений. При несимметрии токов, не превышающей 30%, опасные перенапряжения в элементах конструкций, как правило, не возникают.

Несимметрия напряжения значительно ухудшает режимы работы многофазных вентильных выпрямителей: значительно увеличивается пульсация

выпрямленного напряжения, ухудшаются условия работы системы импульсно-фазового управления тиристорных преобразователей.

Несимметрия напряжений значительно влияет и на однофазные ЭП, если фазные напряжения неравны, то, например, лампы накаливания, подключенные к фазе с более высоким напряжением, имеют больший световой поток, но значительно меньший срок службы по сравнению с лампами, подключенными к фазе с меньшим напряжением. Несимметрия напряжений усложняет работу релейной защиты, ведет к ошибкам при работе счетчиков электроэнергии и т.д.

4 Влияние отклонения частоты

Жесткие требования стандарта к отклонениям частоты питающего напряжения обусловлены значительным влиянием частоты на режимы работы электрооборудования, ход технологических процессов производства и, как следствие, технико-экономические показатели работы промышленных предприятий.

Электромагнитная составляющая ущерба обусловлена увеличением потерь активной мощности в электрических сетях и ростом потребления активной и реактивной мощностей. Известно, что снижение частоты на 1 % увеличивает потери в электрических сетях на 2 %.

Технологическая составляющая ущерба вызвана в основном недопуском промышленными предприятиями своей продукции и стоимостью дополнительного времени работы предприятия для выполнения задания. Согласно экспертным оценкам значение технологического ущерба на порядок выше электромагнитного.

Степень влияния частоты на производительность ряда механизмов может быть выражена через потребляемую ими активную мощность:

$$P = a \cdot f^n, \tag{6.5}$$

где a - коэффициент пропорциональности, зависящий от типа механизма;

f - частота сети;

n – показатель степени. В зависимости от значений показателя степени n , ЭП можно разбить на следующие группы:

- механизмы с постоянным моментом сопротивления - поршневые насосы, компрессоры, металлорежущие станки и др.; для них $n = 1$;

- механизмы с вентиляторным моментом сопротивления - центробежные насосы, вентиляторы, дымососы и др.; для них $n = 3$; на ТЭС, КЭС, АЭС обычно это двигатели насосов питательной воды, циркуляционных насосов, дымовых вентиляторов, маслонасосов и т. д.

- механизмы, для которых $n=3,5-4$ - центробежные насосы, работающие с большим статическим напором (противодавлением), например, питательные насосы котельных.

Электроприемники 2-й и 3-й групп, наиболее подверженные влиянию частоты, имеют регулировочные возможности, благодаря которым потребляемая ими мощность из сети остается практически неизменной.

Наиболее чувствительны к понижению частоты двигатели собственных нужд электростанций. Снижение частоты приводит к уменьшению их производительности, что сопровождается снижением располагаемой мощности генераторов и дальнейшим дефицитом активной мощности и снижением частоты (имеет место лавина частоты).

Такие электроприемники, как лампы накаливания, печи сопротивления, дуговые электрические печи на изменение частоты практически не реагируют.

Контрольные вопросы.

- 1) Влияние отклонений напряжения на работу электроприемников.
- 2) Влияние колебаний напряжения на работу электроприемников.
- 3) Влияние несимметрии напряжений на работу электроприемников.
- 4) Влияние отклонения частоты на работу электроприемников.

ТЕМА 7
ВЗАИМООТНОШЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ
С ЭНЕРГОСНАБЖАЮЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИЕЙ,
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С ОРГАНАМИ
ГОСЭНЕРГОНАДЗОРА, РЕГИОНАЛЬНЫМИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ
КОМИССИЯМИ И ДРУГИМИ ОРГАНИЗАЦИЯМИ

Организации, осуществляющие деятельность в электроэнергетике, являются субъектами электроэнергетики, они могут выступать как субъекты оптового рынка или субъекты розничного рынка. Выделяются следующие виды деятельности в электроэнергетике, осуществляемые коммерческими организациями независимо от их организационно-правовой формы:

- производство энергии (генерация) - деятельность по производству и продаже электроэнергии на оптовый или розничные рынки для дальнейшего преобразования, передачи, распределения и продажи потребителям;

- передача электрической энергии - комплекс организационно и технологически связанных действий, обеспечивающих передачу электроэнергии через технические устройства электрических сетей в соответствии с техническими регламентами;

- сбыт энергии - продажа электроэнергии другим лицам; эту деятельность могут осуществлять производители электроэнергии и сбытовые компании.

Получение (использование) электрической энергии осуществляется на основании договора электроснабжения, заключаемого между энергоснабжающей организацией и абонентом (Абонент (потребитель) - лицо, осуществляющее пользование электрической энергией (мощностью)). Право выбора энергоснабжающей организации предоставлено абоненту.

Договор электроснабжения должен содержать следующие существенные условия:

- а) объем потребления электрической энергии и мощности;

- б) режимы потребления;
- в) значения показателей качества электрической энергии;
- г) применяемые тарифы;
- д) порядок учета потребления электрической энергии и мощности, потребления и генерации реактивной мощности и (или) энергии, контроля показателей качества электрической энергии;
- е) порядок расчетов за использованную электрическую энергию, скидок и надбавок к тарифам за потребление и генерацию реактивной мощности и (или) энергии и за качество электрической энергии;
- ж) порядок пересмотра договорных величин;
- з) меры по поддержанию устойчивой работы энергосистемы, порядок введения ограничений и отключений при дефиците электрической энергии и мощности в энергоснабжающей организации.

Договор электроснабжения должен включать следующие обязательные данные:

- а) полное наименование энергоснабжающей организации и абонента;
- б) место и дата заключения договора;
- в) разрешенная мощность и установленная (присоединенная) мощность;
- г) источники питания и питающие абонента линии;
- д) почтовые и банковские реквизиты сторон;
- е) подписи ответственных лиц, заверенные печатями.

Энергоснабжающая организация, основным видом деятельности которой в соответствии с Уставом (Положением) является электроснабжение абонентов, должна обеспечить электроснабжение каждого обратившегося абонента и предусмотреть при этом необходимые меры по энергосбережению и развитию своих электрических сетей, вводу новых энергетических мощностей.

Расчеты за электрическую энергию и электрическую мощность, полученные абонентом от энергоснабжающей организации, производятся в по-

рядке, установленном иными правовыми актами, правовыми актами федеральных органов исполнительной власти или договором по тарифам, утвержденным в соответствии с федеральным законом "О государственном регулировании тарифов на электрическую и тепловую энергию в Российской Федерации" (собрание законодательства Российской Федерации, 1995, № 16, ст. 1316).

Контроль соответствия применяемых в договорах между энергоснабжающей организацией и абонентами тарифов и систем измерения и учета электрической энергии осуществляют органы государственного энергетического надзора.

Разногласия сторон по техническим вопросам договора энергоснабжения могут рассматриваться управлениями государственного энергетического надзора в субъектах Российской Федерации либо региональными управлениями государственного энергетического надзора, либо Госэнергонадзором Министерства энергетики Российской Федерации, выбираемыми по соглашению сторон.

В случае, если стороны не пришли к соглашению по возникшим разногласиям при заключении договора электроснабжения, абонент вправе в 30-дневный срок, исчисляемый с момента получения извещения энергоснабжающей организации о непринятии предложенных абонентом условий, передать их на рассмотрение арбитражного суда, если иной срок не согласован сторонами.

Присоединение электроустановок к сетям энергоснабжающей организации, а также увеличение разрешенной мощности сверх предусмотренной ранее выданными техническими условиями, осуществляется на основании заявок абонентов.

Электроустановки абонентов должны быть обеспечены расчетными приборами учета электрической энергии в соответствии с требованиями, установленными нормативно-техническими документами.

В отличие от договорных отношений потребителей электроэнергии с энергоснабжающими коммерческими организациями, имеющих эпизодический характер (в пределах срока действия соответствующего договора), их взаимоотношения с органами Ростехнадзора в повседневной практической деятельности обеих сторон являются постоянными и непрерывными.

Характер таких взаимоотношений определяется основной задачей Ростехнадзора, которая заключается в осуществлении контроля технического состояния и безопасности обслуживания электроустановок на предприятиях, в организациях и учреждениях независимо от форм собственности. Эта задача определена в Положении о государственном энергетическом надзоре в РФ, утвержденном постановлением Правительства РФ от 12.08.1998 г. № 938.

Практически ни одна сфера деятельности в электроэнергетике не обходится без контроля со стороны органов Ростехнадзора, начиная с согласования проектной документации по электроснабжению, контроля организации и безопасного проведения наладочных, испытательных и монтажных работ, осмотра и допуска электроустановок в эксплуатацию и заканчивая надзором за рациональной и безопасной эксплуатацией действующих электроустановок, в том числе:

- обучение, переподготовка и повышение квалификации кадров с последующей проверкой знаний норм и правил работы в электроустановках;
- контроль надлежащего объема и качества технической документации в электроустановках;
- контроль технического состояния электроустановок, уровня безопасности их обслуживания и т. д.

Помимо этого органам Ростехнадзора предоставлены следующие права, которые они эффективно используют в своей деятельности:

- участвовать в установленном порядке в работах по обязательной сертификации электрооборудования и электрической энергии;
- участвовать в лицензировании работ в области энергетики;

- проводить мероприятия по контролю при осуществлении государственного энергетического надзора за электрическими сетями энергоснабжающих организаций и потребителей электрической энергии;
- осуществлять научно-техническую и информационную деятельность;
- разрабатывать и издавать нормативно-техническую документацию;
- заключать договоры с юридическими и физическими лицами и т. д.

В дополнение к указанному выше Положению о Госэнергонадзоре приказом Минтопэнерго России от 05.05.1999 г. определена необходимость участия государственного инспектора по энергетическому надзору в расследовании групповых и смертельных несчастных случаев на производстве.

Взаимоотношения потребителей электрической энергии с органами Ростехнадзора направлены на решение общих задач, связанных с обеспечением рациональной и безопасной эксплуатацией электроустановок. Правовой базой для решения этих задач, помимо законодательных и правовых актов, являются нормы и правила работы в электроустановках, разработанные под контролем и утвержденные при участии Ростехнадзора.

Взаимодействие органов Ростехнадзора с энергоснабжающими организациями включает проверки технического состояния и организации эксплуатации электроустановок.

Опыт первых проверок, проведенных комиссиями Ростехнадзора, показал, что организация эксплуатации электроустановок, их техническое состояние, уровень диспетчерской работы в электрических сетях в ряде случаев находится не на должном уровне, что сказывается на надежности работы энергосистем. По результатам таких проверок Госэнергонадзор (Ростехнадзор) вынужден был направить в свои региональные и территориальные управления Информационное письмо от 14.05.1998 г. № 32-6/13-ЭТ «О повышении эффективности государственного энергетического надзора за энергоснабжающими организациями».

Помимо указания мер, которые необходимо принять по результатам проверок, в этом документе отмечено, что в большинстве случаев не отрабо-

тан регламент взаимодействия между энергоснабжающими организациями и органами Госэнергонадзора (Ростехнадзора) в части представления сообщений о нарушениях, содержащих признаки аварии или технологического отказа оборудования, и несчастных случаях с персоналом.

Кроме объектов, поднадзорных органам Ростехнадзора, имеется целый ряд ведомственных потребителей электрической энергии, относящихся к таким организациям, при взаимодействии с которыми компетенция Ростехнадзора ограничена. В таких случаях обе стороны, действуя в рамках своей компетенции, осуществляют согласованное правовое и нормативное регулирование в области электроэнергетики, определяют порядок организации и проведения безопасного производства работ в электроустановках, планируют и координируют свои действия по обеспечению электробезопасности, разрабатывают и утверждают планы совместных обследований объектов, взаимно информируют друг друга о фактах нарушения требований безопасности при эксплуатации электроустановок и т. д.

К таким организациям относятся Министерство внутренних дел РФ, в том числе противопожарная служба, Федеральное агентство правительственной связи и информации (ФАСПИ) при Президенте РФ, Федеральная служба специального строительства России (Росспецстрой), Федеральная служба безопасности (ФСБ) РФ, Ракетные войска стратегического назначения, Федеральная пограничная служба РФ, МЧС России, Госгортехнадзор России (в настоящее время также относится к Ростехнадзору) и ряд других.

Взаимодействие и разграничение функций между Ростехнадзором и техническими инспекциями и (или) инспекциями энергонадзора соответствующих министерств и федеральных служб осуществляется на основе соглашений между ними, утвержденными первыми лицами указанных организаций.

Органы Ростехнадзора оказывают таким организациям методическую помощь и направляют в их адрес обязательные для выполнения информационные и директивные материалы по вопросам безопасной эксплуатации объ-

ектов энергетического надзора, рационального и эффективного использования электроэнергии.

В отличие от взаимоотношений потребителей электрической энергии с энергоснабжающими организациями, при которых допускаются определенные отклонения от нормативно-правовых актов, что имеет место, например, при заключении договоров энергоснабжения («свобода договора»), при выборе тарифа (одноставочный, двухставочный или дифференцированный) или приемлемого способа оплаты за потребленную электроэнергию (акцептный или безакцептный порядок расчетов, с авансовой предоплатой или без нее и т. д.) и др., взаимоотношения с органами Ростехнадзора строятся на неукоснительном соблюдении законодательных, правовых и подзаконных актов. Иначе и не может быть, поскольку главной задачей этих отношений является обеспечение безопасной и рациональной работы электроустановок.

Знание указанных правовых и нормативных документов, соблюдение и правильное их применение в практической деятельности укрепляет и упорядочивает взаимоотношения между обеими сторонами и способствует повышению уровня безопасности и эффективности эксплуатации электроустановок.

Для нормального функционирования электрохозяйства предприятий (организаций) необходим постоянный контроль со стороны органов Ростехнадзора, осуществляемый не только путем непосредственного контакта с уполномоченными представителями потребителя электроэнергии (ответственным за электрохозяйство, работником, его замещающим, специалистом по охране труда, контролирующим электроустановки), но и путем постоянного изучения и соблюдения на практике обеими сторонами законодательных, правовых и подзаконных актов.

К таким общим документам, как для той, так и для другой стороны, помимо кодексов, федеральных законов и постановлений Правительства РФ относятся, в частности:

- весь комплекс действующих норм и правил работы в электроустановках;
- методические указания по допуску в эксплуатацию новых и реконструированных электрических и тепловых энергоустановок;
- ГОСТ в области электроэнергетики; и др.

В то же время имеется нормативно-правовая документация, предназначенная только для одной из сторон.

Так, для инспекторов Ростехнадзора предназначена Инструкция по проведению мероприятий по контролю при осуществлении государственного энергетического надзора за оборудованием, зданиями и сооружениями электрических и тепловых установок, электростанций, котельных, электрических и тепловых сетей энергоснабжающих организаций и потребителей тепловой и электрической энергии.

Для ответственных за электрохозяйство и работников, их замещающих, предназначена Должностная инструкция на ответственного за электрохозяйство и др.

В условиях рыночной экономики, когда электроэнергия приобрела статус товара, а ее потребитель – статус покупателя, взаимоотношения между потребителями электрической энергии и органами Ростехнадзора перешли на новый правовой уровень. Ростехнадзор также вынужден стать участником коммерческой деятельности, а именно:

- представители Ростехнадзора принимают участие в платном обучении и проверке знаний руководителей и специалистов энергослужб и специалистов по охране труда, контролирующих электроустановки предприятий (организаций);
- органы Ростехнадзора заключают на возмездной основе договоры с юридическими лицами и получают плату за оказание консультационных услуг, за согласование проектов электроснабжения, за выдачу потребителям электрической энергии разрешения на подключение электроустановок, на использование электроэнергии для термических нагрузок и т. д.

Контрольные вопросы.

- 1) Взаимоотношения потребителей с энергоснабжающей организацией.
- 2) Какие условия и обязательные данные должен содержать договор электроснабжения.
- 3) Взаимодействие потребителей электрической энергии с органами Госэнергонадзора, региональными энергетическими комиссиями и другими организациями.

ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

Пример 1. Определить номинальную мощность группы трехфазных электроприемников с указанными в таблице 1 техническими данными.

Таблица 1 – Паспортные данные электроприемников

№ п\п	Наименование Электроприемника	Количество ЭП	Паспортное значение мощности,	Паспортное значение cosφ
1	Молоток ковочный	7	15 кВт	0,65
2	Пресс штамповочный	12	4,5 кВт	0,60
3	Кран мостовой, ПВ=25%	2	30 кВт	0,50
4	Тележка подвесная, ПВ=40%	4	8 кВт	0,50
5	Тельфер транспортный, ПВ=60%	3	10 кВт	0,50
6	Трансформатор сварочный, ПВ=40%	5	28 кВА	0,40
7	Аппарат дуговой сварки, ПВ=60%	5	16 кВА	0,35
8	Аппарат стыковой сварки, ПВ=25%	5	14 кВА.	0,45

Решение.

1. В зависимости от режима работы электроприемники разбивают на подгруппы:

- продолжительный режим (позиции 1,2)
- повторно-кратковременный режим (позиции 3-8).

2. Номинальная мощность ЭП продолжительного режима работы определяется по соотношению:

$$P_{ном.1,2} = \sum_{i=1}^n P_{наст.и}$$

$$P_{ном.1,2} = 7 \cdot 15 + 12 \cdot 4,5 = 159 \text{ кВт}$$

3. Для электроприемников ПКР указанная в паспорте мощность приводится к номинальной мощности продолжительного режима при ПВ=100%. Номинальная мощность подъемно-транспортных средств (позиция 3-5) определяется по соотношению:

$$P_{ном.3-5} = \sum_{i=1}^n P_{наст.и} \sqrt{ПВ_{наст.и}}$$

$$P_{ном.3-5} = 7 \cdot 30 \cdot \sqrt{0,25} + 4 \cdot 8 \cdot \sqrt{0,4} + 3 \cdot 10 \cdot \sqrt{0,6} = 73,6 \text{ кВт}$$

Номинальная мощность сварочного оборудования (позиция 6-8) определяется по соотношению:

$$P_{ном.6-8} = \sum_{i=1}^n S_{насп.i} \cdot \cos \varphi_{насп.i} \sqrt{ПВ_{насп.i}}$$

$$P_{ном.6-8} = 5 \cdot 28 \cdot 0.40 \cdot \sqrt{0.4} + 5 \cdot 16 \cdot 0.35 \cdot \sqrt{0.6} + 5 \cdot 14 \cdot 0.45 \cdot \sqrt{0.25} = 72.9 \text{ кВт}$$

4. Номинальная мощность всей группы электроприемников:

$$P_{ном.} = P_{ном.1,2} + P_{ном.3-5} + P_{ном.6-8}$$

$$P_{ном.} = 159 + 73,6 + 72,9 = 305,5 \text{ кВт.}$$

Пример 2. Определить режим работы электроприемника, график нагрузки которого приведен на рисунке 1.

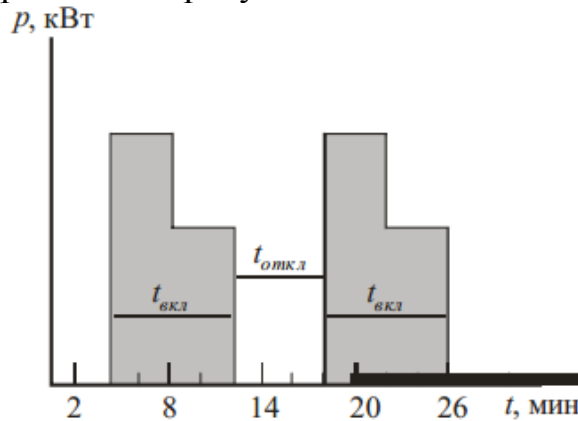


Рисунок 1 – График нагрузки электроприемника

Решение.

Из графика нагрузки видно, что периоды работы электроприемника чередуются с паузами. Время цикла составляет:

$$t_{цикл} = t_{вкл} + t_{откл}$$

$$t_{цикл} = 8 + 6 = 14 \text{ мин.}$$

При длительности цикла $t_{цикл} > 10$ минут режим работы электроприемника считается продолжительным.

Пример 3. Для электроприемника, график нагрузки которого приведен на рисунке 1, определить коэффициент включения и загрузки, если коэффициент использования равен 0,25.

Решение.

1. Коэффициент включения – это отношение продолжительности включения приемника в цикле ко всей продолжительности цикла. По графику нагрузки $t_{вкл} = 8$ мин., $t_{цикл} = 14$ мин., то есть

$$K_{вкл} = \frac{t_{вкл}}{t_{цикл}}$$

$$K_{\text{вкл}} = \frac{8}{14} = 0.57.$$

2. Коэффициент загрузки – это отношение фактически потребленной приемником активной мощности за время включения в течение цикла к его номинальной мощности. Если принять, что фактически потребленная за время включения мощность равна средней, то:

$$K_{\text{загр}} = \frac{P_{\text{факт}}}{P_{\text{ном}}} = \frac{P_{\text{ср.вкл}}}{P_{\text{ном}}} = \frac{1}{P_{\text{ном}}} \cdot \frac{1}{t_{\text{вкл}}} \int_0^{t_{\text{цикл}}} P dt = \frac{P_{\text{ср.}}}{P_{\text{ном}}} \cdot \frac{t_{\text{цикл}}}{t_{\text{вкл}}} = \frac{K_{\text{и}}}{K_{\text{вкл}}}$$

$$K_{\text{загр}} = \frac{0.25}{0.57} = 0.44$$

Коэффициент загрузки и включения непосредственно связаны с технологическим процессом и изменяются с изменением режима работы электроприемника.

Пример 4. К трем силовым распределительным пунктам присоединены 24 электроприемника длительного режима работы следующих номинальных мощностей: 3 по 20 кВт, 6 по 10 кВт, 5 по 7 кВт и 10 по 4,5 кВт. Определить эффективное число электроприемников.

Решение.

Так как отсутствует дополнительная информация об электроприемниках, для определения эффективного числа электроприемников воспользуемся соотношением:

$$n_{\text{эф}} = \frac{(\sum P_{\text{ном.}i})^2}{\sum P_{\text{ном.}i}^2}$$

$$n_{\text{эф}} = \frac{(3 \cdot 20 + 6 \cdot 10 + 5 \cdot 7 + 10 \cdot 4,5)^2}{3 \cdot 20^2 + 6 \cdot 10^2 + 5 \cdot 7^2 + 10 \cdot 4,5^2} = \frac{200^2}{2248} = 18$$

Пример 5. Определить эффективное число электроприемников для группы ЭП длительного режима работы следующих номинальных мощностей: 10 по 0,6 кВт, 5 по 4,5 кВт, 6 по 7 кВт, 5 по 10 кВт и 2 по 14 кВт. Групповой коэффициент использования $K_{\text{и}} = 0,5$.

Решение.

Проверяем возможность принять в расчете $n_{\text{эф}} = n$. Определяем значение показателя силовой сборки в группе.

Десять наименьших электроприемников по 0,6 кВт могут быть исключены, т.к их суммарная мощность 6 кВт меньше 5 % общей суммарной номинальной мощности приемников всей группы ($P_{\text{ном}} = 148,5$ кВт). Тогда наибольшим по мощности в группе будет приемник 14 кВт, наименьшим 4,5 кВт. Следовательно:

$$m = \frac{P_{\text{ном.мах}}}{P_{\text{ном.мин}}} = \frac{14}{4,5} \approx 3$$

При $m = 3$, и $K_{\text{и}} = 0,5$ значение $n_{\text{эф}}$ может быть принято n , что без учета исключенных приемников составляет:

$$n_{\text{эф}} = 28 - 10 = 18$$

Сравним полученный результат, воспользовавшись следующим соотношением:

$$n_{\text{эф}} = \frac{(\sum P_{\text{ном.}i})^2}{\sum P_{\text{ном.}i}^2} = \frac{(10 \cdot 0,6 + 5 \cdot 4,5 + 6 \cdot 7 + 5 \cdot 10 + 2 \cdot 14)^2}{10 \cdot 0,6^2 + 5 \cdot 4,5^2 + 6 \cdot 7^2 + 5 \cdot 10^2 + 2 \cdot 14^2} = \frac{148,5^2}{1290,8} = 17$$

Полученные значения достаточно близки.

Пример 6. Определить эффективное число электроприемников для группы приемников длительного режима работы следующих номинальных мощностей: 4 по 20 кВт, 5 по 14 кВт, 6 по 7 кВт, 6 по 10 кВт, 5 по 7 кВт, 4 по 4,5 кВт, 5 по 2,8 кВт и 20 по 1 кВт. Групповой коэффициент использования $K_{\text{и}} = 0,4$.

Решение.

Определяем величины n и m :

$$n = 4 + 5 + 6 + 5 + 4 + 5 + 20 = 49$$

$$m = \frac{P_{\text{ном.мах}}}{P_{\text{ном.мин}}} = \frac{20}{1} = 20$$

Следовательно, эффективное число ЭП не может быть принято равным фактическому числу приемников, т.к. $m > 3$.

При $m > 3$ и $K_{\text{и}} = 0,4$ воспользуемся выражением:

$$n_{\text{эф}} = \frac{2 \sum P_{\text{ном.}i}}{P_{\text{ном.мах}}} = \frac{2 \cdot 297}{20} = 30$$

Сравним полученный результат, воспользовавшись следующим соотношением:

$$n_{\text{эф}} = \frac{(\sum P_{\text{ном.}i})^2}{\sum P_{\text{ном.}i}^2} = \frac{(4 \cdot 20 + 5 \cdot 14 + 6 \cdot 10 + 5 \cdot 7 + 4 \cdot 4,5 + 5 \cdot 2,8 + 20 \cdot 1)^2}{4 \cdot 20^2 + 5 \cdot 14^2 + 6 \cdot 10^2 + 5 \cdot 7^2 + 4 \cdot 4,5^2 + 5 \cdot 2,8^2 + 20 \cdot 1^2} = \frac{297^2}{3485} = 25$$

Пример 7. Определить электрическую расчетную нагрузку троллея, от которого питаются два заливочных крана, имеющих следующие механизмы:

а) главный подъем, ПВ = 25 % с двумя двигателями по 100 кВт (могут работать только одновременно);

б) вспомогательный подъем, главная и вспомогательная тележки, ПВ = 25 % с тремя двигателями: 2 по 15 кВт и один 60 кВт;

в) передвижение моста, ПВ = 25 % с двумя двигателями по 80 кВт.

Коэффициент использования для механизмов заливочного крана равен 0,2, а $\cos\varphi = 0,6$. Напряжение сети 380 В. Общая паспортная (установленная) мощность на одном кране 450 кВт (на двух кранах – 900 кВт).

Решение.

Все электроприемники приводятся к ПВ = 100 %.

$$P_{\text{ном.}} = \sum_{i=1}^n P_{\text{ном.}i} \sqrt{\text{ПВ}_i}$$

а) главный подъем:

$$P_{\text{ном.1}} = 2 \cdot 100 \cdot \sqrt{0.25} = 100 \text{ кВт};$$

б) вспомогательный подъем и тележки:

$$P_{\text{ном.2}} = 2 \cdot 15 \cdot \sqrt{0.25} + 60 \cdot \sqrt{0.25} = 45 \text{ кВт};$$

в) передвижение моста:

$$P_{\text{ном.3}} = 2 \cdot 80 \cdot \sqrt{0.25} = 80 \text{ Вт}.$$

Суммарная номинальная мощность электроприемников одного крана, приведенная к ПВ = 100%:

$$\begin{aligned} P_{\text{ном.}} &= P_{\text{ном.1}} + P_{\text{ном.2}} + P_{\text{ном.3}} \\ P_{\text{ном.}} &= 100 + 45 + 80 = 225 \text{ кВт}, \end{aligned}$$

а двух кранов – 450 кВт.

Определяем показатель силовой сборки в группе:

$$m = \frac{P_{\text{ном.}max}}{P_{\text{ном.}min}} = \frac{2 \cdot 50}{7,5} = 13,33 > 3$$

Здесь $P_{\text{ном.}max}$ - мощность двух электродвигателей главного подъема, которые работают одновременно. Оба эти электродвигателя принимаются как один электроприемник.

Т.к. $m > 3$ и $K_{\text{и}} = 0,2$ воспользуемся выражением:

$$\begin{aligned} n_{\text{эф}} &= \frac{2 \sum P_{\text{ном.}i}}{P_{\text{ном.}max}} \\ n_{\text{эф}} &= \frac{2 \cdot 450}{100} = 9 \end{aligned}$$

По справочным [9] данным находим коэффициент максимума активной нагрузки, при $n_{\text{эф}} = 9$ и $K_{\text{и}} = 0,2$

$$K_{\text{м}} = 1,9.$$

Средняя нагрузка за наиболее загруженную смену составит:

$$P_{\text{см}} = K_{\text{и}} \cdot P_{\text{ном}}$$

$$P_{\text{см}} = 0,2 \cdot 450 = 90 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

$$Q_{\text{см}} = 90 \cdot 1,33 = 120 \text{ квар.}$$

Максимальная нагрузка:

$$P_{\text{м}} = K_{\text{м}} \cdot P_{\text{см}} = 1,9 \cdot 90 = 171 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{м}} = 1,1 \cdot Q_{\text{см}} = 1,1 \cdot 120 = 132 \text{ квар};$$

$$S_{\text{м}} = \sqrt{P_{\text{м}}^2 + Q_{\text{м}}^2}$$

$$S_{\text{м}} = \sqrt{171^2 + 132^2} = 216 \text{ кВА};$$

$$I_{\text{м}} = \frac{S_{\text{м}}}{\sqrt{3} U_{\text{ном}}}$$

$$I_{\text{м}} = \frac{216}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 328 \text{ А.}$$

Пример 8. Определить активную электрическую нагрузку группы из трех электроприемников длительного режима работы со следующими данными:

- а) электродвигатель фрезерного станка 15 кВт, $K_{\text{и}} = 0,2$;
- б) электродвигатель вентилятора 10 кВт, $K_{\text{и}} = 0,7$;
- в) электродвигатель токарного станка 7,5 кВт, $K_{\text{и}} = 0,17$.

Решение.

Общая номинальная (установленная) мощность:

$$P_{\text{ном.}} = \sum_{i=1}^n p_{\text{ном.}i}$$

$$P_{\text{ном.}} = 15 + 10 + 7,5 = 32,5 \text{ кВт}$$

Средняя активная мощность за наиболее загруженную смену:

$$P_{\text{см}} = \sum_{i=1}^n k_{\text{и}} \cdot p_{\text{ном.}i}$$

$$P_{\text{см}} = 0,2 \cdot 15 + 0,7 \cdot 10 + 0,17 \cdot 7,5 = 11 \text{ кВт}$$

Для трех и менее электроприемников в группе максимальная расчетная нагрузка равна

$$P_{\text{м.}} = \sum_{i=1}^{n \leq 3} p_{\text{ном.}i}$$

Т.е для рассматриваемой группы $P_{\text{м}} = 32,5 \text{ кВт}$

Пример 9. Определить полную расчетную нагрузку механического цеха машиностроительного завода. Удельная расчетная нагрузка цеха $0,3 \text{ кВА/м}^2$, площадь цеха 13000 м^2 .

Решение.

Расчетная нагрузка определяется по соотношению:

$$S_{\text{расч}} = p_0 \cdot F$$

$$S_{\text{расч}} = 0,3 \cdot 13000 = 3900 \text{ кВА.}$$

Пример 10. Определить расчетную нагрузку алюминиевого завода производительностью 100 000 т алюминия в год. Удельный расход электроэнергии на переменном напряжении на производство алюминия составляет 18000 кВт/ч, расход на остальные нужды завода – 5 % от годового расхода на электролиз. Число часов использования максимума нагрузки составляет 8300 ч.

Решение. Годовой расход электроэнергии на электролиз:

$$W'_a = W_{a \text{ уд}} \cdot M$$

$$W'_a = 18000 \cdot 100000 = 1800 \cdot 10^6 \text{ кВт·ч.}$$

Расход на иные нужды завода:

$$W''_a = 0,05 \cdot W'_a$$

$$W''_a = 0,05 \cdot 18000 \cdot 10^6 \text{ кВт·ч.}$$

Общий расход электроэнергии:

$$W_a = W'_a + W''_a$$

$$W_a = 18000 \cdot 10^6 + 90 \cdot 10^6 = 1890 \cdot 10^6 \text{ кВт·ч.}$$

Расчетная нагрузка завода:

$$P_{\text{расч}} = \frac{W_a}{T_m}$$

$$P_{\text{расч}} = \frac{1890 \cdot 10^6}{8300} = 227711 \text{ кВт} \approx 230 \text{ МВт.}$$

Пример 11. Пять сварочных трансформаторов со следующими паспортными данными: $S_{\text{пасп}}=28 \text{ кВА}$, $\text{ПВ} = 40 \%$, $\cos \varphi = 0,4$, включены на линейное напряжение трехфазной сети 380/220 В. Определить степень неравномерности распределения нагрузки по фазам. Схема включения электроприемников приведена на рисунке 2.

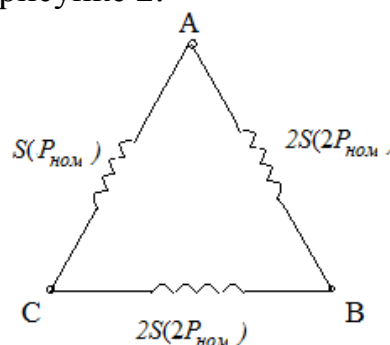


Рисунок 2 – Распределение однофазной нагрузки по фазам (к примеру 11)

Решение.

1) Нагрузка однофазных электроприемников с повторно-кратковременным режимом работы приводится к продолжительному режиму:

$$P_{\text{НОМ}} = S_{\text{пасп}} \cos \varphi_{\text{пасп}} \sqrt{\text{ПВ}}$$

$$P_{\text{НОМ}} = 28 \cdot 0,4 \cdot \sqrt{0,4} = 7,1 \text{ кВт}$$

2) Определяется нагрузка каждой фазы:

$$P_A = \frac{P_{AC} + P_{AB}}{2} = \frac{P_{\text{НОМ}} + 2P_{\text{НОМ}}}{2} = 1,5P_{\text{НОМ}} = 1,5 \cdot 7,1 = 10,7 \text{ кВт}$$

$$P_B = \frac{P_{AB} + P_{BC}}{2} = \frac{2P_{\text{НОМ}} + 2P_{\text{НОМ}}}{2} = 2P_{\text{НОМ}} = 2 \cdot 7,1 = 14,2 \text{ кВт}$$

$$P_C = \frac{P_{BC} + P_{AC}}{2} = \frac{2P_{\text{НОМ}} + P_{\text{НОМ}}}{2} = 1,5P_{\text{НОМ}} = 1,5 \cdot 7,1 = 10,7 \text{ кВт}$$

Наиболее загруженной является фаза В, фазы А и С загружены равномерно.

3) Степень неравномерности нагрузки по фазам составляет:

$$H = \frac{P_{\text{ф.нб}} - P_{\text{ф.нм}}}{P_{\text{ф.нм}}} \cdot 100 \%$$

$$H = \frac{14,2 - 10,7}{10,7} \cdot 100 \% = 33 \%$$

Пример 12. Два сварочных трансформатора паспортной мощностью соответственно:

$$S_{\text{пасп1}} = 80 \text{ кВА}, \text{ ПВ}_1 = 50 \%, \cos \varphi_1 = 0,5$$

$$S_{\text{пасп2}} = 30 \text{ кВА}, \text{ ПВ}_2 = 65 \%, \cos \varphi_2 = 0,53$$

Включены в фазы АВ и ВС. Определить условную трехфазную номинальную мощность сети.

Решение.

1) Определяем номинальные мощности трансформаторов, приведенных к ПВ = 100 %:

$$P_{\text{НОМ}} = S_{\text{пасп}} \cos \varphi_{\text{пасп}} \sqrt{\text{ПВ}}$$

$$P_{\text{НОМ1}} = 80 \cdot 0,5 \cdot \sqrt{0,5} = 28 \text{ кВт}$$

$$P_{\text{НОМ2}} = 30 \cdot 0,53 \cdot \sqrt{0,65} = 13 \text{ кВт}$$

2) Определяем нагрузку каждой фазы, выявляем наиболее загруженную:

$$P_A = \frac{P_{AC} + P_{AB}}{2} = \frac{P_{\text{НОМ1}} + 0}{2} = \frac{28}{2} = 14 \text{ кВт}$$

$$P_B = \frac{P_{AB} + P_{BC}}{2} = \frac{P_{\text{НОМ1}} + P_{\text{НОМ2}}}{2} = \frac{28 + 13}{2} = 20,5 \text{ кВт}$$

$$P_C = \frac{P_{BC} + P_{AC}}{2} = \frac{P_{\text{НОМ2}} + 0}{2} = \frac{13}{2} = 6,5 \text{ кВт}$$

Наиболее загруженной является фаза В, следовательно:

$$P_{\text{ф.нб}}^{(1)} = 20,5 \text{ кВт.}$$

3) Условная трехфазная номинальная мощность сети составляет:

$$P_{\text{усл}}^{(3)} = 3 \cdot P_{\text{ф.нб}}^{(1)} = 61,5 \text{ кВт.}$$

Пример 13. Определить ток линии, питающей группу однофазных электроприемников, имеющих одинаковый коэффициент использования $K_{\text{и}}=0,3$ и $\cos \varphi = 0,5$ и включенных на линейное напряжение. Между фазами АВ включены ЭП с номинальными мощностями 25 кВт, два по 15 кВт и два по 10 кВт; между фазами ВС – с мощностями 20, 15, 10 кВт и два по 7,5 кВт; между фазами АС – с мощностями 25, 15, 10 кВт и два по 20 кВт.

Решение.

1) Определяется общая установленная мощность между фазами:

$$P_{\text{AB}} = \sum_{i=1}^5 p_{\text{ном.}i} = 25 + 2 \cdot 15 + 2 \cdot 10 = 75 \text{ кВт}$$

$$P_{\text{BC}} = \sum_{i=1}^5 p_{\text{ном.}i} = 20 + 15 + 10 + 2 \cdot 7,5 = 60 \text{ кВт}$$

$$P_{\text{AC}} = \sum_{i=1}^5 p_{\text{ном.}i} = 25 + 15 + 10 + 2 \cdot 20 = 90 \text{ кВт}$$

2) Определяются нагрузки каждой фазы:

$$P_{\text{A}} = \frac{P_{\text{AC}} + P_{\text{AB}}}{2} = \frac{90 + 75}{2} = 82,5 \text{ кВт}$$

$$P_{\text{B}} = \frac{P_{\text{AB}} + P_{\text{BC}}}{2} = \frac{75 + 60}{2} = 67,5 \text{ кВт}$$

$$P_{\text{C}} = \frac{P_{\text{BC}} + P_{\text{AC}}}{2} = \frac{60 + 90}{2} = 75 \text{ кВт}$$

и степень неравномерности распределения нагрузки по фазам:

$$H = \frac{P_{\text{ф.нб}} - P_{\text{ф.нм}}}{P_{\text{ф.нм}}} \cdot 100 \%$$

$$H = \frac{82,5 - 67,5}{67,5} \cdot 100 \% = 22 \% > 15 \%$$

т.к. $H > 15 \%$, то расчетная нагрузка определяется по выражению:

$$P_{\text{р}} = 3K_{\text{и}}K_{\text{р}}P_{\text{н.мах.ф}}$$

что требует расчета $n_{\text{эф}}$ и определения коэффициента расчетной активной нагрузки.

3) Определяется эффективное число электроприемников:

$$n_{\text{эф}} = \frac{2 \sum P_{\text{н.о}}}{3p_{\text{н.о.мах}}}$$

$$n_{\text{эф}} = \frac{2 \cdot (90 + 60 + 75)}{3 \cdot 25} = 6$$

По справочным [9] данным находим коэффициент расчетной активной нагрузки, при $n_{\text{эф}} = 6$ и $K_{\text{и}} = 0,3$. $K_{\text{р}} = 1,88$.

4) Определяются активная и полная расчетные нагрузки:

$$P_{\text{р}} = 3 \cdot 1,88 \cdot 0,3 \cdot 82,5 = 139,6 \text{ кВт}$$

$$S_{\text{р}} = \frac{P_{\text{р}}}{\cos \varphi}$$

$$S_{\text{р}} = \frac{139,6}{0,5} = 279,2 \text{ кВА}$$

5) Определяется расчетный ток линии, питающей группу однофазных электроприемников:

$$I_{\text{р}} = \frac{S_{\text{р}}}{\sqrt{3} U_{\text{н}}}$$

$$I_{\text{р}} = \frac{279,2}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 423 \text{ А}$$

Пример 14. Определить пиковый ток линии, питающей группу электродвигателей крана грузоподъемностью 10 т с паспортными данными, представленными в таблице 2. Напряжение сети 380 В, коэффициент использования $K_{\text{и}} = 0,1$

Таблица 2 – Паспортные данные электроприемников

Электродвигатель	$p_{\text{пасп, кВт}}$	$\text{ПВ}_{\text{пасп, \%}}$	$\cos \varphi$	$i_{\text{ном, А}}$	$i_{\text{пуск}} / i_{\text{ном}}$
Подъем груза	12,0	15	0,76	27,5	5,5
Передвижение тележки	4,0	15	0,72	8,9	5
Передвижение поста	8,0	15	0,75	17,5	5

Решение. Расчетный ток группы электродвигателей определяется по соотношению:

$$I_{\text{р}} = \frac{S_{\text{р}}}{\sqrt{3} U_{\text{н}}}$$

$$P_{\text{р}} = \sum_{i=1}^3 p_{\text{пасп.}i} \cdot \sqrt{\text{ПВ}_{\text{пасп.}i}}$$

$$P_{\text{р}} = (12 + 4 + 8) \cdot \sqrt{0,15} = 9,3 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{р}} = \sum_{i=1}^3 p_{\text{пасп.}i} \cdot \text{tg } \varphi_i \cdot \sqrt{\text{ПВ}_{\text{пасп.}i}}$$

$$Q_{\text{р}} = (12 \cdot 0,85 + 4 \cdot 1,0 + 8 \cdot 0,88) \cdot \sqrt{0,15} = 8,2 \text{ кВАр}$$

$$S_{\text{р}} = \sqrt{P_{\text{р}}^2 + Q_{\text{р}}^2}$$

$$S_p = \sqrt{9,3^2 + 8,2^2} = 12,4 \text{ кВА.}$$

$$I_p = \frac{12,4}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 18,8 \text{ А}$$

Наибольшим пусковым током обладает электродвигатель для подъема груза:

$$i_{\text{пуск.мах}} = 5,5 \cdot i_{\text{ном.мах}} = 5,5 \cdot 27,5 = 151 \text{ А.}$$

Номинальный ток этого электродвигателя, приведенный к ПВ = 100 %:

$$i_{\text{ном.мах}} = i_{\text{пасп}} \cdot \sqrt{\text{ПВ}_{\text{пасп}}}$$

$$i_{\text{ном.мах}} = 27,5 \cdot \sqrt{0,15} = 10,6 \text{ А.}$$

Пиковый ток линии рассчитывается по соотношению:

$$I_{\text{пик}} = i_{\text{пуск.мах}} + I_p - K_{\text{и}} i_{\text{н.мах}}$$

$$I_{\text{пик}} = 151 + 18,8 - 0,1 \cdot 10,6 = 168,7 \text{ А.}$$

Пример 15. Определить пиковый ток троллея, от которого запитаны два заливочных крана (пример 7), имеющие механизмы со следующими электродвигателями: 2 по 100 кВт с фазным ротором (работают одновременно), $i_{\text{пасп}} = 215 \text{ А}$; 2 по 15 кВт плюс один 60 кВт и 2 по 80 кВт; продолжительность включения кранов ПВ = 0,25, а коэффициент использования $K_{\text{и}} = 0,2$.

Решение. Наибольшими электроприемниками этих кранов являются два двигателя главного подъема с фазным ротором по 100 кВт. Пусковой ток равен:

$$I_{\text{пуск}} = 2,5 \cdot i_{\text{пасп}} = 2,5 \cdot 215 = 536 \text{ А}$$

Одновременно пускаются два двигателя. Максимальный расчетный ток составляет 328 А (см. пример 7). Пиковый ток троллея:

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{пуск.мах}} + I_p - K_{\text{и}} i_{\text{н.мах}}$$

$$I_{\text{пик}} = 2 \cdot 536 + 328 - 0,2 \cdot 215 = 1360 \text{ А.}$$

Список источников

1. Кабышев, А.В. Электроснабжение объектов. Часть 1. Расчет электрических нагрузок, нагрев проводников и электрооборудования: учебное пособие / А.В. Кабышев. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2007 – 185 с.
2. Гужов, Н.П. Системы электроснабжения: Учебное пособие \ Н.П. Гужов, В.Я. Ольховский, Д.А. Павлюченко – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006. – 154 с.
3. Головкин, П. И. Энергосистема и потребители электрической энергии / П. И. Головкин. – Москва: Энергоатомиздат, 1979.
4. Федоров, А.А. Основы электроснабжения промышленных предприятий: Учебник для ВУЗов – 4-е изд., перераб. и доп. / А.А. Федоров, В.В. Каменева – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 472 с
5. Колесник, Ю. Н. Потребители электроэнергии: курс лекций по одной дисциплине для студентов специальности 1-43 01 03 «Электроснабжение» днев. и заоч. форм обучения / Ю. Н. Колесник. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2009. – 72 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://lib.gstu.local>. – Загл. с титул. экрана.
6. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию: в 2 т. / под общей ред. А. А. Федорова. – Москва: Энергоатомиздат, 1986. – 568 с/
7. Шидловский, А. К. Расчеты электрических нагрузок систем электроснабжения промышленных предприятий/ А. К. Шидловский, Г. Я. Вагин, Э. Г. Куренный. – Москва: Энергоатомиздат, 1992. – 224 с.
8. Цигельман, И.Е. Электроснабжение гражданских зданий и коммунальных предприятий Учебник для электромеханич. спец. техникумов. 3-е изд., испр. и доп./ И.Е. Цигельман – М.: Высш. шк. 1988. — 319 с
9. Кабышев, А.В. Расчет и проектирование систем электроснабжения: Справочные материалы по электрооборудованию: Учеб. пособие / А.В.

Кабышев, С.Г. Обухов . – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2005. – 168 с.