



В.В. Бахмутская
**ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ
ПРОМЫШЛЕННЫХ
ПРЕДПРИЯТИЙ**

В.В. Бахмутская

**ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ
ПРОМЫШЛЕННЫХ
ПРЕДПРИЯТИЙ**



Пособие

Гомель 2019

УДК 621.311.031:658.26(075.8)
ББК 31.28я73
Э45

*Рекомендовано научно-методическим советом
энергетического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 7 от 27.03.2018 г.)*

Составитель *В. В. Бахмутская*

Рецензент: доц. каф. «Автоматизированный электропривод» ГГТУ им. П. О. Сухого
канд. техн. наук, доц. *В. А. Савельев*

Э45 **Электроснабжение** промышленных предприятий : пособие по одной дисциплине для студентов специальности 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций» днев. и заоч. форм обучения / сост. В. В. Бахмутская. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2019. – 258 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://library.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

Изложены основы электроснабжения промышленных предприятий, даны определения и формулы для расчета электрических нагрузок, потерь мощности и электроэнергии, выбора числа и мощности трансформаторов, защитных аппаратов и сечений проводников.

Для студентов специальности 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций» дневной и заочной форм обучения.

УДК 621.311.031:658.26(075.8)
ББК 31.28я73

© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2019

ПРЕДИСЛОВИЕ

Использование электроэнергии в процессе промышленного производства возможно только при организации экономичной, надежной и безопасной работы системы электроснабжения. Поэтому изучение данной дисциплины является важным звеном подготовки инженеров – энергетиков по специальности 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций»

Целью изучения дисциплины является приобретение высокого уровня профессиональной подготовки специалистов в области организации надежного и безопасного снабжения электроэнергией электрооборудования промышленных предприятий.

Курс «Электроснабжение промышленных предприятий» состоит из двух частей, рассчитан для изучения в двух семестрах, обеспечен в полном объеме всеми видами учебных занятий, первый семестр – теоретическими (лекционными), практическими и лабораторными занятиями, курсовой проект по внутрицеховому электроснабжению, экзамен по первой части курса (распределение электроэнергии на напряжении до 1кВ); второй семестр – лекционными, практическими и лабораторными занятиями, курсовой проект по внешнему и внутризаводскому электроснабжению, экзамен по второй части курса (распределение электроэнергии на напряжении выше 1кВ).

Учебная дисциплина «Электроснабжение промышленных предприятий» взаимосвязана с такими учебными дисциплинами как «Потребители электроэнергии», «Электрическое освещение».

ВВЕДЕНИЕ

Учение об энергетике, как о едином целом начало формироваться с 19 века. Этому послужили многие открытия и изобретения, например, в 1802г. открытие Петровым В.В. электрической дуги, ставшей основой многих технологических процессов (сварка, плавка, резание), затем законов тепловых (Джоуль Д.П., Ленц Э.Х.) и химических (Фарадей М.) действий тока, а также основополагающих законов электротехники (Ом Г.С. и Кирхгоф Г.Р.). Одновременно с научными исследованиями развернулись работы по практической реализации достижений науки. Огромное значение имели труды М.О. Доливо-Добровольского, создавшего технику трехфазного переменного тока и П.Н. Яблочкова, изобретшего электрический трансформатор. Тем самым появилась возможность не только производить электрическую энергию (ЭЭ), использовать ее в народном хозяйстве, но и передавать ее на расстояние. Все это явилось основой для появления прикладных наук, дисциплин.

Как самостоятельная дисциплина «Электроснабжение промышленных предприятий» возникла в связи с бурным развитием промышленности.

В начале первой пятилетки в нашей стране не было тракторной, автомобильной, авиационной, станкостроительной промышленности, страна была аграрной, выработка электроэнергии составляла всего 5млрд. кВт.ч. Системы электроснабжения отсутствовали, если где и был электропривод, то он был общим, трансмиссионным. Производственные механизмы приводились в движение от одного двигателя (мотора) через целую систему трансмиссионных передач (большого количества ремней, валов, шкивов и т.д.).

Если характеризовать период времени от Октябрьской революции до распада Советского Союза, то следует отметить, что страна постепенно превращалась из отсталой аграрной в страну индустриально развитую. Практически было выполнено 12 пятилеток. Достигнуты значительные успехи в определенных отраслях народного хозяйства.

Например, в энергетике принят и успешно реализован знаменитый план ГОЭЛРО (22.12.1920г., 8 Всероссийский съезд Советов). Выработано электроэнергии: в 1970г. – 740 млрд.кВт.ч;

в 1975г. – 1040 млрд.кВт.ч;

в 1980г. - 1300 млрд.кВт.ч;

в 1985г. - 1560 млрд.кВт.ч;

в 1989г. - 1722 млрд.кВт.ч.

Такие темпы развития не знала ни одна страна в мире. Появились крупные промышленные предприятия, в бывшем Союзе – Магнитогорский металлургический, Горьковский, Тольятинский автомобильные заводы и др. У нас в Беларуси Минские тракторный и автомобильные заводы, Гомель – заводы сельскохозяйственного машиностроения, предприятия объединения «Химволокно», «Беларуськалий» и др.

И так сложилась наша история, судьба страны, когда, думая создать здоровое и с достатком общество, мы строили его без необходимой теории. Упор делали на производство товаров гр. А, а нужно было социально-экономическое развитие страны.

Развитие основных отраслей промышленности, увеличение электрификации технологических процессов и, в связи с этим, увеличение электропотребления, возникающие задачи при проектировании и эксплуатации технических систем, обеспечивающих питание электроэнергией приемников, и явились основными предпосылками появления такой дисциплины, отрасли науки, как «Электроснабжение промышленных предприятий».

Первые учебники по данному курсу появились еще в 50-х годах предыдущего столетия. В дальнейшем эта отрасль науки продолжала развиваться. Так, в 1962году, от нее отделилась и образовалась в самостоятельную такая дисциплина как «Электропривод», позже «Электрическое освещение», «Промышленные потребители электроэнергии», «Управление электропотреблением» и др.

Значительный вклад в развитие электроснабжения внесли отечественные инженеры и ученые, такие как:

- Волобринский, Каялов, Федоров, Мукосеев, Лившиц – определение расчетных электрических нагрузок;
- Сыромятников, Лосев, Гук, Синчугов, Михайлов, Фокин – надежность систем электроснабжения;
- Ермилов, Либерман – разработка схем электроснабжения;
- Константинов, Жежеленко, Железко рациональное использование электроэнергии и качество ее;
- Карпов, Тайц, Мельников, Грейсхух – компенсация реактивных нагрузок и регулирование напряжения.

В настоящее время весь материал дисциплины ЭПП сформирован в следующих семи разделах:

1ч. курса: 1. Общие сведения о СЭ. Основные понятия и определения.

2. Распределение электроэнергии на напряжении до 1 кВ.

3. Цеховые трансформаторные и преобразовательные подстанции.

2ч. курса: 4. Распределение электроэнергии при напряжении выше 1 кВ.

5. Компенсация реактивной мощности.

6. Электромагнитная совместимость.

7. Измерения, учет и экономия электрической энергии.

1 СХЕМЫ СИЛОВЫХ И ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ ЦЕХОВЫХ СЕТЕЙ

1.1 Основные понятия и определения

Для нормальной жизнедеятельности человека нужны топливно-энергетические ресурсы, такие как топливо, тепловая энергия и электрическая энергия.

Для обеспечения энергоресурсами созданы соответствующие источники энергии.

Совокупность электрических станций, линий электропередачи, подстанций, тепловых сетей и приемников, объединенных общим и непрерывным процессом выработки, преобразования, распределения тепловой и электрической энергии, называется *энергетической системой*.

Единая энергетическая система (ЕЭС) объединяет энергетические системы отдельных районов, соединяя их линиями электропередачи (ЛЭП).

Часть энергетической системы, состоящая из генераторов, распределительных устройств (РУ), повышающих и понижающих подстанций, линий электрической сети и приемников электроэнергии, называют *электроэнергетической системой*.

Электроэнергетическая система имеет некоторые особенности:

I. Отличительной особенностью электроэнергетики является неразрывность и практически полное совпадение во времени процессов производства, распределения и потребления электрической энергии.

Весь этот комплекс электроустановок, состоящий из электростанций, подстанций, распределительных устройств, ЛЭП и потребителей электроэнергии, связан в одно целое непрерывностью производства и распределения электрической энергии и называется *электрической системой*.

Нарушение указанной схемы, будь то со стороны источников питания или со стороны электроприемников, ведет к нарушению процесса производства электроэнергии. Поэтому присоединение электроустановок потребителей к энергосистеме производится только с разрешения последней и по ее техническим условиям. Энергосистема также осуществляет надзор за соблюдением потребителями соответ-

ствующих правил и норм в процессе эксплуатации своих электроустановок.

I. Совпадение во времени фазы производства и фазы потребления происходит из-за огромной скорости распределения электрической энергии, равной скорости света (300000 км/сек).

II. Электроэнергия, в силу своей универсальности, способности к неограниченному делению и превращению в другие виды энергии, находит широкое применение во всех отраслях народного хозяйства, быту и используется различными по режиму работы приемниками. Поэтому режим производства электроэнергии меняется в течение суток в зависимости от времени года.

Неравномерность графика производства и потребления электроэнергии является *второй характерной особенностью* электроэнергетического производства.

III. Третьей особенностью данного производства является то, что оно должно удовлетворять потребности электроприемников не только в электроэнергии, но и в покрытии их электрической нагрузки (потребляемой мощности).

Неравномерность графика потребления энергии приводит к появлению суточных пиков нагрузки энергосистемы, утренних и вечерних максимумов суточной нагрузки, на покрытие которых требуется соответствующая генерирующая мощность. Количество часов использования этой мощности сравнительно невелико и поэтому затраты на нее являются малоэффективными. Для снижения этих затрат необходимо выравнивание суточных графиков потребления электроэнергии и снижение пиков нагрузки потребителей.

IV. Четвертая особенность электроэнергетического производства связана с обеспечением качества электроэнергии и влияния на нее электроприемников потребителей.

Наличие у потребителей электроприемников, потребляющих реактивную мощность, искажающих форму кривой напряжения, выделяющих при работе высшие гармоники и т.д., затрудняет для энергосистемы соблюдение стандарта на качество энергии и вызывает дополнительные затраты на ее производство. Для снижения затрат на покрытие реактивной нагрузки и обеспечения стандартных условий напряжения требуется компенсация реактивной мощности как в сетях самой энергосистемы, так и в установках потребителей.

V. Пятая особенность электроэнергетического производства связана с учетом электроэнергии и расчетами с ее потребителями.

Так как продукция энергетического производства поставляется и расходуется присоединенной электроустановкой практически без участия энергосистемы, требуется обеспечить полный учет взятой потребителем продукции (электроэнергии) и расчеты за нее в соответствии с заданным режимом работы электроустановки и особенностями электроприемников.

Поэтому:

- организацией учета электроэнергии в установках потребителей и эксплуатацией расчетных электросчетчиков занимается энергосистема;
- расчеты за электроэнергию производятся по тарифам, дифференцированным по группам потребителей и в зависимости от характера потребления реактивной мощности.

Системой электроснабжения (СЭС) называют совокупность устройств для производства, передачи и распределения электроэнергии. СЭС промышленных предприятий создаются для обеспечения питания электроэнергией промышленных приемников, к которым относятся электродвигатели различных машин и механизмов, электрические печи, электролизные установки, аппараты и машины для электрической сварки, осветительные установки и др.

В системе электроснабжения можно выделить три вида электроустановок:

- *по производству электроэнергии* - электрические станции;

Электрической станцией называется предприятие, на котором вырабатывается электрическая энергия. На этих станциях различные виды энергии (энергия топлива, падающей воды, ветра, атомная и др.) с помощью электрических машин, называемых генераторами, преобразуются в электрическую энергию.

В зависимости от используемого вида первичной энергии все существующие электрические станции разделяются на следующие основные группы: тепловые, гидравлические, атомные, ветряные и др.

- *по передаче, преобразованию и распределению электроэнергии* - электрические сети и подстанции;

- *по потреблению электроэнергии* в производственных и бытовых нуждах - приемники электроэнергии.

Приёмником электроэнергии (электроприёмником, токоприёмником) называется электрическая часть производственной установки, получающая электроэнергию от источника и преобразующая её в механическую, тепловую, химическую, световую и др. виды энергии.

По технологическому назначению приемники электроэнергии классифицируются в зависимости от вида энергии, в который данный приемник преобразует электрическую энергию: электродвигатели приводов машин и механизмов; электротермические и электрохимические установки; установки электроосвещения; устройства искровой обработки; устройства контроля и испытания изделий (рентгеновские аппараты, установки ультразвука и т.д.).

Системы электроснабжения сооружаются для обеспечения электроприемников электроэнергией в необходимом количестве, требуемого качества и с минимальными затратами.

Электроприемник (ЭП), как составляющая часть электрического хозяйства предприятия, организации, любого электрифицированного объекта представляет собой часть технологической установки, аппарат, агрегат, механизм, предназначенный для преобразования электрической энергии в другой вид энергии. Например, электродвигатель, источник света, нагревательный элемент.

Электроэнергия используется для привода различных механизмов, искусственного освещения, электротехнологии, для специальных целей измерения, учета, контроля, автоматики и защиты, а также для биологических и медицинских целей.

Электроприемник или группу электроприемников, объединенных технологическим процессом и (или), размещенных на определенной территории, называют потребителем электроэнергии. Например, станок, участок, цех, предприятие.

Все потребители народного хозяйства классифицируются на:

а) промышленные предприятия (используют 55...65% всего объема расходуемой электроэнергии в народном хозяйстве); б) жилые и общественные здания, коммунально-бытовые предприятия и организации (25...35%); в) сельскохозяйственное производство (10...15%); г) электрифицированный транспорт (2...4%).

Следует отметить, что на электрическое освещение приходится 10...14% всей расходуемой электроэнергии (цифра практически соизмерима с расходом на сельскохозяйственное производство).

Под *системой электроснабжения* понимается совокупность взаимосвязанных электроустановок, предназначенных для обеспечения потребителей (приемников) электрической энергии.

Электроустановками называется совокупность машин, аппаратов, линий и вспомогательного оборудования вместе с сооружениями и помещениями, в которых они установлены, предназначенных

для производства, преобразования, передачи, распределения электрической энергии и преобразования ее в другой вид энергии.

Все электроустановки в соответствии с ПУЭ подразделяются на электроустановки :

- до 1 кВ ;
- выше 1 кВ.

Особенностью системы электроснабжения является то, что с одной стороны она является подсистемой электроэнергетической системы, с другой одновременно составной частью электрического хозяйства предприятия.

Электроэнергетическая (электрическая) система – это электрическая часть энергосистемы и питающиеся от нее приемники электрической энергии.

Под *энергетической системой* понимается совокупность электростанций, электрических и тепловых сетей, соединенных между собой и связанных общностью режима и непрерывностью процесса производства, преобразования и распределения электрической и тепловой энергии.

Электрическая станция – это электроустановка или группа электроустановок, предназначенных для производства электрической или электрической и тепловой энергии.

Электрической сетью называется совокупность электроустановок, предназначенных для передачи, распределения и преобразования электрической энергии. Состоит из подстанций и линий электропередачи, токопроводов, аппаратуры присоединения, защиты и управления.

Под *линией электропередачи* (ЛЭП) понимается электроустановка, предназначенная для передачи и распределения или только для передачи электроэнергии на расстояние.

Подстанция – это электроустановка, предназначенная для приема, преобразования и распределения или приема и распределения электрической энергии.

Электрическим хозяйством предприятия называется совокупность электроустановок, электрических и неэлектрических изделий, не являющихся частью электрической сети, но обеспечивающих ее функционирование; помещений, зданий и сооружений, которые эксплуатируются электротехническим или подчиненным ему персоналом; людских (трудовых), материальных и энергетических ресурсов, а

также информационного обеспечения, необходимого для жизнедеятельности электрического хозяйства.

Основной составляющей электрического хозяйства предприятия является электрооборудование.

Под *электрооборудованием* понимается совокупность электротехнических устройств и (или) изделий.

Электротехническими устройствами называются устройства, в которых при их работе производится (генераторы), преобразуется (электроприемники, трансформаторы, выпрямительные устройства), передается и распределяется (линии электропередачи с аппаратами присоединения и защиты) электрическая энергия.

Электрическое оборудование может различаться в зависимости от принадлежности к технологическому устройству, установке, например, электрооборудование станка, электрооборудование крана, электрооборудование подстанции, осветительной установки и т.п.

В общем случае все электрооборудование принято подразделять на *силовое* и *осветительное*. Силовое охватывает все виды электроприемников, исключая предназначенные для освещения. Расчеты и рабочие чертежи проекта системы внутреннего электроснабжения для силовых и осветительных электроприемников выполняются, как правило, отдельно. Отдельными этапами выполняется и монтаж силовых и осветительных электроустановок.

Работа всей системы электроснабжения регламентирована в основном величиной и режимами потребления электрической энергии, техническим и ремонтным ее обслуживанием.

По способу использования системы электроснабжения относятся к непрерывно работающим системам. Это сложные динамические системы, характеризующиеся многообразием внешних и внутренних связей.

Режимы производства, передачи и распределения электроэнергии в системах электроснабжения неразрывно связаны с режимами питающих энергосистем. Потребители задают величину и режим нагрузок, и формируют график нагрузки питающей энергосистемы. Энергосистема оказывает влияние на систему электроснабжения располагаемой мощностью источников питания, уровнями напряжения и частоты, величинами токов короткого замыкания (КЗ), устойчивостью и надежностью.

Техническое и ремонтное обслуживание систем электроснабжения и их элементов представляет собой комплекс работ, направ-

ленных на поддержание исправности и работоспособности оборудования и линий электропередачи. Оно в значительной степени определяет уровень эксплуатационной надежности систем электроснабжения.

Современный уровень развития систем электроснабжения определяет необходимость при их исследовании и анализе учитывать объективные законы формирования питающих энергосистем и электрических хозяйств потребителей.

1.2 Классификация промышленных предприятий

Промышленные предприятия могут быть классифицированы по следующим признакам:

1) *по суммарной установленной (номинальной) мощности электроприемников:*

- а) малые предприятия - до 5 МВт;
- б) средние предприятия – 5...75 МВт;
- в) крупные предприятия - свыше 75 МВт.

2) *по принадлежности к соответствующей отрасли промышленности* (металлургические, машиностроительные, легкой промышленности, химические и др.);

3) *по тарифным группам и условиям определения мощности компенсирующих устройств* в электрических сетях предприятия:

а) *предприятия первой тарифной группы* – это предприятия с присоединенной трансформаторной мощностью 750 кВА и выше (в основном рассчитываются за потребленную ЭЭ по двухставочному тарифу), мощность КУ рассчитывается одновременно с выбором основных элементов СЭС (в частности, силовых трансформаторов ТП);

б) *вторая тарифная группа* - это предприятия с присоединенной трансформаторной мощностью до 750 кВА, предприятия рассчитываются по одноставочному тарифу, величина мощности КУ задается энергосистемой;

4) *по категории надежности электроснабжения.*

В соответствии с ПУЭ все ЭП с точки зрения надежности электроснабжения подразделены на 3 категории, из 1 категории выделяется нулевая, особая категория. Оценивая процентный состав приемников разных категорий на предприятии, его можно отнести к одной или нескольким категориям надежности электроснабжения;

5) *по категории энергетических служб.* Единственным объективным показателем, характеризующим сложность и масштабы энер-

гетического хозяйства предприятия, является суммарная годовая трудоемкость планово-предупредительных ремонтов (ППР) энергетического оборудования. В зависимости от этой величины существуют 12 категорий энергетических служб, в соответствии с которыми определяется и штат энергетических подразделений.

Расположение потребителей (электроприемников) на генплане (плане) предприятия, величина и характер их электрических нагрузок, характеристика электроприемников с точки зрения надежности обеспечения их электроэнергией являются основными исходными данными, определяющими выбор соответствующей системы электроснабжения.

1.3 Иерархическая (уровневая), структурная схема электроснабжения приемников промышленных предприятий

Современные системы электроснабжения промышленных предприятий состоят из устройств производства электроэнергии и (или) пунктов приема ее из энергосистемы – главных понизительных подстанций (ГПП), главных распределительных пунктов (ГРП), промежуточных распределительных пунктов (РП), десятков и даже сотен цеховых трансформаторных подстанций (ТП), а также преобразовательных подстанций (ПП), линий электропередачи (ЛЭП) значительной протяженности, связывающих эти сетевые объекты по определенным схемам. Эти схемы характеризуются значительным многообразием и имеют иерархическое построение (рис.1.1), представляющее собой ориентированный граф, в котором корнем являются источники питания (ИП), вершинами – отдельные электроприемники (ЭП). Между 0-ым и 1-ым уровнями организуется система внешнего, 1-ым и 5-ым – внутреннего (внутризаводского 1-3 уровни, цехового 3-5 уровни) электроснабжения.

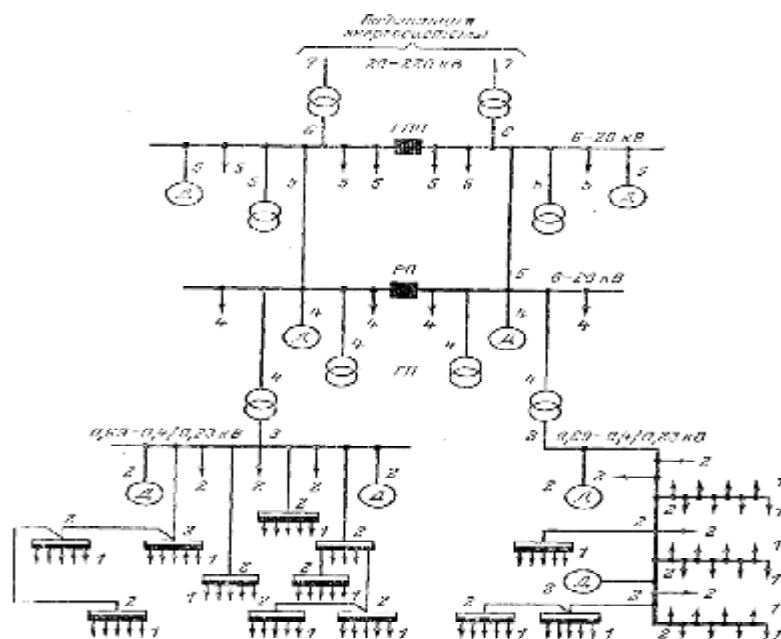


Рис.1.1 - Иерархическая схема электроснабжения приемников промышленных предприятий ЭЭС –электроэнергетическая система, ПП – пункт приема электроэнергии на предприятии, УРП – узловая распределительная подстанция, ГПП – главная понизительная подстанция, ГРП – главная распределительная подстанция, Эл/ст – местная(собственная) электростанция, РП – распределительная подстанция, ТП – цеховая трансформаторная подстанция, ВРУ – вводно-распределительное устройство, ШМА – магистральный шинопровод, ШРА – распределительный шинопровод, ШР – распределительный шкаф, ЭП – электроприемники.

Электроснабжение промышленных предприятий в основном осуществляется от районных электроэнергетических систем (централизованное электроснабжение). Возможны варианты и комбинированного питания, при котором предприятие получает электрическую энергию от электроэнергетической системы и собственной электростанции и, в редких случаях, когда предприятие питается только от собственной электростанции. Сооружение на предприятии собственных источников энергии целесообразно в следующих случаях, когда:

- на предприятии для производственных нужд необходима в больших объемах тепловая энергия - пар, горячая вода;
- предприятие значительно удалено от энергосистемы;

- имеются вторичные ресурсы в результате производства, которые экономически целесообразно использовать в качестве топлива для собственных станций;

- необходим дополнительный ИП, чтобы повысить надежность электроснабжения и качество потребляемой ЭЭ.

Питание к промышленному предприятию может быть подведено к одному общему для всего предприятия или к двум и более приемным пунктам электроэнергии (ППЭ). От одного ППЭ могут питаться одно или более промышленных предприятий, расположенный вблизи микрорайон или другие потребители. Все ППЭ электроэнергии от ЭЭС, а также собственные станции предприятия электрически связываются между собой.

Наличие того или иного ППЭ на предприятии обуславливается в основном величиной потребляемой мощности и удаленностью предприятия от ИП. Так, например, при относительно небольшом расстоянии (до 8...10 км) предприятия малой и средней мощности в большинстве случаев получают ЭЭ на напряжении 6-20кВ, пунктом приема является ГРП, которая без трансформации на этом же напряжении распределяет электроэнергию внутри предприятия.

Малые предприятия имеют в основном один ППЭ в виде РП – 6-20кВ или трансформаторной подстанции 6-10/0,4кВ. Предприятия средней мощности имеют один, два ППЭ в виде ГПП, ГРП. Предприятия большой мощности – один или более ППЭ в виде ГРП, ГПП, ПГВ.

ППЭ могут питаться отпайками от проходящих ЛЭП или непосредственно от распределительных устройств подстанций, электростанций энергосистемы.

Внутризаводское электроснабжение на действующих предприятиях выполняется по ступенчатому принципу в основном на напряжении 6-10кВ. Перспективным является перевод с 6 на 10кВ, а на вновь строящихся крупных предприятиях целесообразно применение напряжения 20кВ. При одноступенчатых схемах отсутствуют промежуточные РП. При двух- и более ступенчатых схемах применяется РП, от которых питаются ТП и другие высоковольтные электроприемники второй ступени и РП последующей ступени распределения электроэнергии.

Необходимость сооружения и количество промежуточных РП определяется в основном величиной электрической нагрузки и территориальным размещением ее. Количество ТП регламентируется вы-

бранной мощностью силовых трансформаторов и их количеством на подстанции.

При глубоких вводах внутризаводское электроснабжение может осуществляться на напряжении 35кВ и выше, при котором максимально к потребителям подводится высокое напряжение и применяются разукрупненные понизительные подстанции глубоких вводов ПГВ 35/0,4; 110/6-10кВ.

Цеховое электроснабжение осуществляется в основном на напряжении 380/220В с перспективой применения на основании технико-экономических обоснований напряжения 660В.

Электроснабжение промышленных предприятий выполняется посредством электрических сетей (распределительных сетей до и выше 1 кВ) – каналов передачи и преобразования электроэнергии. Питание конкретного электроприемника (узла нагрузки) осуществляется по основному каналу, предусмотренному проектом. Однако, каналы питания электроприемников, вследствие управления режимами распределения электроэнергии, вывода в плановый ремонт отдельного оборудования, а также в результате отказов отдельных элементов системы, непостоянны во времени и могут в значительной степени терпеть изменения своей конфигурации. Происходит это потому, что электрическое оборудование системы электроснабжения может находиться в различных состояниях: в работе, ремонте или резерве.

С целью обеспечения определенной «живучести», необходимой степени надежности систем электроснабжения, последние оснащаются релейной защитой и сетевой автоматикой – автоматическим вводом резерва (АВР), автоматическим повторным включением (АПВ), автоматической частотной разгрузкой (АЧР).

1.4. Требования к системам электроснабжения промышленных предприятий

Система электроснабжения промышленного предприятия должна удовлетворять следующим основным требованиям:

- надежности электроснабжения, обусловленной категорией электроприемников, запитанных через ее электрические сети;
- экономичности – капитальные вложения и эксплуатационные расходы на систему электроснабжения должны быть минимальными при требуемой надежности электроснабжения. Важным фактором при этом является выбор рационального напряжения внешнего и внутрен-

него электроснабжения, которое определяет соответствующее оборудование, линии электропередачи, потери мощности и энергии в сети;

- обеспечению электроэнергией требуемого качества – показатели качества электроэнергии на выводах электроприемников не должны выходить за пределы значений, установленных ГОСТом;
- безопасности и удобству эксплуатации;
- возможности перспективного развития без коренной реконструкции.

1.5 Принципы построения систем электроснабжения промышленных предприятий

Системы электроснабжения промышленных предприятий должны разрабатываться в соответствии со следующими принципами:

а) «децентрализация» трансформирования электроэнергии и максимальное приближение источников высокого напряжения к потребителям электроэнергии. Это приводит к уменьшению потерь электроэнергии, повышению надежности электроснабжения;

б) все элементы электрической сети СЭ (линии, трансформаторы) должны, как правило, находиться под нагрузкой, «холодный» резерв (нормально неработающие линии и трансформаторы) не предусматривается;

в) должна применяться раздельная работа линий и трансформаторов, что обуславливает меньшие токи короткого замыкания, упрощение релейной защиты и автоматики сети;

г) применение подстанций промышленных предприятий, выполненных по относительно упрощенным схемам, характеризующимся дешевизной и одновременно достаточной надежностью;

д) применение глубокого секционирования на всех уровнях системы электроснабжения, обеспечивающее достаточную живучесть и гибкость системы;

е) должна быть предусмотрена возможность выполнения монтажа индустриальными способами, позволяющих сборку из укрупненных блоков и узлов заводского изготовления (комплектных РУ и ТП и др.);

ж) при разработке схем электроснабжения должна учитываться возможность организации на предприятии технического (внутрипроизводственного) учета электроэнергии, возможность управления рас-

пределением нагрузки систем электроснабжения, например, отключение в режиме минимальных нагрузок трансформаторов ТП и перевод их нагрузок на оставшиеся в работе трансформаторы.

1.6. Характеристика системы электроснабжения

Предприятие является потребителем электроэнергии (абонентом), а система электроснабжения – это совокупность электроустановок, предназначенных для обеспечения его электрической энергией.

Основными характеристиками СЭС являются:

- качественные характеристики;
- количественные характеристики;
- условия функционирования.

При проектировании на основании исходных данных – количественных характеристик и условий эксплуатации – необходимо обеспечить качественные характеристики СЭС.

Качественные характеристики СЭС определяют работоспособность системы и характеризуются структурой и свойствами СЭС, а также условиями ее эксплуатации. Качественные характеристики в основном определяются требованиями к СЭС.

Количественные характеристики СЭС определяются количественными характеристиками ЭП и их территориальным размещением и, как следствие, структурой СЭС.

Условия функционирования СЭС определяются влиянием условий окружающей природной среды, технико-технологическими и организационно-экономическими условиями.

В процессе эксплуатации СЭС необходимо рассматривать три возможных режима ее работы.

Нормальный режим СЭС – установившийся режим работы системы, при котором обеспечивается бесперебойное снабжение потребителей электроэнергией в необходимом количестве, установленного качества и который продолжается как угодно долго.

Аварийный режим СЭС – кратковременный переходный режим, связанный с нарушением нормального режима и продолжающийся до отключения поврежденного элемента системы.

Послеаварийный режим СЭС – режим, в котором находится система в результате нарушения, длящийся до восстановления нормального режима после локализации отказа.

Упрощенная структура систем электроснабжения

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

Упрощенная схема электроснабжения объекта включает:

- источник питания (ИП);
- линии электропередачи (ЛЭП), осуществляющие транспорт электрической энергии от ИП к предприятию;
- пункт приема электрической энергии (ППЭ);
- распределительные сети;
- приемники электрической энергии (ЭП).

На рис. 1.2 представлена упрощенная структура электроснабжения объекта.

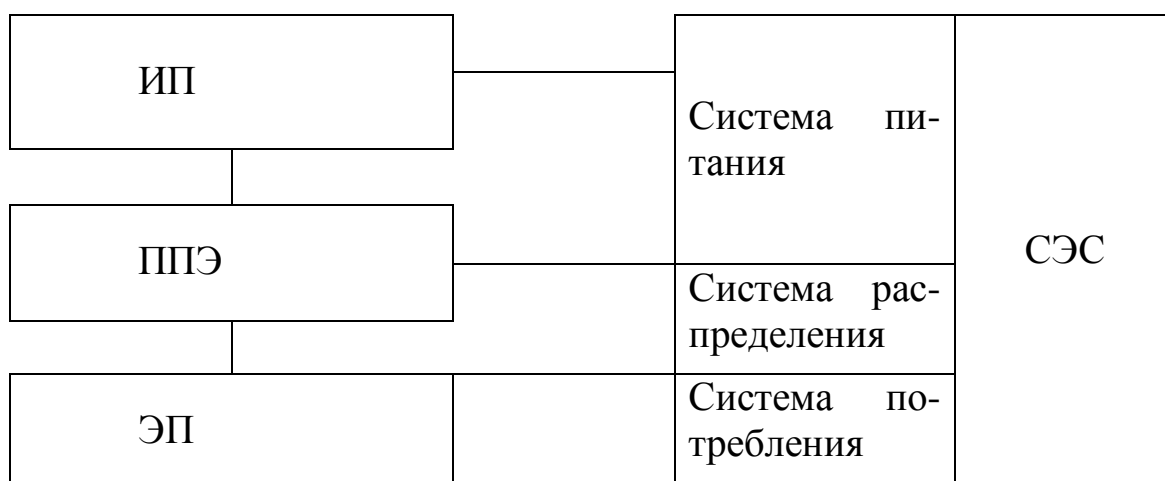


Рис.1.2 – Структура электроснабжения объекта

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

В качестве ИП могут быть:

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

Собственная электростанция на предприятии строится в следующих случаях:

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

При выборе ИП необходимо учитывать следующие факторы:

- признаки качества электроснабжения (надежность, напряжение, частоту и допустимые пределы их отклонения);
- величину мощности и напряжения питания потребителей.

В качестве ППЭ могут быть:

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

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

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

Схемы с двумя и более ППЭ следует применять:

- при наличии специальных требований к надежности электроснабжения;

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

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

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

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

При выходе из строя одной линии оставшаяся в работе должна обеспечить питание всех ЭП первой категории, а также ЭП второй и третьей категорий, работа которых необходима для безаварийного функционирования основных производств технологического процесса предприятия.

Постоянная электрическая связь между электростанциями и электроприемниками потребителей осуществляется электрическими сетями, которые состоят из распределительных устройств, трансформаторных подстанций, воздушных или кабельных линий электропередачи различных напряжений.

В целях лучшей организации эксплуатации системы электро-снабжения подразделяют на:

- внешние системы электроснабжения;
- внутренние системы электроснабжения;
- системы электроснабжения спецтоками.

По системам внешнего электроснабжения получают электрическую энергию от общепромышленных электростанций. Эти системы включают все установки напряжением выше 1000 В, а также кабельные и воздушные линии напряжением до 1000 В.

Внутренние системы объединяют дизельные электростанции и электрические сети напряжением до 1000 В.

По системам внешнего и внутреннего электроснабжения передается электрическая энергия переменного тока с частотой 50 Гц.

При наличии потребителей постоянного тока, либо тока повышенной частоты электрическая энергия общепромышленной частоты (50 Гц) преобразуется преобразователями (вторичные источники), которые совместно с кабельными линиями и распределительными устройствами образуют системы электроснабжения спецтоками.

Большая часть электрической энергии вырабатывается на мощных государственных электростанциях, значительно меньшая часть вырабатываемой энергии – на станциях местного значения, расположенных в непосредственной близости к потребителям и имеющих значительно меньшие мощности (к ним относятся так называемые теплоэлектроцентрали (ТЭЦ), станции промышленных предприятий, городские, сельскохозяйственные, передвижные и др.).

Электростанции местного значения небольшой мощности в большинстве случаев работают самостоятельно, без связи с другими станциями. Большинство же станций для общей совместной (параллельной) работы объединяются в энергосистемы, на базе которых создается единая энергосистема страны (ЕЭС).

Электроснабжение административных и офисных зданий. В данном типе объектов основной задачей является освещение помещений, электропитание оргтехники, компьютерной сети и инженерных систем (вентиляция, кондиционирование и т.п.).

Электроснабжение ресторанов, баров, кафе. Спецификой данных типов объектов является то, что в них используют оборудование с повышенным потреблением электроэнергии (печи, грили, вытяжки и т.п.). К тому же при освещении помещений повышенное внимание уделяется требованиям дизайн-концепции заведения.

Электроснабжение торговых центров, магазинов. Особенность этого типа объектов – большое количество осветительных приборов и торгового оборудования, что создает дополнительную нагрузку на электросети и электроприборы.

Электроснабжение промышленных предприятий. Эта категория объектов обычно характеризуется огромной потребностью в электроэнергии. Кроме освещения, питания оргтехники и компьютеров, мощного оборудования инженерных систем, располагаемого на большой территории, требуется электроснабжение производственного оборудования (станки, конвейеры и т.п.).

Бесперебойное и стабилизированное электроснабжение.

От стабильной работы системы электроснабжения предприятия зависит и экономическая эффективность. Поэтому решение вопросов бесперебойного и стабильного электроснабжения выходит на передний план.

Сравним эти два варианта - электроснабжение от ЛЭП и автономное электроснабжение.

Если суммарная мощность Ваших потребителей (электрических нагрузок) не превышает нескольких кВт, потребляемая энергия меньше нескольких кВт·ч в сутки, а расстояние до точки подключения к сетям централизованного электроснабжения более нескольких сотен метров, то автономная система электроснабжения для Вашего дома может быть более выгодна, чем подключение к сетям.

При этом нужно учитывать следующие моменты:

- при подключении к сетям централизованного электроснабжения Вы должны будете оплатить стоимость подключения к сетям,
- стоимость прокладки низковольтной ЛЭП (стоимость колеблется в разных регионах от 10000 до 17000 долларов США за 1 км), а также платить за потребляемую электроэнергию по расценкам энергосетей.

Другой вариант - создание собственной автономной системы электроснабжения.

Плюсы этого варианта

- не нужно платить за подключение к сетям централизованного электроснабжения и строительство ЛЭП;
- не зависите от цен на электроэнергию;
- являетесь хозяином своего оборудования и можете вырабатывать электроэнергию тогда, когда Вам хочется.

Минусы

– придется уделять время на техническое обслуживание и ремонт оборудования.

Особенно это относится к системе, содержащей дизель или бензоэлектрический агрегат (как основной или резервный источник электроснабжения). Нужно будет следить за состоянием аккумуляторной батареи. Минимум обслуживания требуют фотоэлектрические батареи.

Требования, предъявляемые к системе электроснабжения предприятий, в основном зависят от характера электрических нагрузок, особенностей технологии производства, климатических условий, загрязненности окружающей среды и других факторов.

Экономичность систем электроснабжения

Система электроснабжения удовлетворяет требованиям экономичности, если затраты на ее создание, эксплуатацию и развитие минимальны или она имеет минимальный срок окупаемости.

Технико-экономические расчеты (ТЭР) выполняются по предприятию в целом, так как основные доходы поступают от реализации продукции основного производства.

При выполнении учебных проектов экономические расчеты при проектировании СЭС предприятия ограничиваются сравнением технических решений. При сравнении вариантов необходимо, чтобы они были технически равноценны и экономически сопоставимы.

При равенстве показателей вариантов или незначительной разнице (5– 10 %) следует отдавать предпочтение тому варианту, у которого лучше качественные показатели, который более перспективен с точки зрения развития предприятия (например, с более гибкой и удобной в эксплуатации схемой, новейшим оборудованием и т.п.).

Надежность электроснабжения потребителей

Надежность любой системы – это ее свойство выполнять заданные функции в заданном объеме и требуемого качества при определенных условиях функционирования. Применительно к СЭС одной из основных функций является бесперебойное снабжение потребителей электроэнергией в необходимом количестве и установленного качества.

Надежность является сложным комплексным свойством и в зависимости от назначения объекта и условий функционирования может включать ряд единичных свойств, основными из которых являются:

- сохраняемость,

- долговечность,
- безотказность,
- ремонтпригодность,
- режимная управляемость,
- устойчивость,
- живучесть.

Для характеристики надежности объектов энергетики определяются основные показатели надежности:

- параметр потока отказов,
 - время восстановления
- и вспомогательные – частота ремонтов и их продолжительность.

Показатели надежности определяются для узла нагрузки главной схемы СЭС с учетом режима работы СЭС (нормальный, аварийный, послеаварийный).

Для определения оптимального уровня надежности электроснабжения потребителей необходимо знать величину ожидаемого годового ущерба при перерывах электроснабжения, который определяется особенностями технологического процесса с учетом частоты и длительности перерывов электроснабжения.

Основные способы повышения надежности СЭС:

- повышение надежности источников питания;
- повышение надежности отдельных элементов СЭС;
- уменьшение числа последовательно включенных элементов в СЭС;
- усовершенствование релейной защиты и автоматики СЭС;
- совершенствование системы технического обслуживания и ремонта электроустановок;
- повышение квалификации обслуживающего персонала.

Таким образом, повышение надежности СЭС является комплексной задачей, которая может быть решена на основе технологического и экономического анализа режимов СЭС, условий ее функционирования.

Выполнение своих функций при определенных условиях

Одним из основных условий функционирования электроустановок и СЭС в целом является надежная работа при воздействии условий окружающей природной среды (погодно-климатические условия) и технико-технологических условий.

Поэтому при выборе элементов СЭС необходимо учитывать как климатические условия эксплуатации (макроклимат, включая загряз-

нение окружающей среды), так и технико-технологические условия эксплуатации (микроклимат: температуру, влажность, запыленность, агрессивную среду и пожаро- и взрывоопасные зоны).

Безопасность и удобство эксплуатации

Безопасность СЭС – это свойство СЭС сохранять с некоторой вероятностью безопасное состояние при выполнении заданных функций в условиях, установленных нормативно-технической документацией (монтаж, эксплуатация и проведение ремонтных работ).

Электробезопасность – система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от воздействия электрического тока, электромагнитного поля и статического электричества.

Возможность дальнейшего развития

На этапе проектирования СЭС предусматривается возможность ее реконструкции при развитии производства предприятия без значительных капитальных затрат.

1.7 Проектирование систем электроснабжения

Для правильного решения всех задач проектирования СЭС необходимо строго соблюдать как требования к СЭС (экономичность, надежность, безопасность), так и условия ее функционирования, особенно технико-технологические условия, и режимы работы ЭП.

При проектировании и построении систем электроснабжения промышленных предприятий следует предусмотреть:

- гибкость системы и оптимизацию параметров путем выбора номинальных напряжений;
- требования к надежности и качеству электроснабжения с учетом возможных режимов работы СЭС;
- рациональное число и мощность трансформаторов;
- требования к схемам и конструкциям РУ;
- ограничение токов короткого замыкания;
- средства компенсации реактивной мощности и регулирование напряжения;
- мероприятия по снижению потерь электроэнергии;
- системы обслуживания и ремонта электрооборудования и т.д.

Основные этапы разработки и построения СЭС

– определение условий получения электроэнергии от энергосистемы и необходимости строительства собственной электростанции;

– анализ потребителей электрической энергии по следующим признакам: технологическим, территориальным, напряжению и роду тока, надежности, характеру нагрузки. По каждой группе определяется величина расчетной нагрузки;

– определение типа ППЭ, РП, ТП, числа секций (систем) шин и питающих вводов и их размещение на генеральном плане предприятия;

– выбор и обоснование связей между ИП и ППЭ, между ППЭ и РП, ТП, ПП;

– формирование окончательного варианта структуры СЭС.

Основные принципы проектирования и построения схемы СЭС:

– максимальное приближение высокого напряжения к потребителям;

– отказ от «холодного резервирования» в схемах;

– секционирование на всех уровнях СЭС;

– выбор оптимального режима работы элементов СЭС.

В большинстве случаев для СЭС предприятий в нормальном режиме применяются разомкнутые схемы работы элементов.

Основные задачи, решаемые при проектировании СЭС:

– определение электрических нагрузок характерных групп ЭП и узлов нагрузок, а также проектируемого объекта в целом;

– определение структуры СЭС: числа и места размещения ППЭ, РП, ТП, числа и мощности силовых трансформаторов, средств компенсации реактивной мощности, схем электрических соединений элементов СЭС;

– расчет рационального напряжения системы питания и системы распределения электрической энергии;

– выбор способа транспорта электрической энергии, как системы питания, так и системы распределения;

– выбор конструктивного исполнения ЭУ и типов электрооборудования с учетом условий их функционирования, требований надежности, экономичности и безопасности;

– определение технических средств для обеспечения электробезопасности при эксплуатации СЭС.

Таким образом, проектирование системы электроснабжения является трудоемкой и многофункциональной задачей, для решения которой необходимо применение вычислительной техники при расчете нагрузок и оптимизации распределения электроэнергии как внутри предприятия, так и по его подразделениям.

По мере развития электропотребления усложняются и системы электроснабжения промышленных предприятий.

В них включаются сети высоких напряжений, распределительные сети, а в ряде случаев и сети промышленных ТЭЦ.

Возникает необходимость внедрения автоматизации систем электроснабжения промышленных предприятий и производственных процессов, осуществления в широких масштабах диспетчеризации процессов производства с применением телесигнализации и телеуправления и проведение работ по экономии электрической энергии.

Главной проблемой в ближайшем будущем явится создание рациональных систем электроснабжения промышленных предприятий. Созданию таких систем способствует следующее:

1. *Выбор и применение рационального числа трансформаций.* В настоящее время имеют место системы электроснабжения с недопустимо большим количеством трансформаций; например, на одном металлургическом комбинате имеются напряжения: 330; 220; 110; 35; 10; 6; 0,6; 0,38 и 0,22 кВ.

Такое большое количество напряжений влечет за собой неоправданно большое число трансформаций (5-6).

Одновременное введение на промышленных предприятиях рациональных напряжений всегда будет способствовать сокращению числа трансформаций до двух–трех. В этом случае экономия электрической энергии составит не менее 10-15 % всего ее расхода (потребления) промышленным предприятием.

2. *Выбор и применение рациональных напряжений.*

Применение рациональных напряжений в системах электроснабжения промышленных предприятий дает также значительную экономию в потерях электрической энергии.

Причинами применения нерациональных напряжений являются постоянный рост электропотребления и всякий раз частное решение задачи электроснабжения, а также требования энергосистем производить питание на напряжении, имеющемся в эксплуатируемой системе. Нерациональные решения в этом направлении приводят к тому, что в эксплуатации находятся системы электроснабжения, в которых потери электрической энергии доходят до 35-40%.

3. *Правильный выбор места размещения цеховых и главных распределительных и понизительных подстанций.*

Расположение питающих подстанций в соответствующих центрах электрических нагрузок обеспечивает минимальные годовые приведенные затраты. Всякое смещение питающей подстанции из центра электрических нагрузок ведет к повышению этих затрат и повышенному расходу электрической энергии.

4. *Дальнейшее совершенствование методики определения электрических нагрузок.*

Правильное определение ожидаемых нагрузок способствует решению общей задачи оптимизации построения систем внутризаводского электроснабжения.

5. *Рациональный выбор числа и мощности трансформаторов,* а также схем электроснабжения и их параметров ведет к сокращению потерь электроэнергии, повышению надежности и способствует осуществлению общей задачи оптимизации построения систем электроснабжения.

6. Принципиально новая постановка для решения таких задач, как, например, *симметрирование электрических нагрузок.*

В настоящее время этот вопрос решается так: устанавливается трансформатор для питания нагрузки, несимметричной по фазам, а затем к нему (между трансформатором и нагрузкой) устанавливается симметрирующее устройство, что практически означает почти удвоение мощности питающих устройств и соответственно ведет к резкому увеличению непроизводительных потерь топлива и электроэнергии.

7. *Общая задача оптимизации систем промышленного электроснабжения,* кроме указанных выше положений, включает рациональные решения по выбору сечений проводов и жил кабелей, способам компенсации реактивной мощности, автоматизации и диспетчеризации и др.

Оптимизация производственных процессов в сочетании с оптимизацией систем промышленного электроснабжения может и должна дать дополнительные средства за счет сокращения непроизводительных расходов.

1.8 Электрическое хозяйство и характеризующие его показатели

В процессе производства продукции промышленные предприятия потребляют в значительных количествах энергию и энергоносители различных видов и параметров: электроэнергию, газообразное,

жидкое и твердое топливо, горячую и холодную воду, пар, сжатый воздух, кислород, ацетилен и т. д.

Для поддержания нормального хода производственного процесса на каждом предприятии требуется организация устойчивого энергоснабжения. Эта задача возложена на энергетическое хозяйство предприятия.

Назначение энергетического хозяйства предприятия — надежное и бесперебойное удовлетворение в полном объеме потребностей производственных подразделений предприятия в энергии необходимых параметров с минимальными затратами.

Основные задачи энергетического хозяйства предприятия:

- определение потребности предприятия в энергоресурсах и наиболее экономичных способах ее покрытия;
- организация устойчивого энергоснабжения предприятия и его подразделений в точном соответствии с потребностью;
- рациональная организация эксплуатации, технического обслуживания и ремонта энергетического оборудования и сетей на предприятии;
- разработка и проведение мероприятий, направленных на сокращение энергопотребления, экономии энергии и всех видов топлива, использование вторичных энергоресурсов и нетрадиционных источников энергии;
- сокращение затрат на энергоснабжение предприятия и содержание энергохозяйства;
- снижение энергоемкости и энергетической составляющей в себестоимости продукции.

Объем и структура потребляемых энергоресурсов зависят от мощности предприятия, вида выпускаемой продукции, характера технологических процессов, а также связей с районными энергосистемами.

В задачи энергетического хозяйства входят также выполнение правил эксплуатации энергетического оборудования, организация его технического обслуживания и ремонта, проведение мероприятий, направленных на экономию энергии и всех видов топлива, а также мероприятий по совершенствованию и развитию энергохозяйства предприятия.

Как правило, потребление энергии в производстве по часам суток, дням недели и календарным периодам происходит неравно-

мерно. Исходя из этого, режимы производства всех видов энергии непосредственно зависят от режимов ее потребления.

Потребность предприятий в энергии может покрываться за счет полного обеспечения энергией всех видов от собственных установок. Этот способ энергоснабжения можно назвать централизованным.

Другим способом энергоснабжения — децентрализованным пользуются небольшие, а иногда и средние промышленные предприятия, которые получают все виды энергии, например, от районных систем, соседних предприятий или объединенных цехов.

Наиболее распространен комбинированный вариант, при котором отдельные виды энергии предприятия получают от районных энергосистем, а другие виды энергии производятся на заводских установках. В практике организации энергетического хозяйства этот вариант считается наиболее рациональным.

1.8.1 Структура энергетического хозяйства предприятия

В состав энергетического хозяйства предприятия входят:

- электрическая и тепловая станции;
- высоковольтные подстанции, питающие предприятие от централизованной системы;
- паросиловой цех;
- газогенераторная, кислородная, компрессорная, водо-насосная станции;
- подстанция инертных газов и кислорода;
- цех ремонта электрооборудования;
- телефонная станция.

Энергохозяйство предприятия подразделяется на две части: *общезаводскую и цеховую*.

К общезаводскому подразделению энергохозяйства относятся генерирующие преобразовательные установки и общезаводские сети, которые объединяются в ряд специальных цехов: электросиловой, теплосиловой, газовый, слаботочный и электромеханический.

Состав цехов зависит от энергоемкости производства и связей завода с внешними энергосистемами. На небольших предприятиях все энергохозяйство может быть объединено в один, два цеха.

Цеховую часть энергохозяйства образуют первичные энергоприемники (потребители энергии — печи, станки, подъемно- транс-

портное оборудование), цеховые преобразовательные установки и внутрицеховые распределительные сети.

На крупных и средних промышленных предприятиях (рис.1.3) энергетическое хозяйство возглавляет главный энергетик. На небольших и малых предприятиях оно может находиться в ведении главного механика, который совмещает функции по обеспечению предприятия энергоресурсами и поддержания оборудования в работоспособном состоянии.

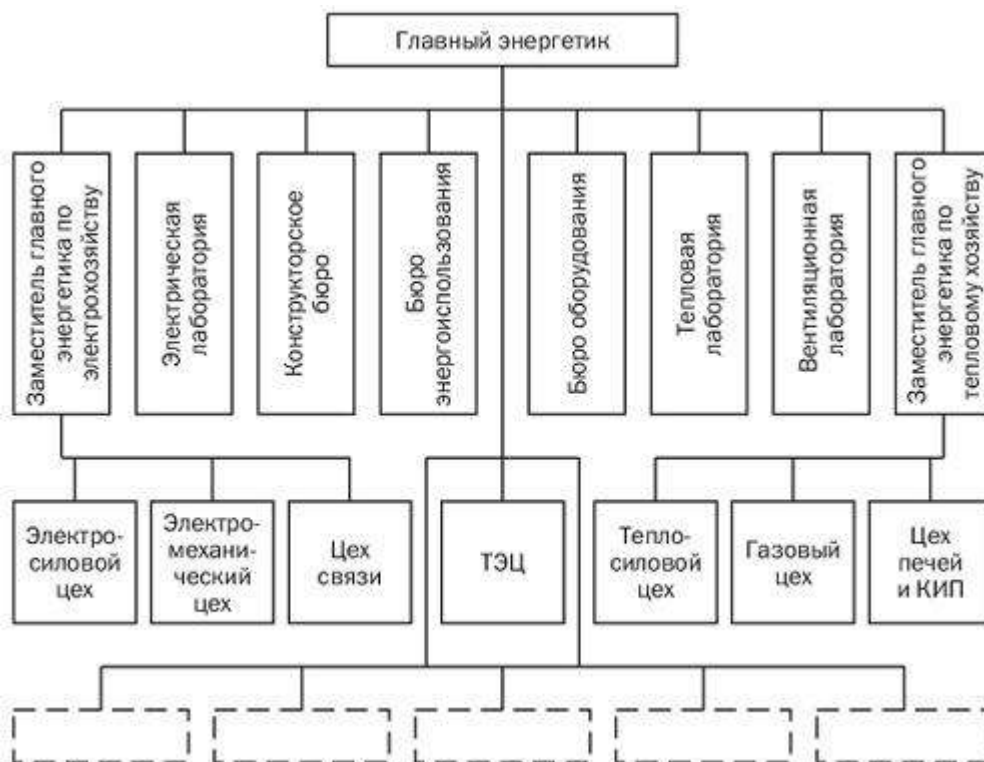


Рис. 1.3 – Организационная структура службы главного энергетика крупного предприятия

В составе службы главного энергетика крупного предприятия формируются: бюро энергоиспользования, энергооборудования, электрические и тепловые лаборатории.

Лаборатории организуют и проводят исследовательскую работу по снижению расхода топлива и энергии, разрабатывают и внедряют рациональные режимы работы энергетического оборудования, разрабатывают технически обоснованные нормы потребления энергии и контролируют их выполнение, осуществляют контроль за производством и использованием энергии и энергоносителей на всех установках предприятия.

Основной задачей группы энергоиспользования является нормирование расхода энергетических ресурсов, планирование энерго-

снабжения, составление энергетических балансов, осуществление сводного учета и анализа использования энергоресурсов.

Группа энергооборудования (техническое бюро) осуществляет руководство планово-предупредительными ремонтами установок и энергосетей, контроль над техническим состоянием сетей, оборудования.

Энергетическое хозяйство предприятия выполняет следующие функции:

- обеспечение предприятия всеми видами энергии;
- наблюдение за строгим выполнением правил эксплуатации энергетического оборудования;
- организацию и проведение ремонтных работ;
- организацию рационального использования и выявление резервов по экономии топлива и энергии;
- разработка и осуществление мероприятий по реконструкции и развитию энергетического хозяйства предприятия.

Состав и размеры энергетического хозяйства предприятия зависят от характера и масштабов производства, применяемых технологических процессов, особенностей энергоснабжения.

Общезаводская часть энергохозяйства объединяет ряд цехов: электросиловой (или электростанция), теплосиловой, газовый, электромеханический, слаботочный. Характеристика энергетических цехов предприятия приведена в табл.1.1.

Таблица 1.1

Характеристика энергетических цехов предприятия

Наименование цеха	Выполняемые функции	Примерный состав цеха
Электросиловой	Электроснабжение предприятия на напряжении у рабочих мест	Понижительные подстанции Мотор-генераторные установки зарядных станций Электродвигатели высокого напряжения (для генераторов высокой частоты) Трансформаторные установки (печные трансформаторы дуговых печей)

Теплосиловой	Обеспечение предприятия паром, горячей водой, сжатым воздухом, получение промышленной воды	Заводские котельные Тепловая сеть завода Компрессорные установки и воздушная сеть завода Система водоснабжения Мазутоперекачивающие установки
Газовый	Снабжение предприятия газом из сети газоснабжения, обеспечение работы газогенераторной станции предприятия, снабжение предприятия кислородом и ацетиленом	Газовые вводы или газогенераторная станция предприятия Кислородная станция Газовые сети
Электро-механический	Капитальный ремонт электрооборудования и электроаппаратуры предприятия и изготовление в случае необходимости отдельных видов нового оборудования	Дефектовочная группа Обмоточная мастерская с сушильно-пропиточным отделением Слесарно-механическое и сборочное отделения
Слаботочный	Телефонная и радиосвязь. эксплуатация аккумуляторных установок	АТС, коммутаторные установки, передающие, приемные установки Зарядные станции, аккумуляторное хозяйство электрокарного парка и др.

Электросиловой и электромеханический цех составляют электрическое хозяйство предприятия.

Электрическое хозяйство — это совокупность генерирующих, преобразующих и передающих электроустановок, с помощью которых осуществляется снабжение предприятия электроэнергией и использование ее в процессе производства.

Не все предприятия имеют свое электрическое хозяйство:

-мини-потребитель, питающийся на низком напряжении (90 % всех потребителей), не имеет электрослужбу;

-мелкий потребитель, имеющий трансформаторные (один трансформатор или несколько) подстанции с высшим напряжением 10 (6) кВ (около 9 %) не имеет электрослужбу;

-средний потребитель, имеющий распределительные подстанции и развитое электрохозяйство со своей электрослужбой (0,9 %) имеет электрослужбу;

-крупный потребитель, имеющий главную понизительную подстанцию (подстанции) с высшим напряжением 35–500 кВ и специализированные цехи (подразделения в составе электрослужб).

Электрическое хозяйство промышленных предприятий является большой сложной многоуровневой (иерархической) организационной системой. Сложная иерархическая система состоит из большого числа элементов, взаимосвязанных между собой, и характеризуется различием и противоречивостью целей функционирования и развития на каждом уровне.

Системный анализ электрического хозяйства может быть выполнен с помощью ряда электрических показателей, которые можно рассматривать как своего рода энергетический паспорт предприятия. Эти показатели условно делят на основные и функционально определяемые.

К основным электрическим показателям относятся:

- общее годовое потребление электроэнергии W ;
- максимальная получасовая потребляемая мощность P_{\max} ;
- общий для предприятия коэффициент спроса K_c ;
- общее количество электродвигателей, установленных на предприятии N ;
- средняя мощность одного электродвигателя $P_{\text{сд}}$;
- электровооруженность труда ω_t ;
- производительность труда электротехнического персонала ω_3 .

Показатели W и P_{\max} , называемые параметрами электропотребления, определяются на основе приборного учета электроэнергии.

Величина W рассчитывается по показаниям электрических счетчиков и фиксируется в материалах годовой статистической отчетности предприятия.

Под максимальной нагрузкой P_{\max} понимается наибольшее

среднее значение активной мощности нагрузки на произвольном получасовом интервале времени. При наличии на предприятии автоматизированной системы контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ) величина P_{\max} принимается как большее значение из получасовых максимальных нагрузок за сутки, зафиксированных в течение года.

При отсутствии АСКУЭ максимальная получасовая нагрузка определяется приближенно по выражению:

$$P_{\max} = W/\Delta t \quad (1.1)$$

где W — наибольший получасовой расход электроэнергии в квартале максимальной нагрузки предприятия, кВт ч;

Δt — интервал осреднения нагрузки, $\Delta t = 0,5$ ч.

На действующих предприятиях значение P_{\max} в часы максимума энергосистемы указывается в договоре на пользование электроэнергией и называется заявленным максимумом нагрузки.

Эти показатели существенно влияют на величину капиталовложений в электрическое хозяйство при сооружении промышленного объекта, так как в зависимости от их значений выбираются номинальные напряжения и сечения проводников питающих и распределительных электрических сетей, мощности силовых трансформаторов ГПП и цеховых подстанций и т. д. Значение P_{\max} определяется для всех уровней СЭС, начиная от групп электроприемников и заканчивая предприятием в целом.

Коэффициент спроса для предприятия в целом определяется по выражению:

$$K_c = P_{\max} / P_{\text{уст.}} \quad (1.2)$$

При определении значения N учитываются установленные на предприятии электродвигатели, имеющие номинальную мощность $P_{\text{д.ном}} > 0,25$ кВт.

Средняя мощность электродвигателя (условный электродвигатель) определяется по следующему выражению:

$$P_{\text{ср}} = P_{\text{ду}} / N_{\text{д}}, \quad (1.3)$$

где $P_{\text{ду}}$ — суммарная номинальная мощность установленных электродвигателей.

Значения $N_{\text{д}}$ и $P_{\text{ду}}$ в условиях эксплуатации СЭС промышленных предприятий можно принять по данным графика планово-предупредительных ремонтов оборудования. При проектировании электроснабжения эти характеристики находятся расчетным путем.

Показатели N_d и $P_{ду}$ являются одними из основных критериев, определяющих электроремонтную базу производственного объекта и систему обслуживания электрического хозяйства, включая численность электротехнического персонала.

Электровооруженность труда характеризует обеспеченность электроэнергией живого труда на предприятии и отражающий уровень его технической оснащенности. Данный показатель определяется по формуле

$$\omega_T = W / \text{Ч}_\phi, \quad (1.4)$$

где Ч_ϕ — среднесписочная фактическая численность промышленно-производственного персонала за отчетный год, чел.

Повышение электровооруженности труда, обусловленное внедрением в производство более совершенного оборудования, заменой ручного труда машинным, внедрением электрифицированных технологических процессов, приводит к росту производительности труда на предприятии (за счет снижения затрат живого труда на производство продукции).

Производительность труда электротехнического персонала определяются по выражению

$$\omega_3 = W / \text{Ч}_3, \quad (1.5)$$

где Ч_3 — численность всего электротехнического персонала на предприятии, включая электротехнические лаборатории, чел.

К функционально определяемым электрическим показателям относятся:

- годовое время использования максимума нагрузки T_{\max} ;
- среднегодовая активная нагрузка предприятия P_c
- суммарная номинальная мощность электродвигателей P_d ;
- установленная мощность электроприемников P_y
- среднегодовой коэффициент использования $K_{и}$;
- коэффициент максимума по активной мощности K_{\max} ,
- коэффициент заполнения годового графика нагрузки по активной мощности $K_{зг}$;
- коэффициент технологической нагрузки K_T .

Годовое время использования максимальной нагрузки для действующих предприятий определяется по формуле:

$$T_{\max} = \frac{W}{P_{\max}} \quad (1.6)$$

При расчете T_{\max} значения W и $P_{\text{тах}}$ принимаются без показателей электропотребления субабонентов (потребителей электроэнергии, присоединенных к электрическим сетям предприятия и имеющих с ним договор на пользование электроэнергией), но с учетом собственных нужд и потерь электроэнергии в элементах СЭС. При проектировании СЭС этот показатель принимается по справочной литературе.

Среднегодовая активная нагрузка предприятия при условии, что год в технических расчетах содержит 8760 ч, вычисляется по выражению

$$P_c = \frac{W}{8760} \quad (1.7)$$

Суммарная номинальная мощность (установленная мощность) электродвигателей, применяемых на предприятии, вычисляется по формуле

$$P_{\text{ду}} = \sum_{i=1}^{N_d} P_{\text{днoм}i} \quad (1.8)$$

где $P_{\text{днoм}i}$ — номинальная мощность i -го электродвигателя; N_d — количество электродвигателей с номинальной мощностью $P_{\text{д нoм}} \geq 0,25$ кВт на предприятии.

Величина P_y определяется как сумма номинальных мощностей силовых (электродвигателей, электросварочных машин и аппаратов, электротермических установок, электролизеров и т. д.) и осветительных электроприемников;

$$P_y = \sum_{i=1}^n P_{\text{нoм}i} \quad (1.9)$$

где $P_{\text{нoм} i}$ — номинальная мощность i -го приемника электроэнергии; N — количество электроприемников на предприятии.

Среднегодовой коэффициент использования для потребителя электроэнергии, в том числе и промышленного предприятия, определяется как

$$K_u = \frac{W_{\text{см}}}{t_{\text{см}} \cdot \sum_1^n P_{\text{нoм}i}} = \frac{P_{\text{ср}}}{P_y}. \quad (1.10)$$

Коэффициент максимума нагрузки по активной мощности показывает, во сколько раз максимальная нагрузка больше средней за

год:

$$K_m = P_{max} / P_{cp} \quad (1.11)$$

Коэффициент заполнения годового графика нагрузки по активной мощности может вычисляться по следующим выражениям:

$$K_{32} = \frac{P_c}{P_{max}} = \frac{1}{K_{32}} = \frac{T_{max}}{8760} \quad (1.12)$$

Коэффициент технологической нагрузки определяется по формуле

$$K_m = \frac{P_y}{P_{ду}} \quad (1.13)$$

Электрическое хозяйство промышленных предприятий является устойчивой технической системой, что означает стабильное изменение электрических показателей во времени, которое обусловлено постоянством структуры электрооборудования, установленного на предприятии.

Определить количественно оптимальное значение каждого из рассмотренных показателей для различных предприятий невозможно из-за трудностей применения критериев оптимизации к системному объекту. В то же время создание информационной базы данных по электрическому хозяйству предприятий в рамках отдельной отрасли промышленности позволяет установить диапазон изменения этих показателей и выявить индивидуальные особенности технологии и электроснабжения, присущие конкретному предприятию.

2 ЗАЩИТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

2.1 Распределение электроэнергии на напряжении до 1 кВ

Распределение ЭЭ на напряжении до 1 кВ осуществляется посредством электрических сетей, которые называются цеховыми или распределительными электрическими сетями до 1 кВ.

Питаются эти электрические сети от ТП 6-10/0,4-0,23 кВ (4 уровень электроснабжения по структурно-иерархической схеме). Представляют собой в основном внутренние сети цехов, так как питание нагрузок осуществляется от внутрицеховых, встроенных или пристроенных цеховых ТП. Наружные сети до 1 кВ на промышленных предприятиях имеют относительно ограниченное применение.

Сети напряжением до 1 кВ предназначены в основном для распределения ЭЭ внутри цехов, зданий и непосредственного питания ЭП. Эти сети относятся к низшим уровням СЭ (1 – 3 уровни) и характеризуются значительным многообразием и большими объемами исходной информации о них.

2.1.1 Род тока и напряжения систем электроснабжения

Род тока.

При решении вопроса о выборе рода тока для электроснабжения приемников промышленных предприятий необходимо исходить из следующего:

- на электростанциях электроэнергия вырабатывается исключительно трехфазного переменного тока частотой 50 Гц; электроэнергия постоянного тока всегда дороже переменного на величину затрат на преобразование ее;

- важным и решающим фактором при выборе рода тока являются требования технологии производства. Имеются производственные процессы, которые могут быть осуществлены только с применением постоянного тока, например, электролиз;

- постоянный ток для электропривода (двигатели постоянного тока) применяется, когда требуется регулирование частоты вращения в широких пределах, при частых пусках, реверсах, ускорениях, замедлениях, точных остановках на ползучей скорости и т.д.. При этом постоянный ток получают с помощью индивидуальных преобразователей. Поэтому электроприводы, как правило, являются потребителями переменного тока.

Большинство механизмов промышленных предприятий не требует регулирования частоты вращения и для их привода применяются электродвигатели переменного тока (асинхронные и синхронные).

При ступенчатом регулировании применяются асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором с переключением полюсов. Плавное регулирование выполняется, например, изменением частоты тока питающей сети.

В связи с усовершенствованием приводов переменного тока, применением электроприводов с индивидуальными преобразователями в настоящее время вопрос выбора рода тока утратил свою остроту. Централизованные системы электроснабжения на постоянном токе применяются редко.

Основным родом тока для систем электроснабжения промышленных предприятий является переменный.

Напряжение.

Производство ЭЭ в зависимости от применяемых генераторов, передача и распределение в зависимости от передаваемых величин нагрузки, и расстояний, на которые они передаются, использование ЭЭ в зависимости от применяемых ЭП осуществляются на различных напряжениях.

Для согласования работы всех электроустановок энергосистем, систем электроснабжения – от генераторов станций и до электроприемников – напряжения стандартизированы в виде шкалы величин номинальных напряжений.

Под номинальным напряжением электроустановок понимается напряжение, на которое они рассчитаны для нормальных длительных условий работы, сопровождающихся наивысшими технико-экономическими показателями.

Действующий ГОСТ 21128 – 83 устанавливает следующие величины номинальных напряжений до 1 кВ для электрических сетей и электроприемников:

- переменный однофазный ток: 6,12,27,40,60,110,220 В;
- переменный трехфазный ток: 40,60,220,380,660 В;
- постоянный ток: 6,12,27,48,60,110,220,440 В.

Этот же ГОСТ для специальных целей предусматривает применение и дополнительных номинальных напряжений, например, 24, 42, 127В.

Действующий ГОСТ 721 – 77 для электрических сетей и электроприемников устанавливает следующие величины номинальных линейных напряжений выше 1 кВ:

(3),6,10,20,35,110,(150),220,330,500,750,1150, кВ.

Шкала номинальных напряжений определяется уровнем развития народного хозяйства и с течением времени корректируется. Так, в последних ГОСТах введены напряжения 0,66 и 20 кВ., которые для питания крупных узлов нагрузок и электроприемников более экономичны, чем напряжения 0,38 и 10 кВ.

Передача больших мощностей на значительные расстояния обусловила необходимость использования высоких и сверхвысоких напряжений (500,750, и 1150кВ).

Номинальные напряжения вторичных обмоток трансформаторов, питающих электрические сети, и номинальные напряжения генераторов на 5...10 % выше номинальных напряжений сети. Это предусмотрено с целью компенсации потерь напряжения в линиях и трансформаторах.

Электроэнергия вырабатывается генераторами на напряжении: 3,15; 6,3; 10,5; 21 кВ. Эти номинальные напряжения называются генераторными.

Выбор того или иного стандартного напряжения определяет построение системы электроснабжения, ее технико-экономические показатели.

Основным критерием для выбора напряжения систем электроснабжения является минимум приведенных затрат, определяемых капитальными и годовыми эксплуатационными расходами, которые в свою очередь определяются передаваемой величиной нагрузки и расстоянием, на которое она передается.

Важным фактором при выборе величины напряжения является требование технологии: электрические печи от 100 В до 110 кВ, электролиз – постоянный ток до 200 кА на напряжение 5-15 В.

Основными приемниками переменного тока являются электродвигатели, которые изготавливаются на следующие пределы мощностей в зависимости от напряжения:

127/220 В – 1,2 - 1500 Вт;

380/220 В – 0,01 – 315 кВт;

660/380 В – 0,6 - 500 кВт (могут изготавливаться и на большую мощность);

3 кВ – 160 - 1250 кВт;

6 кВ – 200 - 12500 кВт;

10 кВ – 630 - 21000 кВт.

Основным напряжением переменного тока до 1кВ является напряжение 380/220 В. Применять напряжение 220/127 для новых предприятий с 1933г. было запрещено. В 1962г. было введено в ГОСТ напряжение 660 В.

Достоинства применения напряжения 660В по сравнению с напряжением 380 В:

1. Повышение пропускной способности сети в $\sqrt{3}$ раз и уменьшение потерь электроэнергии в ней в 3 раза при этом же расходе проводникового материала, что и при напряжении 380В.

2 Уменьшение тока в $\sqrt{3}$ раз при напряжении 660В позволяет повысить предельную мощность изготавливаемых двигателей (500 кВт и более).

По сравнению с двигателями на 6 кВ такой же мощности – двигатели на 660 В дешевле на 40...60% и их к.п.д. на 1,5...2,0% выше.

3. Снижение токов КЗ и облегчение условий термической и динамической стойкости элементов систем электроснабжения. Это позволяет применять более мощные трансформаторы для цеховых ТП.

4. Увеличение радиуса действия цеховых ТП, примерно в $\sqrt{3}$ раз, позволяет на 1-2 ступени повысить единичную мощность и почти в 2 раза уменьшить число цеховых трансформаторов.

Применение напряжения 660В сдерживается повышенной стоимостью и относительным дефицитом аппаратуры управления и защиты на это напряжение (условия гашения дуги значительно тяжелее на напряжении 660 В, чем на напряжении 380 В).

Применение напряжения 660В для цехового электроснабжения должно быть технико - экономически обосновано.

Напряжение 660 В рекомендуется применять в следующих случаях:

а) если по условиям генплана предприятия, технологии и окружающей среды не может быть осуществлено дробление цеховых подстанций и приближение к центрам питаемых ими групп электроприемников. В связи с этим имеют место протяженные сети напряжением до 1 кВ.

К таким отраслям относятся: угольная, нефтяная, ряд предприятий химической промышленности;

б) при больших плотностях нагрузки и мощности цеховых трансформаторов свыше 1000кВА, при которых токи КЗ на вторичной стороне возрастают до величины недопустимой для оборудования и аппаратов на напряжение до 1 кВ;

в) в сочетании с первичным напряжением цеховых ТП 10 кВ.

Недостатками напряжения 660 В являются:

- необходимость отдельного питания силовых и осветительных электроприемников;
- повышенная степень опасности электроустановок на напряжение 660 В;
- нецелесообразность применения напряжения 660В в машиностроительной, деревообрабатывающей, легкой и др. отраслях, где имеется много мелких рассредоточенных на небольшой территории ЭП.

Общая тенденция повышения напряжения в цеховых сетях имеет место и за рубежом.

Напряжение не выше 42В применяется в помещениях с повышенной опасностью и в особо опасных для питания местного стационарного освещения, а также ручных переносных ламп.

СЭС промышленных предприятий сооружаются на нескольких номинальных напряжениях.

Критерием оптимально принятой системы электроснабжения служит минимум приведенных затрат на ее сооружение и последующую эксплуатацию. Затраты на сооружение системы электроснабжения во многом определяются количеством трансформаций напряжения и применяемыми номинальными напряжениями.

Обычно в системах электроснабжения применяется одна – две трансформации, реже три.

2.1.2 Требования к электрическим сетям напряжением до 1 кВ

Требования к электрическим сетям напряжением до 1 кВ вытекают из основных требований к СЭПП. Ими являются:

- надежность, в том числе гибкость, универсальность и обеспечение приемников электроэнергией требуемого качества;
- экономичность;
- безопасность и удобство технического обслуживания и ремонта.

Надежность электрической сети определяется надежностью составляющих ее элементов, схемой этой сети с учетом оснащения ее

защитой и автоматикой, организацией технического и ремонтного обслуживания.

Надежность элементов сети обусловлена их строением, конструктивным исполнением, влиянием окружающей среды. Конструктивное исполнение элементов должно быть таким, чтобы максимально исключить возможность их повреждения при конкретных условиях окружающей среды.

Сечение проводников должно быть таким, чтобы исключить возможность недопустимого для них перегрева и разрушения как при нормальных, так и аварийных режимах.

Гибкость и универсальность электрической сети обусловлена возможностью ее минимального изменения при изменении электрических нагрузок.

Экономичность электрических сетей обусловлена минимальными капитальными затратами (стоимость элементов электрической сети и их монтажа) и эксплуатационными расходами (содержание обслуживающего персонала, амортизационные отчисления, стоимость потерь электроэнергии).

В связи с тем, что расход проводникового материала для одной и той же передаваемой мощности быстро растет с понижением номинального напряжения сети, а потери электроэнергии в электрических сетях значительны (до 20%) необходимо стремиться к сокращению длины сетей напряжением до 1 кВ и приближению высшего напряжения к приемникам электроэнергии.

Электрическая сеть должна иметь на всех участках минимально возможную длину, сечение проводников и количество элементов, не допускать потерь электроэнергии больше экономически оправданных, обеспечивать требуемое качество передаваемой электроэнергии.

Безопасность технического и ремонтного обслуживания регламентируется ПТБ и ПТЭ.

При проектировании электрической сети следует предусматривать: возможность организации технического учета расхода электроэнергии, позволяющего формировать расход электроэнергии на единицу выпускаемой продукции или выполняемой работы; возможность применения промышленных способов ее монтажа, предполагающих применение комплектных устройств, прокладку кабелей, проводов в лотках, коробах и т. п., т. е. способов, обеспечивающих минимальное время монтажа.

2.1.3 Схемы электрических сетей

Электрические сети на напряжении до 1 кВ могут выполняться по **радиальным, магистральным и смешанным** схемам. Участок сети, питающий отдельный ЭП, называется ответвлением, питающий группу ЭП – **магистралью**.

В соответствии с ПУЭ электрические сети на напряжении до 1кВ условно подразделяются на **питающие и распределительные**.

Питающие сети – это сети от ИП, т.е. от ТП, ВРУ, до распределительных щитов, распределительных шкафов, шинопроводов.

Распределительные сети – это сети, отходящие от щитов, распределительных силовых шкафов или шинопроводов непосредственно к ЭП.

Распределительные сети чаще всего выполняются по радиальным схемам. Питающие сети – по радиальным или магистральным схемам.

Радиальные схемы характеризуются тем, что от источника питания отходят линии, питающие крупные электроприемники или распределительные пункты, от которых в свою очередь отходят самостоятельные линии, питающие прочие электроприемники малой мощности (рис. 2.1). Радиальные схемы обеспечивают относительно высокую надежность питания (повреждение одной линии не вызывает перерыв электроснабжения по другой); в них легко могут быть применены элементы автоматики и защиты (простота выполнения).

Недостатком радиальных схем являются: повышенный расход проводов и кабелей; большое количество защитных и коммутационных аппаратов; необходимость в дополнительных площадях для размещения щитов, распределительных шкафов; затруднена возможность перемещения технологического оборудования; невозможность применения комплектных шинопроводов.

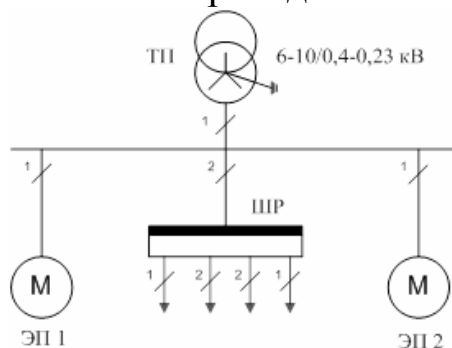


Рис. 2.1– Радиальная схема питания электроприемников
1 - ответвление; 2- магистраль; «/» - коммутационный и (или) защитный аппарат.

Магистральные схемы находят наибольшее применение при равномерном распределении нагрузок по площади помещения. При большом количестве, упорядоченно расположенных в цеху ЭП, преимущественно имеют магистральные схемы. Чисто магистральная схема применяется по так называемой схеме блок «трансформатор-магистраль» (БТМ) (рис.2.2).

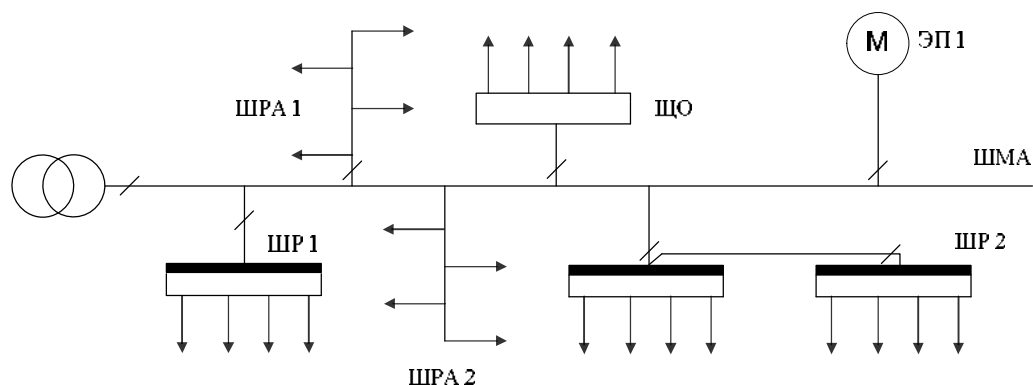


Рис. 2.2 – Чисто магистральная схема – блок трансформатор – магистраль.

В этом случае на ТП распределительный щит отсутствует, магистраль запитывается через автоматический выключатель или рубильник.

На рис.2.3 приведены магистральные схемы при наличии распределительного устройства ТП до 1 кВ. При соединении распределительных шинопроводов - магистральная схема с распределенными нагрузками, при соединении распределительных шкафов – магистральная схема со сосредоточенными нагрузками.

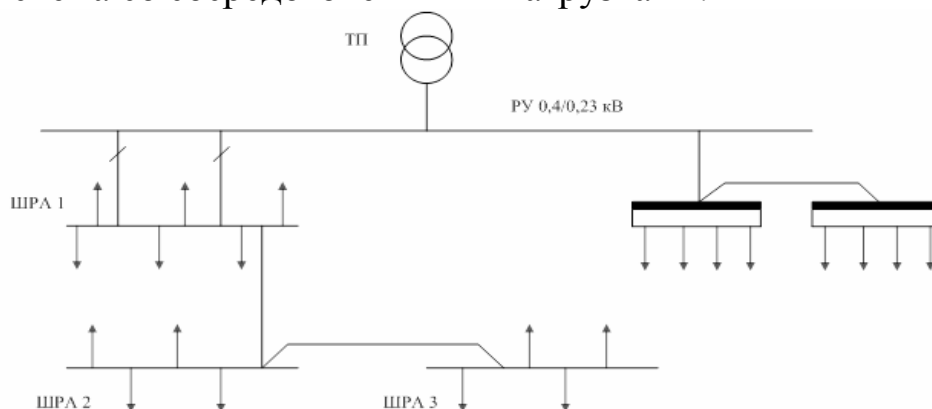


Рис. 2.3 –Магистральные схемы от распределительного устройства до 1кВ ТП.

1-распределительный щит подстанции,2-распределительный силовой пункт,электроприемник, 3-магистраль,4-распределительный шинопровод

Для питания неотвественных электроприемников, а также приемников, связанных общностью технологического процесса, удаленных от распределительных пунктов или шинопроводов, применяется так называемая схема «цепочка» (рис. 2.4). В цепочку не рекомендуется соединять более трех-четырех электроприемников.

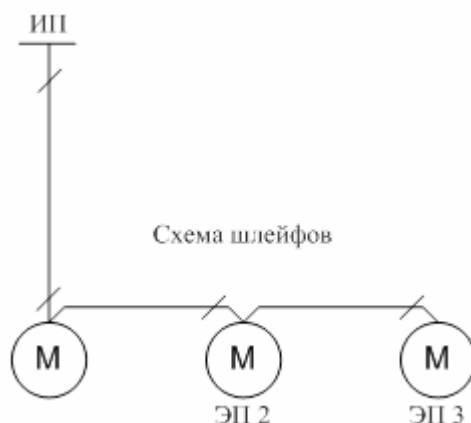


Рис. 2.4 –Схема «цепочка»

При магистральных схемах целый ряд приемников питается от одной магистрали. Расход проводникового материала меньше и поэтому электрическая сеть дешевле. Магистральные схемы позволяют применять комплектные шинопроводы, дающие возможность выполнять их скоростной монтаж. Как правило, в магистральных сетях по сравнению с радиальными, меньше потери напряжения и мощности. Кроме того, магистральная схема характеризуется большей гибкостью, дающей возможность перемещать технологическое оборудование без существенной переделки электрической сети.

Недостатками магистральных схем являются:

а) несколько пониженная по сравнению с радиальными схемами надежность электроснабжения, т.к. при повреждении магистрали все ее электроприемники теряют питание. Однако, у современных магистральных шинопроводов надежность весьма высокая;

б) в магистральных сетях, по сравнению с радиальными, больше токи КЗ.

Учитывая особенности радиальных и магистральных схем, на практике обычно применяют смешанные схемы электрических сетей, представляющие собой сочетание радиальных и магистральных схем. Крупные и ответственные приемники запитываются по радиальным схемам, а остальные по магистральным.

Для обеспечения достаточной надежности электроснабжения электроприемников во внутрицеховых сетях предусматриваются ре-

зервные переемычки между соседними подстанциями, ВРУ, магистралями, распределительными шкафами.

В системах электроснабжения приемников принята раздельная работа линий и трансформаторов, что предполагает применение разомкнутых электрических сетей по радиальным, магистральным и смешанным схемам. Замкнутые сети, получившие широкое распространение за рубежом, не нашли применения в отечественном электроснабжении.

Выбор той или иной схемы электрической сети определяется множеством факторов: расположением технологического оборудования, источников питания на плане помещения; планировкой помещения; величиной и характером (спокойная, резкопеременная) нагрузки электроприемников; требованиями бесперебойности электроснабжения; технико-экономическими соображениями; условиями окружающей среды.

2.1.4 Режимы нейтрали электрических сетей

Трехфазные электрические сети переменного тока напряжением до 1 кВ в соответствии с ПУЭ могут быть с глухозаземленной или изолированной нейтралью.

Большинство электрических сетей выполняются с глухозаземленной нейтралью.

Сети с изолированной нейтралью составляют около 30% всех сетей напряжением до 1 кВ. Применяются эти сети при повышенных требованиях к электробезопасности и надежности электроснабжения.

В соответствии с международным электротехническим стандартом МЭК-364 возможны следующие типы систем заземления электрических сетей: TN-S, TN-C, TN-C-S, TT, IT. На рисунке 2.5 приведена система заземления электрической сети TN-S.

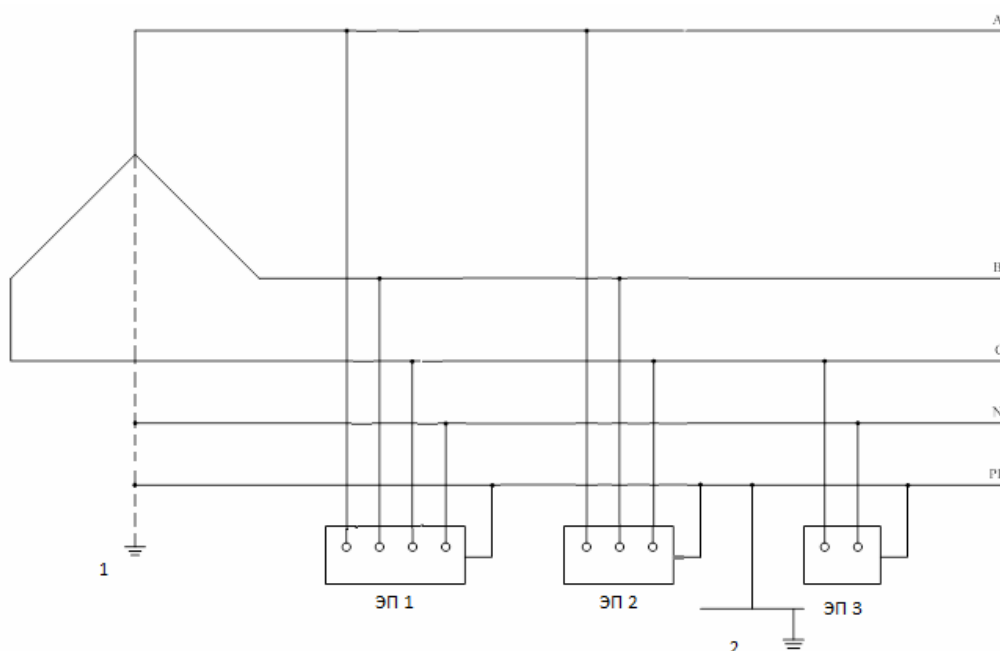


Рис. 2.5– Система заземления электрической сети TN-S
1 – рабочее заземление, 2 - система выравнивания потенциалов

В системе TN-S имеет место раздельная работа нулевого рабочего (N) и защитного (PE) проводников. В связи с этим снижается напряжение прикосновения, упорядочиваются цепи протекания токов в нормальных и послеаварийных режимах работы. На рис. 2.6 приведена электрическая сеть с системой заземления TN-C, на рис.2.7 - TN-C-S.

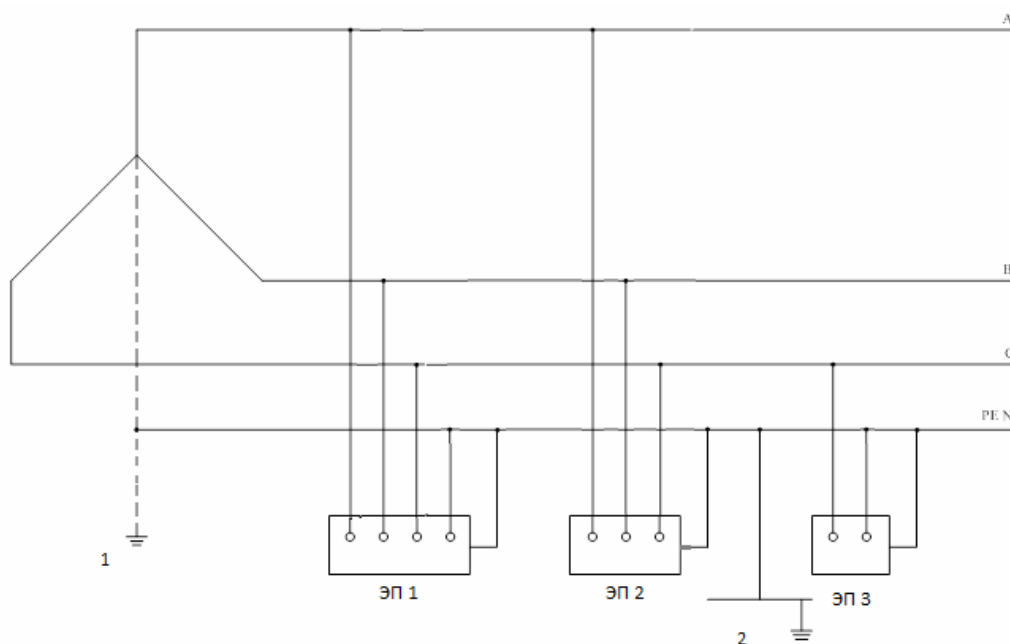


Рис. 2.6 – Система заземления электрической сети TN-C
1 – рабочее заземление, 2 - система выравнивания потенциалов

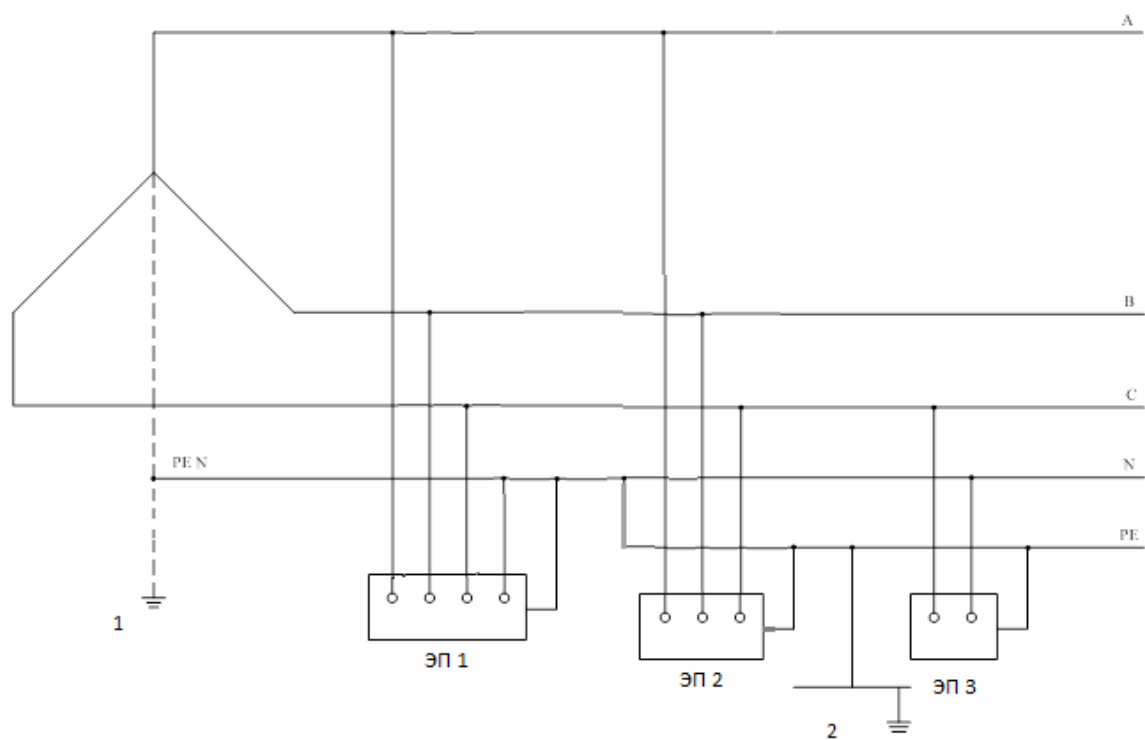


Рис. 2.7 – Система заземления электрической сети TN-C-S
1 – рабочее заземление, 2 - система выравнивания потенциалов

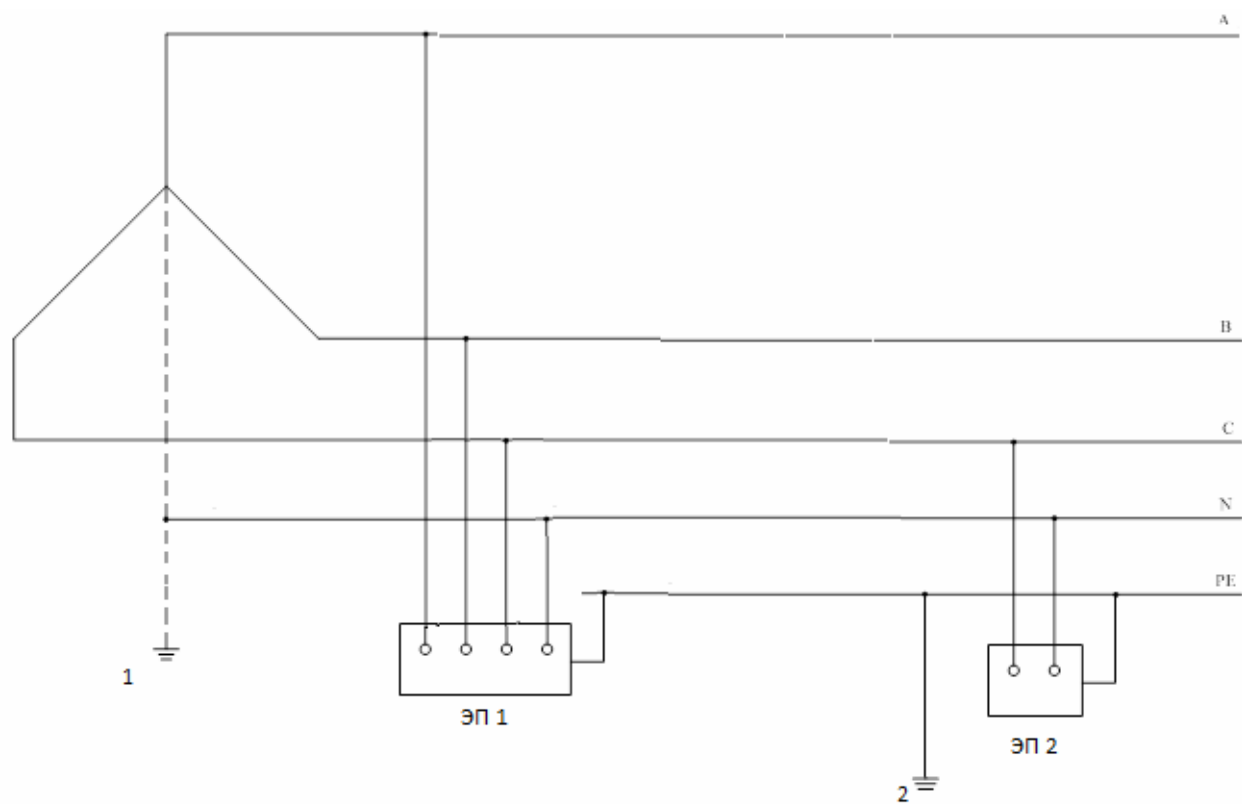


Рис. 2.8 – Система заземления электрической сети TT
1 – рабочее заземление, 2 - защитное заземление

В системе ТТ (рис. 2.8) внешние металлические части электрооборудования, к которым возможно прикосновение человека, присоединены к заземлению электрически не связанному с заземлением нейтрали источника питания. Эта система противоречит требованиям ПУЭ, согласно которым в электроустановках с глухозаземленной нейтралью должно быть выполнено зануление и не допускается заземление корпусов электроприемников без их зануления.

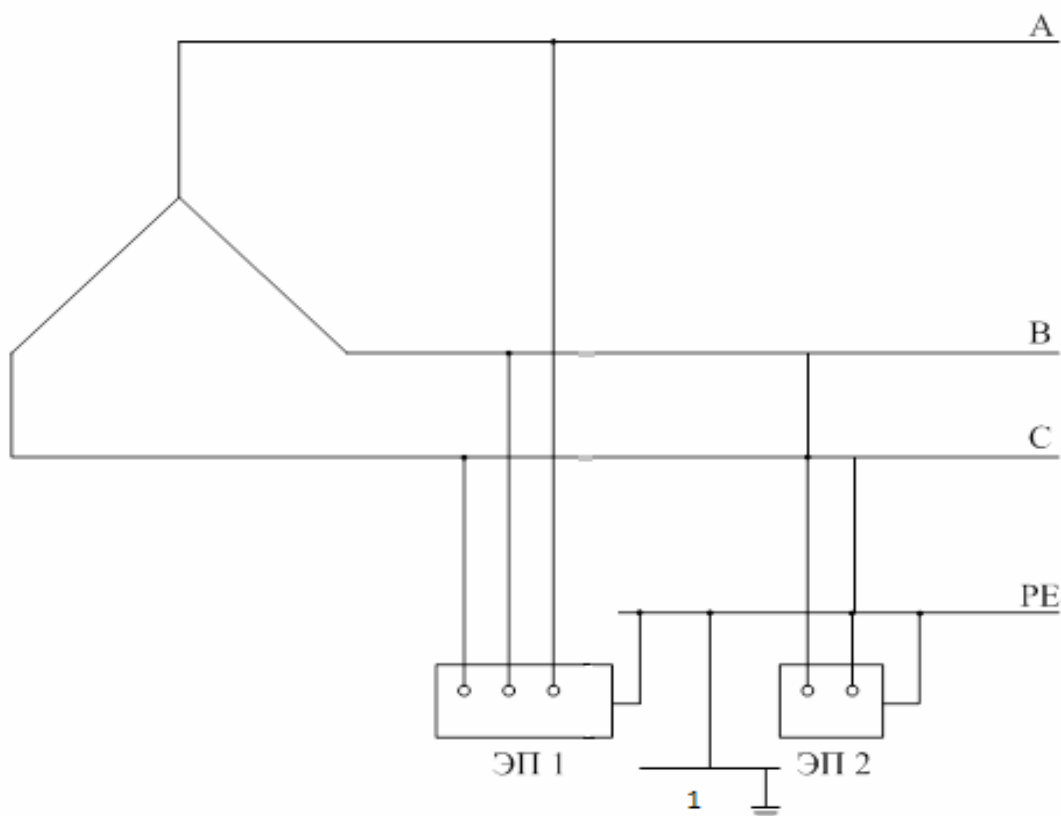


Рис. 2.9 – Система заземления электрической сети IT
1 - система выравнивания потенциалов

В системе IT (рис. 2.9) доступные для прикосновения металлические части электроустановок, нормально не находящиеся под напряжением, заземлены. Такая система применяется для электроустановок с изолированной нейтралью.

В соответствии с нормативно-правовой документацией для вновь строящихся и реконструируемых предприятий должны применяться системы TN-S или TN-C-S.

2.1.5 Выбор сечений нулевых рабочих (N), совмещенных рабочих и защитных (PEN) и защитных (PE) проводников.

Выбор сечения нулевых рабочих (N)проводников

Для однофазных, а также трехфазных электрических сетей, при питании по ним однофазных нагрузок, сечение нулевого рабочего N-проводника во всех случаях должно быть равно сечению фазных проводников.

Для варианта питания трехфазных симметричных нагрузок (в т.ч. и многоламповых светильников, включаемых в 3-х фазную сеть):

-нулевой рабочий N-проводник должен иметь сечение, равное сечению фазных проводников, если те имеют сечение до 16 мм^2 по меди или до 25 мм^2 по алюминию;

- при больших сечениях фазных проводников он может иметь сечение, составляющее не менее 50% сечения фазных проводников, при этом должны соблюдаться одновременно следующих два условия:

а) максимальный рабочий ток в N - проводнике при нормальном режиме работы должен быть значительно меньшим, чем длительно допустимый ток принятого уменьшенного сечения N-проводника;

б) N-проводник должен отключаться как и фазные проводники от сверхтока.

Выбор сечения совмещенных рабочих и защитных (PEN) проводников

Для совмещенного PEN – проводника можно принимать его сечение равным 10 мм^2 и выше по меди и 16 мм^2 и выше по алюминию, при этом сечение его должно быть не менее требуемого сечения N – проводника.

Выбор сечения защитного (PE) проводника

Сечение защитного PE-проводника должно равняться:

- сечению фазных проводников при сечении последних до 16 мм^2 ;
- 16 мм^2 , при сечении фазных проводников от 16 до 35 мм^2 ;
- не менее 50% сечения фазных проводников, при больших сечениях последних.

В качестве защитных проводников наряду с жилами кабелей, проводников могут использоваться металлические покровы кабелей, металлические трубы и др.

2.1.6 Конструктивное выполнение электрических сетей

Электрические сети промышленных предприятий напряжением до 1 кВ выполняются **внутренними** (цеховыми) и **наружными**.

Внутренние сети могут быть открытыми, проложенными по поверхностям стен, потолков и другим элементам зданий: на изоляторах, тросах, в коробах, лотках, трубах и т.д. и скрытыми, проложенными в стенах, полах, фундаментах, кирпичных кладках, перекрытиях и др.

Наружные сети прокладывают по наружным стенам зданий и сооружений, между зданиями в большинстве с использованием кабельной прокладки в земле, на эстакадах, реже в виде воздушной ЛЭП.

Прокладка электрических сетей выполняется изолированными или неизолированными проводниками. Изолированные проводники могут быть защищенными или незащищенными. Защищенные проводники имеют поверх электрической изоляции металлическую или другую оболочку, предохраняющую изоляцию от механических повреждений.

Открытая прокладка проводов с креплением на роликах, изоляторах, тросах является наиболее простой и дешевой, но не обеспечивает достаточной надежности и защиты проводов от механических повреждений. Более совершенной является прокладка проводов в лотках и коробах, выпускаемых в виде секций.

Лотком называется открытая электромонтажная конструкция, предназначенная для прокладки на ней проводов и кабелей.

Коробом называется закрытая полая конструкция прямоугольного или другого сечения, предназначенная для прокладки в ней проводов и кабелей. Короб служит защитой от механических повреждений.

Провода могут прокладываться в защитных трубах, что обеспечивает надежную защиту от механических повреждений. В настоящее время стальные трубы заменяются винипластовыми, резинобитумными, полиэтиленовыми.

Прокладка в трубах связана с неудобством в эксплуатации, при необходимости замены поврежденных проводов.

Одной из разновидностей подпольной прокладки проводов в трубах является модульная (трубы в полу с выводом наружу колонок-щитков для присоединения ответвлений к электроприемникам).

Для канализации электроэнергии применяются также кабели. При технико-экономическом сравнении прокладка кабелей по сравнению с прокладкой проводов в трубах оказывается экономически целесообразной для сечений более 25 мм².

При прокладке кабелей внутри зданий их можно располагать по стенам, колоннам, в блоках, в трубах, проложенных в полу и перекрытиях, в специальных кабельных каналах,

По стенам и перекрытиям прокладку кабелей выполняют с помощью скоб.

При прокладке кабелей в специальных кабельных каналах сооружается канал из железобетона или кирпича и перекрывается железобетонными плитами или стальными рифлеными листами, что обеспечивает защиту от механических повреждений.

Если число кабелей невелико, то их либо протягивают в трубы, либо прикрывают уголковым железом. Отрицательным является ухудшение условий охлаждения.

Кабелями в основном питают крупные электроприемники, распределительные щиты, силовые шкафы.

Следует различать вид электрических сетей – электропроводки. В соответствии с ПУЭ электропроводка – это совокупность проводов и кабелей с относящимися к ним креплениями, поддерживающими защитными конструкциями и деталями. Для электропроводок используются провода и кабели сечением до 16 мм².

В электрических сетях до 1 кВ кроме проводов и кабелей применяются также шинопроводы и распределительные устройства до 1 кВ.

Схемы питания осветительных установок

Питание электрического освещения осуществляется, как правило, совместно с силовыми электроприемниками от общих трехфазных силовых трансформаторов с глухозаземленной нейтралью и номинальным напряжением на низкой стороне равным 400/230 В. Номинальное напряжение в таких сетях составляет 380/220 В.

В случаях, когда характер силовой нагрузки не позволяет обеспечивать требуемое качество напряжения у ламп, применяются и самостоятельные трансформаторы для питания осветительной установ-

ки, например при питании, от совместного трансформатора мощных сварочных агрегатов и т.д.

Питание осветительных приборов ремонтного освещения с лампами накаливания должно производиться на безопасном напряжении (до 42 В) от понижающих трансформаторов с электрически разделенными обмотками высокого и низкого напряжения. В целях электробезопасности один из выводов или нейтраль обмотки низшего напряжения трансформатора должны быть заземлены или занулены.

Сети электрического освещения разделяются на питающие и групповые. Питающие сети это линии от комплектных трансформаторных подстанций (КТП) или вводно-распределительных устройств (ВРУ) или других пунктов питания до групповых щитков. Групповые сети – линии от групповых щитков до осветительных приборов, штепсельных розеток и понижающих трансформаторов светильников, требующих безопасного напряжения.

Питающие сети для осветительных установок и силового электрооборудования рекомендуется выполнять отдельными линиями.

В начале каждой питающей линии устанавливаются аппараты защиты и отключения. В начале групповой линии обязательно устанавливается аппарат защиты, а отключающий аппарат может не устанавливаться при наличии таких аппаратов по длине линии.

При питании внутреннего освещения от КТП нецелесообразно использовать мощные линейные автоматические выключатели для защиты линий питающей сети, так как их номинальные данные могут быть значительно выше мощности линий. Поэтому вблизи КТП устанавливаются магистральные щитки с автоматическими выключателями, от которых питаются групповые щитки.

Питание групповых щитков рабочего и аварийного освещения в производственных и общественных зданиях должны осуществляться от независимых источников питания. Допускается питание рабочего и аварийного освещения от разных трансформаторов одной двухтрансформаторной подстанции при питании трансформаторов от двух независимых источников.

Схемы питания электрического освещения должны обеспечивать: необходимую степень надежности электроснабжения; простоту, удобство эксплуатации и управления; экономичность осветительной установки.

Для электроснабжения осветительных установок третьей категории применяются схемы питания (рис. 2.10, 2.11).



Рис. 2.10 – Схема питания ОУ от ВРУ

На рис. 2.11 приведены схемы питания рабочего и аварийного освещения от одной однотрансформаторной подстанции. Осветительные щитки питаются по отдельным линиям от щита подстанции (рис. 2.11, а) или по общей линии с разделением ее на вводе в здание (рис. 2.11, б).



Рис. 2.11 – Схема питания рабочего и аварийного освещения от однострансформаторной подстанции

Для электрических нагрузок второй категории электроснабжения могут использоваться схемы питания освещения от двух однострансформаторных подстанций, причем для рабочего и аварийного освещения используются разные трансформаторы (рис. 2.12).

При наличии в системе электроснабжения здания двухтрансформаторных подстанций щитки рабочего и аварийного освещения подключаются от разных трансформаторов (рис. 2.13).

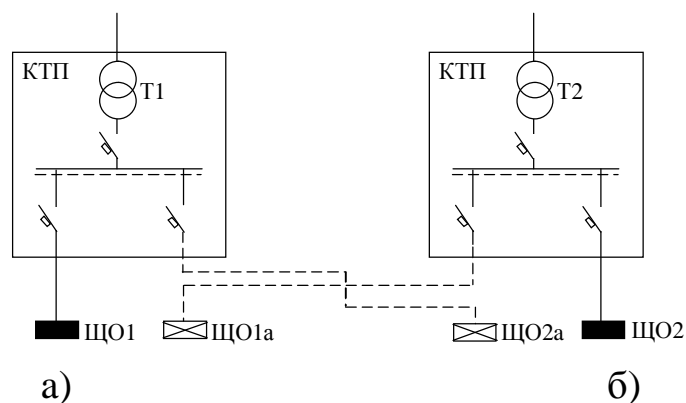


Рис. 2.12 – Схема питания ОУ от двух однострановых подстанций

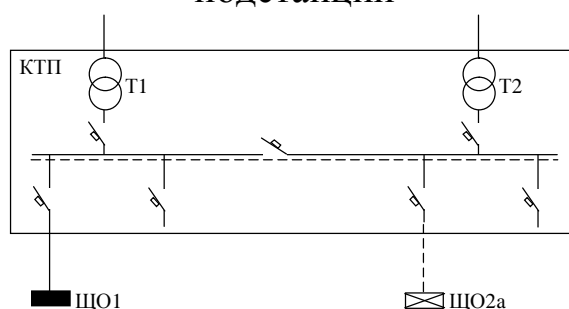


Рис. 2.13 –Схема питания ОУ от двухтрансформаторной подстанции

В линейных шкафах комплектных трансформаторных подстанций устанавливается определенное количество аппаратов защиты, имеющих большие значения номинальных токов, поэтому устанавливаются магистральные щитки, от которых питаются групповые щитки (рис. 2.14).

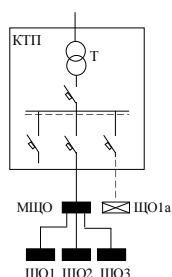


Рис. 2.14 – Схема питания ОУ от магистрального щитка

Для электроустановок первой категории электроснабжения, в качестве второго источника питания аварийного освещения применяются аккумуляторные батареи, генераторы с дизельными или бензиновыми двигателями, а также используются электрические связи с ближайшими независимыми источниками (рис. 2.15).

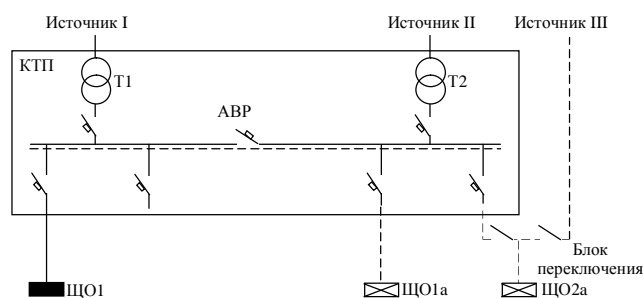


Рис. 2.15 – Схема питания аварийного освещения от третьего независимого источника

Эта схема используется и в качестве третьих независимых источников при питании электроустановок «особой» категории электрообеспечения.

2.1.7 Элементы электрических сетей

К элементам сетей напряжением до 1кВ относятся распределительные устройства, провода, кабели и шинопроводы.

Распределительные устройства напряжением до 1 кВ

Распределительные устройства предназначены для приема и распределения ЭЭ в силовых и осветительных электрических сетях напряжением до 1 кВ. Применяются в виде распределительных щитов, вводно-распределительных устройств(ВРУ), силовых пунктов(шкафов), щитков освещения и коммутационных и коммутационно – защитных ящиков.

Распределительные щиты комплектуются, как правило, из отдельных панелей (шкафов) со сборными шинами, коммутационными и защитными аппаратами, измерительными трансформаторами и приборами. Распределительные щиты по своему конструктивному исполнению и условиям обслуживания подразделяются на два основных типа (рис.2.16):

- одностороннего обслуживания (ЩО-70, ЩО-94, Щ20-Ин1 и др.);
- двухстороннего обслуживания (ПРС-1, ПРС-2 и др.).

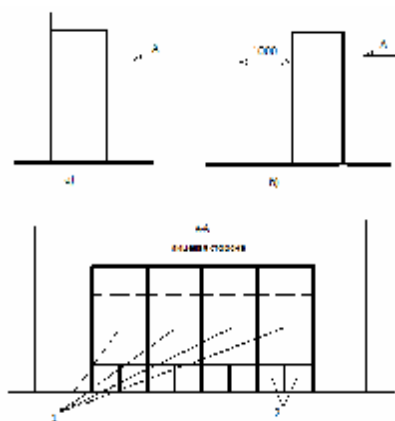


Рис. 2.16 – Распределительные щиты: а) одностороннего обслуживания, б) двухстороннего обслуживания; 1 – панель, 2 – дверки у РЩ одностороннего обслуживания.

С точки зрения эксплуатации распределительные щиты второго типа (б) лучше. Недостатком же является то, что они занимают значительную площадь цеха. На лицевой стороне панелей распределительных щитов находятся измерительные приборы, приводы автоматов и рубильников. Количество панелей в распределительном щите определяется заказом.

Шины в панелях находятся сверху. Сечение сборных шин также обуславливается заказом, но не должно превышать 100 * 10 мм (практически для всех вводных панелей). На одной панели не более 4-6 приводов коммутационных аппаратов. На большие токи 1500...2000 А применяется отдельная панель для каждого привода коммутационного аппарата.

Краткая характеристика основных панелей:

-динамическая стойкость:

ЩО - 30кА;

Щ20-Ин1 - 30-50кА(в зависимости от номинального тока шкафа);

ПРС -1 - 30кА;

ПРС -2 - 50кА.

- ПРС-1, ПРС -2:

линейные: - количество отходящих групп от 1 до 6;

- на токи от 100 до 1500А;

- коммутационная и защитная аппаратура:

а) рубильники с предохранителями ПН – 2;

б) автоматы А3120 (30,40), АВМ, ВА;

вводные:

- на токи от 400 до 2000А;
- коммутационная и защитная аппаратура:
 - а) рубильники с предохранителями ПН – 2;
 - б) рубильник;
 - в) автоматы АЗ140, АВМ, ВА;

секционные:

- на токи от 400 до 1500А;
- коммутационная и защитная аппаратура:
 - а) рубильники с предохранителями ПН – 2;
 - б) рубильник;
 - в) автоматы АЗ140, АВМ, ВА;

-ЩО-70(94), Щ20-Ин1:

линейные: - количество отходящих групп от 1 до 6;

- на токи от 600 до 1300А;
- коммутационная и защитная аппаратура:
 - а) рубильники с предохранителями ПН – 2;
 - б) автоматы АЗ120 (30,40), АВМ, ВА, по заказу;

вводные:

- на токи от 600 до 2000А;
- коммутационная и защитная аппаратура:
 - а) рубильники с предохранителями ПН – 2;
 - б) рубильник;
 - в) автоматы АЗ140, АВМ, ВА, (по заказу);

секционные:

- на токи от 600 до 1600А;
- коммутационная и защитная аппаратура:
 - а) рубильники с предохранителями ПН – 2;
 - б) рубильник;
 - в) автоматы АЗ140, АВМ, ВА (по заказу)

На рис. 2.17 в простейшем изображении (без измерительных приборов и трансформаторов тока) приведен один из вариантов электрических схем а) – вводной, б) – линейной, в) – секционной панелей.

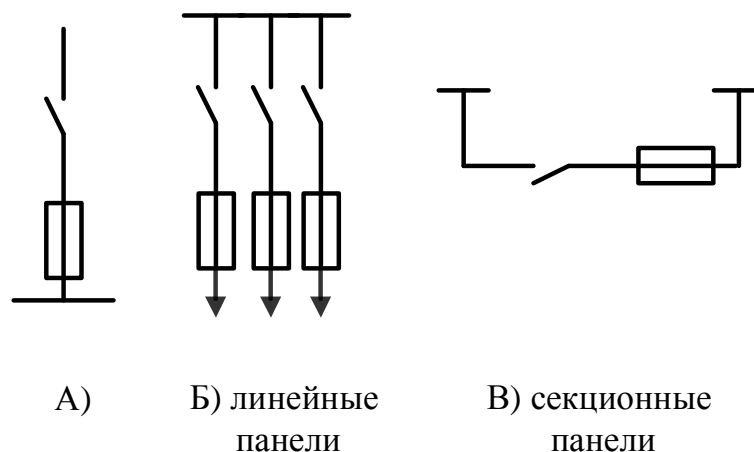


Рис. 2.17 –Простейший вариант электрических схем а) вводной, б) линейной и в) секционной панелей

Распределительные щиты на основе панелей используются в качестве вводно-распределительных устройств в цехах, помещениях, в которых отсутствуют ТП, или в качестве распределительных устройств до 1кВ некомплектных ТП.

Некоторые преимущества перед обычными имеют панели, состоящие из блочных элементов БПВ (блок-предохранитель выключатель) или защитной и коммутационной аппаратуры в виде блоков со втычными контактами (рис.2.18).

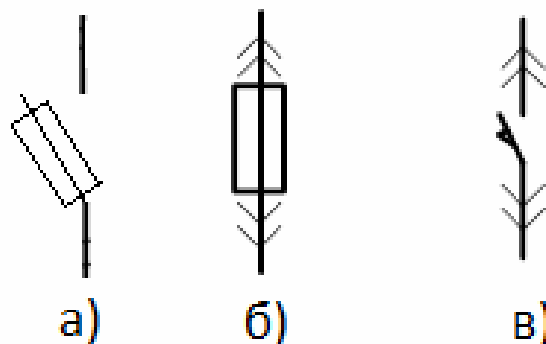


Рис. 2.18 – Блочные элементы панелей

Для комплектования распределительных щитов промышленностью выпускаются также:

- панели ПД, шкафы ШД – 2-х стороннего обслуживания;
- панели ПО, шкафы ШО – 1 стороннего обслуживания с блочными элементами.

Для распределения электроэнергии непосредственно между электроприемниками в качестве промежуточных распределительных

пунктов в цехах применяются стандартные типы РУ в виде, например, силового шкафа серии ШР11 (рис.2.19) с горизонтальным расположением фазных шин и вертикальным расположением предохранителей. В шкафу могут быть применены такие типы предохранителей, как НПН2-63, ПН2-100, ПН2-250 на 5-8 трехфазных присоединений.

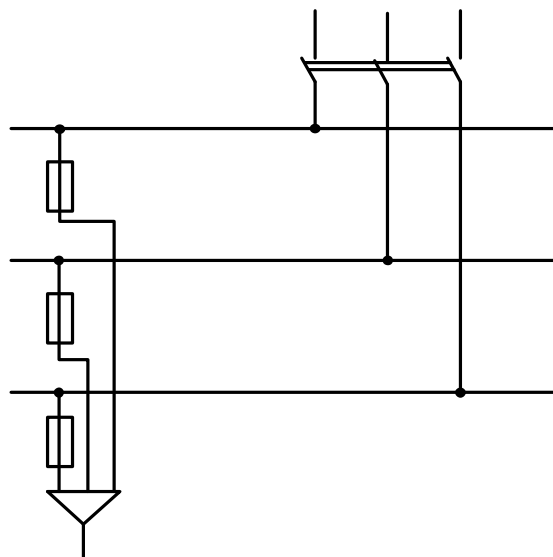


Рис. 2.19 – Фрагмент трехлинейной схемы шкафа серии ШР11
Шкафы серии ШР11 могут выполняться по трем схемам вводов (рис.2.20)

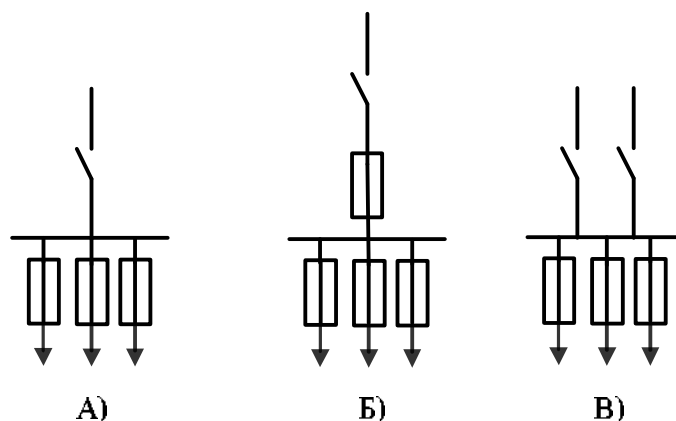


Рис. 2.20 – Три варианта схем вводов шкафов серии ШР11
Ранее выпускались шкафы СП62(СПУ62), сейчас взамен их и шкафов ШР11 выпускаются шкафы ШР86-Ин1.

Кроме того, в системах электроснабжения применяются силовые распределительные шкафы и осветительные щитки серий ПР и СУ с автоматическими выключателями

Одной разновидностью шкафов с автоматическими выключателями является пункт распределительный ПР85-Ин1. Выпускается

напольного, навесного и утопленного исполнения. На вводе без или с автоматическим выключателем на 160, 250, 400, 630А. Линейные присоединения с трехфазными автоматическими выключателями или трехфазными и однофазными автоматическими выключателями, на токи: однофазные – до 63А, трехфазные – до 63, 100, и 200А. Количество присоединений от 4 до 26.

В качестве групповых осветительных щитков наиболее часто используются устройства серии ПР11, СУ9400, ОЩ и др.

Силовые распределительные пункты серии ПР22, ПР24, ПР9000 и др. могут использоваться в качестве магистральных осветительных щитков.

На промышленных предприятиях в качестве распределительных пунктов в силовых и осветительных сетях и для управления электроприводами применяются унифицированные устройства серии РУС. Внутри шкафа в зависимости от его назначения устанавливаются автоматические выключатели, предохранители, магнитные пускатели, реле, программные устройства и другие электрические аппараты и приборы.

Для подключения отдельных электроприёмников или отдельной трехфазной линии в цеховых сетях находят применение коммутационные или коммутационно-защитные ящики типов ЯБПВ, ЯВЗ, ЯРП, Я и др., выполненные, соответственно, по одной из схем, представленных на рис. 2.21.

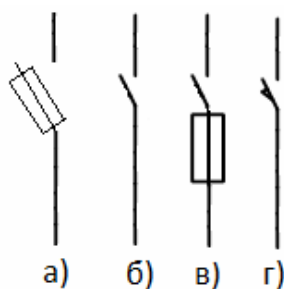


Рис. 2.21 – Схемы электрических соединений ящиков: а) ЯБПВ, б)ЯВЗ, в)ЯРП, г)Я.

Ящик типа ЯТП-0,25УЗ содержит понижающий трансформатор для питания сетей местного освещения (12, 24, 36В).

Место установки распределительных устройств должно выбираться таким образом, чтобы протяженность линейных присоединений к ним была минимальна (должны устанавливаться ближе к цен-

тру питаемых электрических нагрузок), чтобы отсутствовали или были минимальными обратные потоки электроэнергии (питание электроприемников осуществлялось по направлению распределения электроэнергии), чтобы удобно было обслуживать их, минимально загромождали производственные площади.

Наряду с серией, типом, каждое распределительное устройство, размещенное в конкретном месте плана, имеет свое обозначение, учитывающее привязку его к строительному модулю, например, 4В – по горизонтали 4 колонна (слева направо: 1,2,3,4 и т.д.), по вертикали по плану – колонна В (сверху вниз А,Б,В,Г и т.д.) (рис.2.22).

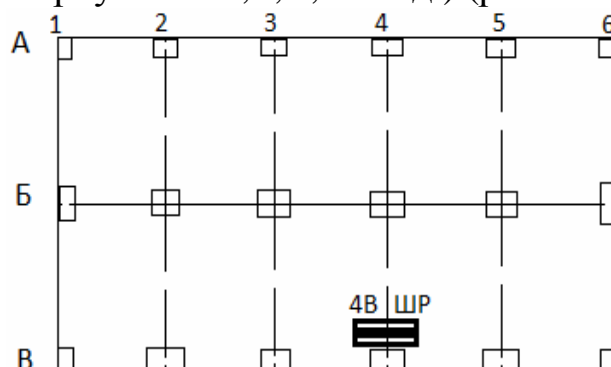
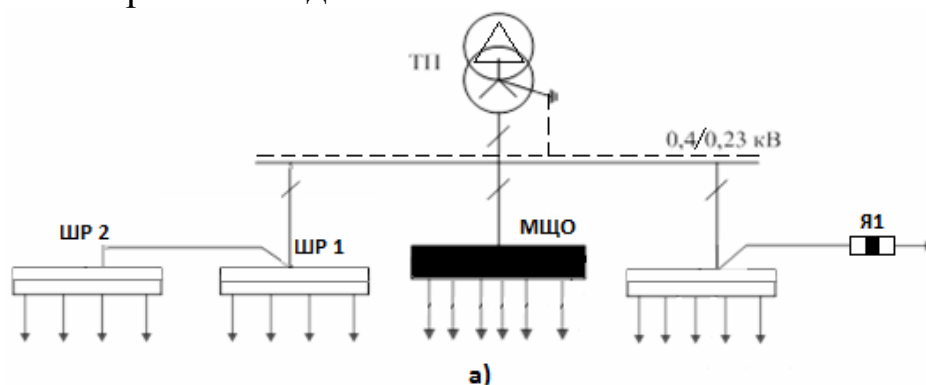


Рис. 2.22 – Место расположения силового шкафа 4В

На рис. 2.23 приведены фрагменты схем питающей электрической сети напряжением до 1кВ.



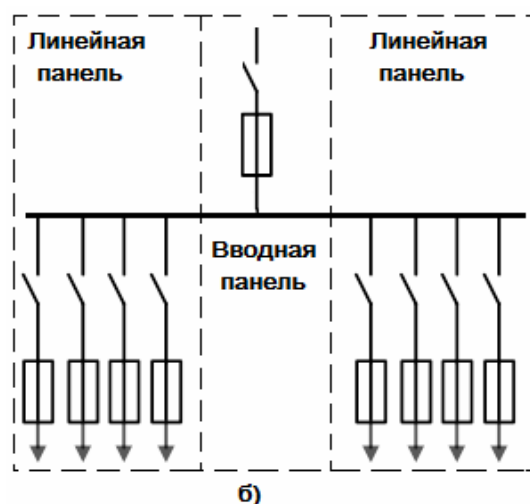


Рис. 2.23 – Фрагменты схем питающей электрической сети, а) схема питания распределительных устройств, б) схема распределительного щита (вводно-распределительного устройства).

Провода и кабели

Провод – это одна неизолированная, или одна или более изолированных жил, поверх которых в зависимости от условий прокладки и эксплуатации может быть неметаллическая оболочка, обмотка и (или) оплетка из волокнистых материалов или проволоки.

Кабель – это одна или более изолированных жил, как правило, заключенных в металлическую или неметаллическую оболочку, поверх которой в зависимости от условий прокладки и эксплуатации может быть защитный покров, в который может входить броня.

Материалы жил проводов и кабелей.

Основными материалами жил в настоящее время являются алюминий, медь и сталь. До недавнего времени применение меди для проводникового материала допускалось для тяжелых ошиновок электропечей (короткая сеть), во взрывоопасных помещениях класса В-1, В-1а, для выполнения вторичных цепей подстанций, панелей защиты, автоматики и управления электроприводами и т.п.

Сталь в настоящее время применяется для выполнения воздушных и троллейных линий, шинопроводов по соображениям механической прочности.

Самый распространенный на земле металл – натрий. Проводимость его в два раза выше, чем у стали. Использование натрия затруднено недопустимостью его применения в открытом виде из-за невозможности его соприкосновения с водой, что приводит к пожару. Однако, благодаря наличию полиэтиленовой изоляции появляется возможность изготавливать жилы проводов и кабелей из натрия.

Для выполнения токопроводов получил применение сплав алюминия (проводимость на 13% ниже, чем у алюминия, а механическая прочность близка к стали).

Марки проводов и кабелей.

Неизолированные провода обозначаются первыми буквами металла проводника: М – медный, А – алюминиевый, АТ – алюминий тянутый, С – стальной, АС – сталеалюминиевый.

Изолированные провода и кабели с медными жилами не имеют специальных обозначений металла жилы, провода и кабели с алюминиевой жилой имеют букву А в начале маркировки.

Аналогично бумажная изоляция для кабелей не обозначается, в то время, как другие виды изоляции проводов и кабелей обозначаются соответствующими буквами: Р – резиновая, В – поливинилхлоридная, Н – найритовая (негорючая резина), Э – эмалевая.

Материалы оболочек кабелей маркируются соответствующей первой буквой: С – свинцовая, А – алюминиевая, В – поливинилхлоридная, Н – найритовая, Р – резиновая.

В значительном большинстве буква Г входящая в обозначение проводов указывает, что они являются гибкими (многопроволочная жила), а в обозначении кабелей – оболочка или защитная броня являются голыми (отсутствует слой пряжи для защиты от коррозии при прокладке в земле или воде).

Бронированные кабели с ленточной броней имеют в маркировке букву Б, с проволочной броней – П.

В марке изолированных проводов первая буква обозначает материал провода (при медных жилах отсутствует), вторая буква П обозначает – провод, третья – материал изоляции. В обозначении могут быть также буквы, характеризующие другие элементы конструкции: О – оплетка, Т – для прокладки в трубах, П – плоский, Ф – металлическая фальцованная оболочка, С – для скрытой прокладки или для сельского хозяйства.

Провода и кабели различаются количеством жил (в основном от 1 до 5), сечением и номинальным напряжением.

Стандартными являются следующие сечения жил: 0,35; 0,5; 0,75; 1,0; 1,2; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 16; 25; 35; 50; 70; 95; 120 150; 185; 240; 300 400; 500; 625; 800; 1000 мм².

Провода изготавливаются на напряжение 380, 660, 1000 и 3000В. переменного тока.

Наиболее распространенными проводами являются:

АПР – алюминиевый провод с резиновой изоляцией (1ж.);
АПРТО – тоже, для прокладки в тонкостенных трубах (пропитан противопожарным составом, одно и многожильный);
АПВ – алюминиевый провод с поливинилхлоридной изоляцией (1ж.);
АППВ – алюминиевый провод плоский с поливинилхлоридной изоляцией(2,3ж.);
ПР, ПРТО, ПВ, ППВ – тоже, что и предыдущие, но с медными жилами;
ПРГ, ПВГ – медный провод, соответственно с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией, гибкий (жила сплетена из проволок);
шнуры двухжильные (для переносных осветительных приборов и других приемников малой мощности):
ШРПЛ – шланговый, переносной, легкий;
ШРПС – шланговый переносной, средний.
распространенными кабелями являются:
АВВГ – алюминиевый кабель с поливинилхлоридной оболочкой, поливинилхлоридной изоляцией, голый (оболочка не имеет пряжи для защиты от коррозии при прокладке в земле или воде);
АВРГ - алюминиевый кабель с поливинилхлоридной оболочкой, резиновой изоляцией, голый;
АВНГ - алюминиевый кабель с поливинилхлоридной оболочкой, найритовой изоляцией, голый;
АНРГ - алюминиевый кабель с найритовой оболочкой, резиновой изоляцией, голый;
ВВГ, ВРГ, ВНГ, НРГ – тоже, что и предыдущие, но с медными жилами;
ААБ – алюминиевый кабель с алюминиевой оболочкой, бумажной изоляцией (не обозначается), бронированный ленточной броней;
АСБ - алюминиевый кабель со свинцовой оболочкой, бумажной изоляцией (не обозначается), бронированный ленточной броней;
АБ, СБ – тоже, что и предыдущие два кабеля, но с медными жилами;
ААБГ, АСБГ – тоже, что и кабели ААБ и АСБ, но голые;
АБГ, СБГ - тоже, что и кабели АБ и СБ, но голые;
ААШв – алюминиевый кабель, алюминиевая оболочка, бумажная изоляция (не обозначается), защитный покров из пластика.

В настоящее время имеет место значительное многообразие марок проводов и кабелей. Один из распространенных справочников: Белоруссов Н.И. и др. Электрические кабели, провода и шнуры. М.: Энергоатомиздат, 1987г. и других годов издания.

Шинопроводы

Шинопроводом называется устройство, предназначенное для передачи и распределения электроэнергии, состоящее из неизолированных или изолированных проводников (шин или проводов) и относящихся к ним изоляторов, поддерживающих и опорных конструкций, защитных оболочек и ответвительных устройств.

По конструктивному исполнению они могут быть:

а) *открытыми*, выполненными из неизолированных шин на изоляторах и незащищенными от прикосновения или попадания на них посторонних предметов;

б) *защищенными*, представляющими собой открытые шинопроводы, огражденные сеткой или коробом из перфорированных листов;

в) *закрытыми*, выпускаемыми в виде комплектных шинопроводов с шинами, смонтированными в сплошной короб.

Несмотря на высокую стоимость, наибольшее применение во внутрицеховых электрических сетях находят комплектные шинопроводы. В зависимости от назначения они подразделяются на:

-магистральные переменного тока, серии ШМА и постоянного тока – ШМАД, предназначенные для присоединения к ним распределительных шинопроводов и силовых распределительных щитов, пунктов, ящиков и отдельных мощных электроприемников. Выпускаются:

ШМА-4 – 1250А;

ШМА-73(75) – 1250, 1600, 2500, 3200, 4000А;

ШМАД - 1600, 2500, 4000, 6000А;

-распределительные, серии ШРА и ШРП(для пыльной и пожароопасной среды). Выпускаются:

ШРА-4 – 100А (с ответвительными коробками с предохранителями и автоматами на ток 25А);

ШРА-73(75) – 250, 400, 630А (с ответвительными коробками с предохранителями ПН2-100, ПН2-250 и автоматическими выключателями на 160 и 250А);

ШРП - 250, 400, 630А.

Магистральные и распределительные комплектные шинопроводы применяются при нестабильном упорядоченном расположении оборудования в цехах с нормальной, пыльной средой и пожароопасными зонами.

-троллейные, серии ШТА и ШТМ – для питания передвижных электроприемников. Выпускаются:

ШТМ-76 – 200, 400А;

ШТА-72 – 100, 200, 400А;

-осветительные, серии ШОС – для питания светильников и электроприемников небольшой мощности. Выпускаются:

ШОС-73 - 16, 25, 63, 100.

2.1.8 Влияние условий окружающей среды на электроустановки

Окружающая среда и электроустановки влияют друг на друга, что может привести к негативным последствиям.

Соответствующая окружающая среда может способствовать появлению коррозии токоведущих элементов, металлических частей оборудования, появлению токов утечки из-за снижения сопротивления изоляции, разрушения изоляции и в конечном счете привести к отказам в работе электроустановок.

Сами же электроустановки вследствие нагрева сверх допустимой температуры, возможности появления электрической искры и дуги могут вызвать пожары и взрывы.

Открытая установка масляных трансформаторов 10/0,4кВ увеличивает пожароопасность цеха.

В общем, окружающая среда на электроустановки влияет своими макро и микроусловиями.

Макроусловия – это природные воздействия: температура окружающей среды, влажность воздуха, свойства грунта, направление и скорость ветра и т.п..

Микроусловия – это условия, возникающие в результате производственной деятельности: наличие пыли, агрессивных сред, пожароопасных и взрывоопасных зон, агрессивных сред, шумовых нагрузок и т.д.

Необходимо помнить, что условия окружающей среды оказывают существенное влияние на проектные решения, выбор аппаратов и электрооборудования СЭПП.

2.1.9 Классификация помещений и наружных установок по окружающей среде

Окружающая среда является одним из основных факторов, определяющих конструктивное исполнение электрических сетей.

Условия помещений, влияющие на выбор конструкций сетей, определяются температурой воздуха, влажностью, наличием агрессивных газов или пыли, взрывоопасных и пожароопасных зон.

В связи с этим помещения разделяются по влажности среды на:

- сухие (относительная влажность не превышает 60%);
- влажные (относительная влажность от 60 до 75%);
- сырые (относительная влажность воздуха длительно превышает 75%);
- особо сырые (относительная влажность близка к 100%). В таких помещениях стены, потолок и находящиеся в нем предметы покрыты конденсированной влагой.

Относительная влажность – это отношение количества влаги в единице объема при определенной температуре к тому количеству, при котором произойдет выпадение росы (при той же температуре).

По температуре воздуха на:

- нормальные помещения;
- жаркие помещения.

Нормальные помещения – это сухие, не пыльные, без химически активных сред помещения, температура в которых не должна превышать +35⁰С.

Жаркие помещения – помещения с температурой длительно превышающей или периодически (более 1 суток) 35⁰С (например, помещения с сушилками, сушильными и обжигательными печами, котельные и т.п.).

Необходимо помнить, что в жарких цехах (прокатных, литейных и др.) температура воздуха особенно в верхних зонах может достигать 50 и более ⁰С.

По санитарно – гигиеническим нормам в производственных помещениях с постоянно работающим персоналом температура окружающего воздуха должна поддерживаться в холодное время года 15-16 ⁰С, а в жаркие летние дни не должна превышать +35 ⁰С.

Помещения, в которых по условиям производства выделяется технологическая пыль в таком количестве, что она может оседать на проводах, проникать внутрь машин и аппаратов, затрудняя их работу – называются пыльными помещениями. В таких помещениях аппараты, приборы, оборудование устанавливаются в шкафах с уплотненными дверцами, шины, и др. элементы токопроводов должны быть закрыты сплошным кожухом.

Пыльные помещения могут быть с токопроводящей и не токопроводящей пылью.

Помещения, в которых постоянно или в течение длительного времени содержатся агрессивные пары, газы, жидкости, разрушающе действующие на изоляцию или токоведущие части электрооборудования – называются помещениями с химически активной средой. В таких помещениях рекомендуется применять кабели в защитной свинцовой оболочке, а провода прокладывать в пластмассовых трубах.

Помещения (зоны), в которых применяются или хранятся горючие вещества, не вызывающие взрыва при пожаре называются пожароопасными.

Пожароопасные зоны классифицируются:

П – зона с горючей жидкостью;

ПП – зона с горючей пылью, переходящей во взвешенное состояние;

ППа – зона с горючей пылью, не переходящей во взвешенное состояние (твердые горючие вещества);

ППП – зона вне помещений с горючими жидкостями или твердыми веществами.

Помещения, в которых имеются или могут образовываться взрывоопасные смеси, называются взрывоопасными помещениями (зонами). Различают две категории взрывоопасных зон:

В – со взрывоопасными газами или парами;

ВП – со взрывоопасными пылью или волокнами;

Причем:

В – зоны, взрывоопасные смеси в которых образуются при нормальных технологических режимах работы;

В_а, В_б – зоны, взрывоопасные смеси которых образуются в результате аварий и неисправностей. Различаются конкретными концентрациями и вероятностями появления взрыва (см. ПУЭ-86, Гл.7.3, стр. 550);

ВІа – более взрывоопасные по концентрации смеси, чем ВІб;
ВІг – взрывоопасные зоны у наружных установок;
ВІ – зоны, взрывоопасные смеси в которых образуются при нормальных технологических режимах работы;
ВІа – зоны, взрывоопасные смеси в которых образуются в результате аварий и неисправностей.

2.1.10 Категории исполнения электрооборудования в зависимости от места размещения

Промышленностью выпускается оборудование пяти категорий по размещению:

Категория 1 – изделия, предназначенные для работы на открытом воздухе;

Категория 2 – изделия, предназначенные для работы под навесом или в помещениях, где колебания температуры и влажности воздуха примерно такие же, как и на открытом воздухе (кузова, прицепы, палатки и т.д.);

Категория 3 – изделия, предназначенные для работы в закрытых помещениях с естественной вентиляцией без искусственного регулирования климатических условий;

Категория 4 – изделия, предназначенные для эксплуатации в помещениях с искусственно регулируемые климатическими условиями;

Категория 5 – изделия, предназначенные для применения в помещениях с повышенной влажностью (особо сырые).

Категории по размещению указываются в названиях или паспортных данных электротехнических изделий.

Например, РВ-10/1000 УЗ - 3(третья) категория размещения.

2.1.11 Климатическое исполнение электрооборудования

Электротехническая промышленность выпускает электрооборудование в различных климатических исполнениях.

Климатические исполнения могут быть:

- | | |
|-----|--------------------------|
| У | – умеренный; |
| УХЛ | – умеренный и холодный ; |
| ХЛ | – холодный; |
| ТВ | – тропический влажный; |
| ТС | – тропический сухой; |
| Т | – тропический; |

О	– любой климат на суше, кроме очень холодного;
М	– умеренно холодный морской;
ТМ	– тропический морской;
ОМ	– любой морской климат (как умеренно холодный, так и тропический);
В	– любой (все климатическое исполнение).

Конкретное климатическое исполнение определяется соответствующим климатом (температурой и влажностью) и пределами их изменения.

В нормативно-справочных материалах приведены значения этих параметров для конкретных климатических исполнений для каждой из пяти категорий исполнения по размещению электрооборудования.

В условиях климата РБ следует применять оборудование исполнения У и УХЛ.

Применение электрооборудования несоответствующего реальному климату может привести к увеличению затрат на сооружение и эксплуатацию СЭ и преждевременному выходу из строя ее отдельных элементов.

2.1.12 Степени защиты электрооборудования

Защита электрооборудования напряжением до 72,5 кВ от влияния окружающей среды осуществляется с помощью оболочки, которая, как правило, является корпусом изделия.

Степень защиты устанавливается ГОСТ 14 254 – 96 и обозначается буквами IP (начальные буквы английских слов International Protection) и двумя цифрами, характеризующими степень защиты персонала от прикосновения к токоведущим и движущимся частям электрооборудования, попадания через оболочку твердых посторонних тел и пыли (первая цифра), а также от проникновения воды (вторая цифра). Если для электротехнического изделия нет необходимости в одном из видов защит, то допускается в обозначении степени вместо соответствующей цифры проставлять знак *.

Первая цифра в обозначении может иметь следующие значения:

0 – специальная защита отсутствует;

1 – защита от прикосновения и попадания твердых тел размером (диаметр, толщина и ширина) 50 мм и более;

2 – защита от прикосновения пальцами и попадания твердых тел размером 12,5 мм и более;

3 – защита от проникновения внутрь оболочки тел размером 2,5 мм и более;

4 – защита от проникновения внутрь оболочки тел размером 1 мм и более;

5 – защита от пыли, предотвращающая проникновение ее внутрь оболочки в количестве достаточном для нарушения работы изделия;

6 – проникновение пыли полностью предотвращено;

Возможные значения второй цифры в условном обозначении степени защиты:

0 – специальная защита отсутствует;

1 – защита от капель воды, падающих на оболочку вертикально;

2 – защита от вертикально падающих капель при наклоне оболочки на угол до 15^0 относительно нормального расположения;

3 – защита от капель дождя;

4 – защита от брызг любого направления;

5 – защита от водяных струй любого направления;

6 – защита от сильного действия струй;

7 – изделия пригодны для непродолжительного погружения в воду;

8 – изделия пригодны для длительного погружения в воду при условиях установленных изготовителем.

Рекомендуются не все возможные комбинации степеней защиты от попадания твердых посторонних тел, пыли и воды.

Степени защиты указываются в паспортах электротехнических изделий. Для некоторых изделий эти данные содержатся в маркировке типа оборудования. Например, ШР11-73701-22У3, цифра 22 указывает степень защиты шкафа (IP22).

Рекомендуемые степени защиты:

Помещения, установки	Степень защиты
Наружные мещения)	- IP54(1 категория размещения)
IP20 (2 категория размещения)	
Административные	- IP30;

Электротехнические	– IP00;
Производственные с норм.средой	- IP20;
Влажные	- IP20;
Сырые	- IP44;
Особо сырые	– IP54;
С химически активной средой	– IP54;
Пыльные	– IP40;
Пожароопасные:	
- электр. машины, аппараты, приборы	– IP44;
- светильники	– IP53;
- взрывоопасные	– В, Н (повышенной надежности).

2.1.13 Особенность выполнения электрических сетей в пожароопасных зонах

В пожароопасных зонах (помещениях) необходимо устранять возможность появления электрической искры, а также повышение температуры выше допустимой.

Электрические машины, приборы и аппараты должны иметь степень защиты не менее IP44. Аппараты и приборы, устанавливаемые в шкафах, могут иметь меньшую степень защиты (в том числе и исполнение IP00), при условии, что шкафы имеют степень защиты не ниже IP44.

Силовые шкафы, щитки освещения, выключатели осветительных сетей рекомендуется выносить из пожароопасных зон, если это не вызывает существенного удорожания.

В пожароопасных зонах могут применяться любые источники света (ЛН, разрядные лампы высокого и низкого давления) в светильниках, имеющих степень защиты не менее:

IP53 для зон класса П I, П II;

IP23 для зон класса П IIa, П III.

Разрешаются все способы прокладки проводов и кабелей, не допускается применение проводов и кабелей с горючей изоляцией и (или) оболочкой. Применение проводов и кабелей с горючей полиэтиленовой изоляцией не допускается.

Допускается применение закрытых комплектных шинопроводов типа ШРП. Ответвительные и соединительные коробки должны иметь степень защиты не менее IP43. Для подъемно-транспортных механизмов в помещениях П2а, П3 допускается применение откры-

тых троллеев, в помещениях П1, П2 гибкий кабель с медными жилами и резиновой изоляцией и резиновой оболочкой (КРПТ).

Конкретные данные по устройству электроустановок в зависимости от пожароопасной зоны приведены – ПУЭ-86, Гл. 7.4, стр. 575-583.

2.1.14 Особенности выполнения электрических сетей во взрывоопасных зонах

Электрооборудование, электроаппараты, приборы и светильники должны быть взрывозащищенными.

Установка в таких зонах распределительных устройств до и выше 1кВ, ТП, ПП запрещается.

В помещениях классов ВІ и ВІа применение алюминиевых проводов и кабелей не допускается, т.к. при коротких замыканиях раскаленные частицы алюминия не охлаждаются воздухом, а продолжают гореть. Горячие частицы алюминия увеличивают опасность передачи взрыва. Проводки в этих помещениях могут быть выполнены медным проводом или кабелем.

В помещениях класса ВІб, ВІг, ВІІ, ВІІа допускается применение алюминиевые проводов и кабелей.

2.2 Защита электрических сетей

Основными защитами электроприемников и электрических сетей напряжением до 1кВ являются защиты от токов КЗ и перегрузки.

Защита от токов КЗ должна осуществляться для всех электрических сетей и электроприемников.

С точки зрения защиты электрические сети делятся на две группы:

- а) защищаемые от перегрузки и токов КЗ;
- б) защищаемые только от токов КЗ.

От перегрузки должны быть защищены следующие электрические сети:

- сети, выполненные открыто проводниками с горючей наружной оболочкой или изоляцией;
- осветительные сети в жилых и общественных зданиях, служебно-бытовых помещениях промышленных предприятий, включая сети бытовых и переносных электроприемников, а также в пожароопасных зонах;

- силовые сети, у которых по условиям технологического процесса может возникать длительная перегрузка проводников;
- всех видов во взрывоопасных зонах.

В качестве аппаратов защиты применяются автоматические выключатели, предохранители.

Для защиты электродвигателей от перегрузки и от токов, возникающих при обрыве одной из фаз, применяются также тепловые реле магнитных пускателей.

Для всех силовых электроприемников, не допускающих включение или работу при пониженном напряжении должна предусматриваться защита от понижения напряжения. Этот вид защиты обеспечивается магнитными пускателями, контакторами, расцепителями минимального напряжения автоматических выключателей.

Аппараты защиты электроприемников совместно с аппаратами управления их могут быть встроены в технологические механизмы, установлены около них или размещены в отдельных помещениях в шкафах управления.

Для защиты проводников электрической сети предохранители или автоматические выключатели встраиваются в распределительные щиты, шкафы, шинопроводы, коммутационно-защитные ящики и выбираются при проектировании систем электроснабжения. Для отдельных сантехнических установок (вентиляторов, насосов и т.п.), поставляемых без комплекта пускозащитной аппаратуры, защитные аппараты выбираются при проектировании электроснабжения и устанавливаются по месту.

Предохранители и автоматические выключатели должны устанавливаться непосредственно в местах присоединения защищаемых проводников к питающей линии. Допускается в случае необходимости принимать длину участка между питающей линией и аппаратом защиты ответвления до 6 м. Проводники на этом участке могут иметь сечение меньше, чем сечение питающей линии, но не менее сечения проводников после аппарата защиты.

Для ответвлений, выполняемых в труднодоступных местах, аппараты защиты допускается устанавливать на расстоянии до 30 м от точки присоединения. При этом сечение проводников ответвления должно быть не менее 10% допустимого тока питающей линии (магистральной), которая имеет свою защиту.

Установка предохранителей в нулевых рабочих проводниках запрещается. Расцепители автоматических выключателей в нулевых

проводниках допускается устанавливать лишь при условии, что при срабатывании отключаются от сети все проводники, находящиеся под напряжением.

Выбор аппаратов защиты (предохранителей, автоматов) выполняется с учетом следующих основных требований:

- номинальные ток и напряжение аппарата защиты должны соответствовать расчетному длительному току и напряжению электрической цепи;

- номинальные токи расцепителей автоматических выключателей и плавких вставок предохранителей необходимо выбирать по возможности меньшими по длительным расчетным токам с округлением до ближайшего большего стандартного значения;

- аппараты защиты не должны отключить установку при кратковременных перегрузках, возникающих в условиях нормальной работы, например, при пусках электродвигателей;

- время действия аппаратов защит должно быть по возможности меньшим; должна быть обеспечена селективность (избирательность) действия защиты при смежном (последовательном) расположении аппаратов защит в электрической сети;

- защитный аппарат (номинальный ток плавкой вставки, номинальный ток или ток срабатывания расцепителя автомата) должен быть согласован с допустимым током защищаемого проводника в соответствии с условием (2.8);

- аппараты защиты должны обеспечивать надежное отключение в конце защищаемого участка двух- и трехфазных КЗ при всех видах режима работы нейтрали сетей, а также однофазных КЗ в сетях с глухозаземленной нейтралью.

Надежное отключение токов КЗ в сети напряжением до 1кВ обеспечивается в том случае, если отношение наименьшего однофазного расчетного тока КЗ ($I_{КЗ}$) к номинальному току плавкой вставки предохранителя ($I_{н.вст}$) или расцепителя автоматического выключателя ($I_{н.р}$), будет не менее 3, а во взрывоопасных зонах соответственно:

$$\frac{I'_{КЗ}}{I_{н.вст.}} \geq 4; \quad \frac{I'_{КЗ}}{I_{н.р}} \geq 6. \quad (2.1)$$

При защите сетей автоматическими выключателями, имеющими только электромагнитный расцепитель (отсечку), для автоматов с номинальным током до 100А кратность тока КЗ относительно уставки

тока мгновенного срабатывания ($I_{\text{ср.р}}$) должна быть не менее 1,4, а для автоматов с номинальным током более 100А – не менее 1,25.

Однако в сетях, защищаемых только от токов КЗ (не требующих защиты от перегрузки), за исключением протяженных сетей, допускается не выполнять расчетной проверки кратности токов КЗ токами защитных аппаратов, если обеспечено условие в соответствии с выражением (2.8).

Номинальный ток плавкой вставки предохранителя выбирается по следующим условиям:

$$I_{\text{н.вст}} \geq I_{\text{р}}; \quad (2.2)$$

$$I_{\text{н.вст}} \geq \frac{I_{\text{н}}}{\alpha}, \quad (2.3)$$

где $I_{\text{р}}$ – расчетный ток, для одиночного электроприемника за расчетный ток принимается его номинальный ток $i_{\text{н}}$;

$I_{\text{н}}$ – максимальный пиковый (кратковременный) ток, для одиночного электроприемника это его пусковой ток $i_{\text{пуск}}$. α – коэффициент кратковременной тепловой перегрузки; $\alpha = 2,5$ – для легких пусков с длительностью пуска до 5с, а также при редких пусках (насосы, вентиляторы, станки и т.п.) и при защите магистрали; $\alpha = 2$ – для тяжелых условий пуска, а также при частых (более 15 раз в час) пусках (краны, дробилки, центрифуги и т.п.); $\alpha = 1,6$ – для ответственных электроприемников.

Номинальный ток плавкой вставки предохранителя, защищающего от ответвление к сварочному аппарату, выбирается из соотношения

$$I_{\text{н.вст}} \geq 1,2 i_{\text{н.с}} \sqrt{ПВ} \quad (2.4)$$

где $i_{\text{н.с}}$ – номинальный ток сварочного аппарата при паспортной продолжительности включения (ПВ).

Выбранные для электрической сети плавкие вставки должны обеспечивать также селективность (избирательность) срабатывания. Это означает, что при КЗ на каком либо участке сети должна перегореть плавкая вставка предохранителя этого поврежденного участка. Для обеспечения селективности срабатывания каждый предохранитель в сети по мере приближения к ИП должен иметь плавкую вставку не менее, чем на две ступени выше предыдущего.

Номинальный ток расцепителя автомата выбирается по длительному расчетному току линии:

$$I_{н.р} \geq I_p \quad (2.5)$$

Ток срабатывания (отсечки) электромагнитного или комбинированного расцепителя ($I_{ср.э}$) проверяется по пиковому кратковременному току линии:

$$I_{ср.э} \geq K_H I_n \quad (2.6)$$

где K_H – коэффициент надежности отстройки отсечки от пикового тока, принимается в зависимости от типа автомата. При отсутствии таких данных можно принять $K_H = 1,25$ – $1,5$.

Селективность между последовательно включенными автоматами обеспечивается разницей номинальных токов и расцепителей не менее, чем на одну ступень.

Номинальные токи тепловых реле выбирают по длительному расчетному току:

$$I_{н.т} \geq I_p \quad (2.7)$$

При КЗ в цепи защита (автоматический выключатель или предохранитель) – магнитный пускатель начинает одновременно срабатывать защитный аппарат и отключаться магнитный пускатель вследствие исчезновения напряжения на втягивающей катушке. Во избежание приваривания контактов пускателя раньше должна срабатывать защита. Такое селективное отключение обеспечивается большинством выключателей (АЗ100, АЗ700, ВА, АЕ и др.), имеющих малое время отключения.

При использовании предохранителя в качестве защитного аппарата, селективность между ним и магнитным пускателем обеспечивается, если продолжительность перегорания плавкой вставки не превышает 0,15 с. Плавкая вставка с минимальным током 200 А является предельной по условиям селективности работы контактора и предохранителя, при большем токе вместо предохранителей рекомендуется устанавливать автоматический выключатель.

3 РАСЧЕТ СЕТЕЙ ДО 1 КВ

Под расчетом электрических сетей понимается расчет и выбор защит, выбор сечений проводов, кабелей, шинопроводов, их марок и типов.

Выбор проводов, кабелей и шинопроводов

Провода, кабели и шинопроводы, выбранные в соответствии с условиями окружающей среды, должны выдерживать допустимый нагрев длительным расчетным током (I_p), и обуславливать потерю напряжения (ΔU), не превышающую допустимых значений ($\Delta U_{\text{доп}}$). Кроме того, выбранные сечения проводов и кабелей (их допустимый ток) должны быть согласованы с защитными аппаратами, защищающими эти проводники от токов перегрузки и токов короткого замыкания.

Сети, имеющие число часов использования максимума нагрузки (T_m) 5000ч и более (кроме ответвлений к отдельным электроприемникам и осветительных сетей) рассчитываются по экономической плотности тока. При этом допускается увеличивать экономическую плотность тока на 40% для изолированных проводников сечением 16 мм² и менее.

Минимальные сечения жил проводов и кабелей принимаются с учетом их механической прочности, но не менее сечений, указанных в документации на электротехнические изделия, к которым должны быть присоединены проводники.

Так, для проводников из алюминия при прокладке на изоляторах минимальное сечение принимается 4 мм², при других способах прокладки - 2 мм². Для меди минимальное сечение на ступень ниже.

Кроме этого, шинопроводы должны обладать электродинамической стойкостью к токам КЗ.

Сечения нулевого рабочего (N), защитного (PE) и совмещенного нулевого и защитного проводников:

Нулевой проводник N

- медь до 16мм² - одинаковое сечение с фазным проводником;
- алюминий до 25мм² - одинаковое сечение с фазным проводником; если более – не менее 50% сечения фазных проводников.

Совмещенный проводник

- медь- 10мм² и выше;
- алюминий – 16мм² и выше; сечение PEN- проводника должно быть не менее требуемого сечения N-проводника.

Защитный проводник РЕ- –

– до 16мм^2 фазного проводника - одинаковое сечение с фазным проводником;

Сечение $16 - 35\text{мм}^2$ фазного проводника - 16мм^2 ; при больших сечениях фазного проводника – не менее 50% сечения фазных проводников.

Выбор сечений проводов и кабелей по допустимому нагреву

При прохождении тока (I) в проводнике с активным сопротивлением R , согласно закону Джоуля-Ленца, за время t выделяется тепловая энергия Q ($Q=0,24I^2Rt$), которая расходуется на нагревание его. Как только температура проводника Θ превысит температуру окружающей среды $\Theta_{\text{ср.}}$, часть теплоты будет отдаваться в окружающую среду. Через время $(3...4)T_0$ (рис. 3.1) температура проводника достигнет установившегося значения $\Theta_{\text{уст.}}$, при котором вся выделяющаяся теплота отдается проводником в окружающую среду. Это состояние называется **тепловым равновесием**.

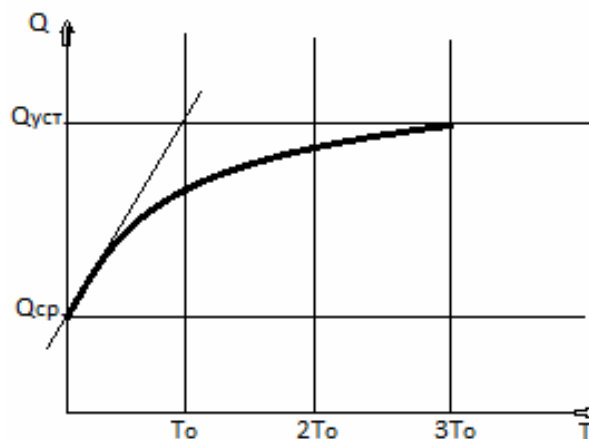


Рис. 3.1 - Кривая, характеризующая изменение температуры проводника во времени.

Нагрев проводника может изменять его физические свойства. Чрезмерный нагрев опасен для изоляции, вызывает перегрев контактных соединений, что может привести к пожару или взрыву.

Каждому значению тока, длительно проходящего по проводнику при заданных условиях охлаждения, соответствует определенное значение температуры нагрева проводника. Максимальная температура проводника, при которой изоляция проводника сохраняет диэлектрические свойства и обеспечивается надежная работа контактов, называется **предельно допустимой**, а наибольший ток, соответст-

вующий этой температуре, называется **длительно допустимым током** по нагреву.

Установлены три вида допустимых температур проводников:

$\Theta_{ж.н}$ – длительно допустимый нагрев жил проводника по нормам ($50 - 80^{\circ}\text{C}$ в зависимости от типа изоляции и напряжения);

$\Theta_{ж.п}$ – кратковременно допустимый нагрев при перегрузках ($75 - 125^{\circ}\text{C}$ в зависимости от типа изоляции и напряжения);

$\Theta_{ау.ж.м}$ – максимально допустимое превышение температуры жил проводника над температурой среды при токах КЗ ($125 - 300^{\circ}\text{C}$ в зависимости от типа изоляции, материала проводника и напряжения).

Установлена также температура окружающей среды по нормам $\Theta_{ср.н}$:

25°C – прокладка проводов, кабелей и шин в воздухе внутри и вне помещений в т.ч. прокладка кабелей в каналах и туннелях;

15°C – прокладка кабелей в земле – траншеях, воде.

Уравнение теплового баланса для проводника, обтекаемого током при превышении температуры жил по нормам имеет вид:

$$I_{\text{доп}}^2 \cdot R = k \cdot F(\Theta_{ж.н} - \Theta_{ср.н}), \quad (3.1)$$

где k – коэффициент теплоотдачи, $\text{Вт}/\text{см}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$;

F – поверхность охлаждения провода, см^2 .

Для выбора сечения проводника по условиям нагрева токами нагрузки сравниваются расчетный I_p и допустимый $I_{\text{доп}}$ токи проводника (проводов, кабелей и шин) принятой марки с учетом условий его прокладки.

Должно соблюдаться следующее соотношение:

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_p}{K_n}, \quad (3.2)$$

где I_p – расчетный ток длительного режима работы:

$I_p = i_n$ – для одиночного электроприемника длительного режима работы (i_n – номинальный ток);

$$I_p = \frac{i_{ПВ} \sqrt{ПВ}}{0,875} \quad - \quad \text{для электроприемника с повторно-}$$

кратковременным (ПКР) или кратковременным (КР) режимах работы с общей длительностью цикла до 10 мин и длительностью рабочего периода не более 4 мин ($ПВ \leq 0,4$), а также для КР с длительностью включения не более 4 мин и перерывами между включениями, доста-

точными для охлаждения проводников до температуры окружающей среды для алюминиевых проводников более 10 мм^2 (или допустимый ток умножается на коэффициент $\frac{0,875}{\sqrt{ПВ}}$). При длительности включения более 4 мин, а также при перерывах недостаточной длительности между включениями наибольшие допустимые токи следует принимать как для установок с длительным режимом работы;

0,875 – коэффициент запаса;

$ПВ$ – продолжительность включения в о.е.;

$i_{ПВ}$ – номинальный ток электроприемника ПКР работы;

$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_n}$ – расчетный ток группы электроприемников;

K_{Π} – поправочный коэффициент, корректирующий допустимый ток на температурные условия окружающей среды, в которой прокладывается проводник.

Во взрывоопасных помещениях сечения проводников для ответвлений к электродвигателям с короткозамкнутым ротором принимаются исходя из условия

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{1,25 \cdot i_n}{K_{\Pi}}. \quad (3.3)$$

Допустимые длительные токи для проводов и кабелей, проложенных в коробах, а также в лотках пучками, должны приниматься: для проводов – по таблицам ПУЭ.

Выбранный проводник согласовывается с защищаемым аппаратом:

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{K_3 \cdot I_3}{K_{\Pi}}, \quad (3.4)$$

где K_3 – коэффициент защиты, представляющий собой кратность длительно допустимого тока проводника к току защитного аппарата;

I_3 – ток защитного аппарата (номинальный ток плавкой вставки или расцепителя автомата или ток срабатывания защитного аппарата).
где K_{Π} – поправочный коэффициент, корректирующий допустимый ток на условия прокладки проводов и кабелей, зависящий от температуры земли и воздуха (табл.1.3.3 ПУЭ);

При выборе снижающих коэффициентов контрольные и резервные кабели и провода не учитываются.

Таблица 3.1

Минимально допустимые значения коэффициента защиты k_3

Ток защи- ты	Коэффициенты защиты			сетей, не требую- щих за- щиты от перегруз- ки (требу- ется толь- ко защита от токов КЗ)
	сетей, для которых защита от перегрузки обязательна			
	Проводники с резиновой и аналогич- ной по тепловым характеристикам изоляциям		Кабеля с бу- мажной изо- ляцией и с изоляциям из вулканизиро- ванного по- лиэтилена	
	Взрыво- и пожаро- опасные производ- ственные, служеб- но-бытовые поме- ще- ния(осветительные сети) независимо от рода проводника	Невзрыво- и непожароопас- ные помещения, например, про- вода АПР, ПР на роликах и изоляторах		
$I_{\text{ном. вст.}}$	1,25	1	1	0,33
$I_{\text{уст. э. о.}}$	1,25	1	1	0,22
$I_{\text{ном. р.}}$	1	1	1	1
нр. $I_{\text{сраб. рег.}}$	1	1	0,8	0,8

Выбор магистральных и распределительных шинопроводов по допустимому нагреву

Магистральные и распределительные шинопроводы выбирают в соответствии со следующим условием:

$$I_n \geq I_p, \quad (3.5)$$

где I_n – номинальный ток шинопровода;

I_p – расчетная нагрузка электроприемников, питающихся от шинопровода.

Для схемы блок-трансформатор-магистраль за расчетный ток (I_p) принимается номинальный ток трансформатора.

Распределительные шинопроводы выбирают по расчетному току наиболее загруженного плеча от точки присоединения питающей линии до конца шинопровода:

$$I_p = \frac{S_{\text{рш}} \cdot L_p}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot l_{\text{ш}}}, \quad (3.6)$$

где $S_{\text{рш}}$ – полная расчетная нагрузка распределительного шинопровода;

$L_{ш}$ – длина шинпровода;

l_p – длина наиболее протяженного плеча шинпровода.

При присоединении питающей линии в начале шинпровода:

$$L_p = L_{ш}.$$

Расчет электрических сетей по потере напряжения

Электрические сети, рассчитанные на нагрев, проверяют на потерю напряжения.

В соответствии с действующим ГОСТом, на выводах ЭП в нормальном режиме допускаются отклонения напряжения от номинального в пределах $\pm 5\%$, т.е. для того, чтобы электроприемники могли нормально работать и выполнять заложенные в них функции, напряжение на их выводах должно быть не менее $95\% U_n$ и не более $105\% U_n$.

Таким образом, выбранное сечение проводников должно соответствовать также условиям обеспечения электроприемников качественной электрической энергией.

Потери напряжения в элементах системы электроснабжения не нормируются. Однако, допускается учитывать, чтобы потери напряжения не превышали:

- в магистральном шинпроводе - 1,5-1,8%;
- в распределительном шинпроводе с равномерной нагрузкой - 2-2,5%;
- в сетях 0,38кВ (от ТП до ввода в здания) – 4-6%;
- в распределительных сетях 6-10 кВ - до 6%.

Напряжение на зажимах электроприемников определяется по формуле:

$$U_{эп} \% = U_{xx} \% - U_T \% - \Delta U_i \%, \quad (3.7)$$

где $U_{xx} \%$ – напряжение холостого хода, 105%;

ΔU_i – потеря напряжения в i -м элементе сети;

n – число элементов на пути от ТП до точки, в которой определяется $U_{эп}$;

$U_T \%$ - потеря напряжения в питающем трансформаторе, которая определяется по формуле:

В общем случае напряжение на зажимах электроприемника определяется по формуле:

$$U_{оп} \% = U_{xx} \% - \Delta U_T \% - \sum_{i=1}^n \Delta U_i. \quad (3.8)$$

где $U_{XX} \%$ – напряжение холостого хода трансформатора,
 $U_{XX} = 105\%$;

$\Delta U_T \%$ – потеря напряжения в питающем трансформаторе;
 $\Delta U_T \% = \beta_T (U_a \% \cos \varphi_T + U_p \% \sin \varphi_T),$ (3.9)

$\beta_T = \frac{S_p}{S_{HT}}$ – коэффициент загрузки трансформатора;

$U_a \% = \frac{100 \cdot \Delta P_{K3}}{S_{HT}}$ – активная составляющая напряжения КЗ трансформатора;

ΔP_{K3} – номинальные потери мощности КЗ трансформатора кВт;

$U_p \% = \sqrt{U_k^2 \% - U_a^2 \%}$ – реактивная составляющая напряжения КЗ трансформатора;

$U_k \%$ – напряжение КЗ трансформатора;

$\cos \varphi_T$ – коэффициент мощности нагрузки трансформатора;

S_{HT} – номинальная мощность трансформатора кВА;

$\Delta U_i \%$ – потеря напряжения в i -ом элементе сети

$$\Delta U_i \% = \sqrt{3} \cdot I_p L (z_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi) \frac{100}{U_H}; \quad (3.10)$$

$$\Delta U_i \% = \frac{PR + Qx}{U_H} \cdot \frac{100}{U_H} = \frac{Pz_0 L + Qx_0 L}{U_H^2} \cdot 10^2; \quad (3.11)$$

n – число элементов на пути от ТП до точки, в которой определяется $U_{ЭП} \%$.

Если напряжение на зажимах электроприемника меньше $95\% U_H$, то выбирают проводник (проводники) с сечением на одну ступень больше и повторяют проверочный расчет.

Электрические сети, в которых могут быть большие потери напряжения (протяженные сети силовых электроприемников, осветительные сети) рассчитываются по допустимой потере напряжения. При этом допустимая потеря напряжения определяется по формуле:

$$\Delta U_{\text{доп}} \% = U_{XX} \% - \Delta U_T \% - U_{\min} \% \quad (3.12)$$

$$\text{или } \Delta U_{\text{доп}} = 105\% - \Delta U_T \% - 95\% = 10 - \Delta U_T \% \quad (3.13)$$

Допустимую потерю напряжения от шин ТП до питающейся от нее сети можно рассчитать по формуле (3.9) или принять по таблице.

Зная допустимую потерю напряжения, сечение проводников магистрали постоянного тока или однофазной сети переменного тока

без учета ее индуктивного сопротивления можно определить по формуле:

$$F = \frac{2 \cdot 10^5 \sum_1^n p_i L_i}{\gamma \Delta U_{\text{дон}} \% U_H^2} = \frac{2 \cdot 10^5 \sum_1^n P_i l_i}{\gamma \Delta U_{\text{дон}} \% U_H^2}, \quad (3.14)$$

где γ – удельная проводимость материала, для алюминиевых проводов $34 \frac{\text{м}}{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}$, для медных $57 \frac{\text{м}}{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}$;

p_i, P_i – активные нагрузки, соответственно электроприемников (потребителей) и на участках сети магистральной схемы, кВт;

l_i, L_i – длины, соответственно участков сети магистральной схемы и расстояния от источника питания до электроприемников (потребителей), м.

Сечение проводников магистрали трехфазного переменного тока по заданной допустимой потере напряжения определяется в следующем порядке. В связи с тем, что погонное реактивное (индуктивное) сопротивление проводников на единицу длины x_0 в зависимости от сечения изменяется незначительно, то допускается для кабельных линий принимать $x_0 = 0,08 \text{ Ом/км}$, для воздушных линий – $x_0 = 0,4 \text{ Ом/км}$.

Тогда реактивную составляющую потери напряжения можно определить по формуле:

$$\Delta U_p \% = \frac{x_0 \sum_1^n Q l}{U_H^2} \cdot 10^5 = \frac{x_0 \sum_1^n q L}{U_H^2} \cdot 10^5, \quad (3.15)$$

где Q, q , квар; l, L , км; x_0 , Ом/км; U_H – линейное напряжение, В.

Активная составляющая потери напряжения рассчитывается по выражению:

$$\Delta U_a \% = \Delta U_{\text{дон}} \% - \Delta U_p \% \quad (3.16)$$

И наконец, сечение проводников магистрали определяется по формуле:

$$F = \frac{10^5 \sum_1^n P l}{\gamma \Delta U_a \% U_H^2} = \frac{10^5 \sum_1^n p L}{\gamma \Delta U_a \% U_H^2}, \quad (3.17)$$

где P, p , кВт; l, L , м; γ , м/Ом · мм²; U_H , В.

Расчет электрических сетей на отклонение напряжения

Расчет электрических сетей на отклонение напряжения выполняется по формуле:

$$\delta U_k \% = \delta U_1 \% + \sum_1^m E_i \% - \sum_1^n \Delta U_i \% \quad (3.18)$$

где $\delta U_k \%$ – отклонение напряжения в любой точке "к" сети;

$\delta U_1 \%$ – отклонение напряжения в центре питания для максимального и минимального режима;

$\sum_1^m E_i \%$ – алгебраическая сумма добавок напряжения в сети до точки "к", создаваемых цеховой трансформаторной подстанцией и устройствами регулирования;

m – число средств регулирования напряжения от центра питания до точки "к"

$\sum_1^n \Delta U_i$ – сумма потерь напряжения в элементах сети от центра питания до точки "к" при определенном режиме нагрузок (максимальном и минимальном).

При отсутствии необходимых данных о минимальном режиме допускается принимать ее в пределах 25...30% от максимального режима.

Трансформаторы цеховых ТП в зависимости от рабочего положения регулировочного ответвления создают следующие добавки напряжения:

Таблица 3.2

Добавки напряжения

Рабочее положение регулировочного ответвления, %	+5	+2,5	0	–2,5	–5
Добавка напряжения трансформатора, %	0	2,5	5	7,5	10

Если напряжение на зажимах электроприемника меньше 95% U_n , то выбирают проводник (проводники) большего на одну ступень сечения и расчетное сечение округляется до стандартного ближайшего большего сечения.

Расчет троллейных линий

Питание ЭД подъемно-транспортных механизмов (кранов, кранбалок) осуществляется с помощью троллейных линий, представляющих собой металлический профиль в виде стальной полосы, уголка или швеллера. Кроме того, посредством комплектных троллейных

шинопроводов, а также гибкого кабеля. Троллей размещаются вдоль подкрановых путей на специальных конструкциях. ЭЭ с троллейных линий снимается с помощью скользящих или катящихся токосъемов. Особенностью работы ЭД транспортных механизмов является то, что они работают с низким коэффициентом использования и низким коэффициентом мощности ($K_{и}, \cos\varphi = 0,45 \div 0,6$).

Расчет троллейных линий сводится к выбору размера стального профиля (уголок, полоса или швеллер) или типа троллейного шинопровода, удовлетворяющего условиям нагрева и допустимой потере напряжения в момент пика нагрузки.

Выбор по нагреву заключается в сравнении расчетного тока I_p с допустимым током профиля $I_{доп}$ или номинальным током шинопровода I_H :

$$I_{доп} \geq I_p; I_H \geq I_p \quad (3.19)$$

Расчетный ток по нагреву определяется по формуле:

$$I_p = \frac{\sqrt{(P_n \cdot K_{зо})^2 + (P_n \cdot K_{зо} \operatorname{tg}\varphi)^2}}{\sqrt{3}U_H} \quad (3.20)$$

где P_n – потребляемая активная мощность крановой установки при номинальной нагрузке;

$K_{зо}$ – коэффициент спроса для крановой установки, определяемый в зависимости от режима работы и эффективного числа электроприемников (рис. 3.2);

$\operatorname{tg}\varphi$ – среднее значение коэффициента реактивной мощности.

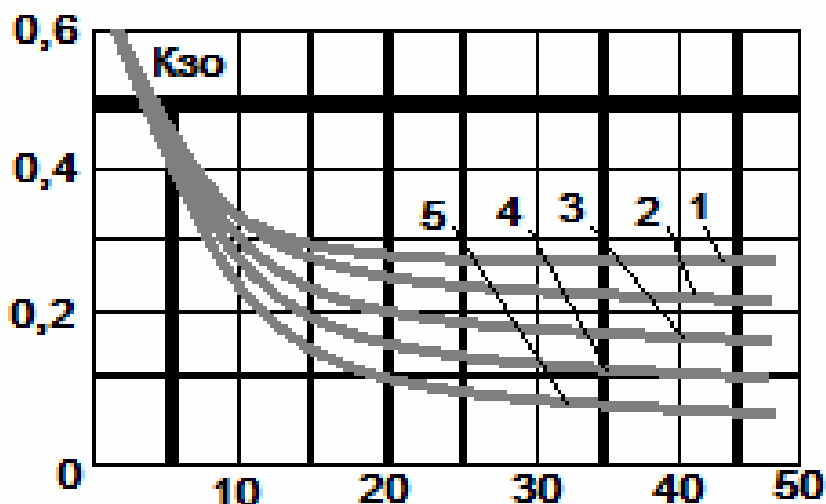


Рис. 3.2 – Коэффициент спроса для крановых установок, работающих в режиме: 1 – весьма тяжелом; 2 – тяжелом; 3 – среднем; 4 – легком; 5 – особо легком.

Величина потребляемой мощности определяется по следующей формуле:

$$P_n = \sum_{i=1}^n \frac{P_{Hi}}{\eta_{Hi}}, \quad (3.21)$$

где P_{Hi} и η_{Hi} – соответственно номинальная мощность при $PB = 100\%$ и коэффициент полезного действия i -го двигателя;

n – число электродвигателей крановой установки.

При $n \leq 3$ следует принимать $K_{30} = 1$.

Потеря напряжения в троллейной линии не должна превышать 6-7%. В троллейных шинопроводах ее определяют по формуле:

$$\Delta U\% = \frac{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot I_{\text{пик}}}{U_H} (R_{\text{ш}} \cos \varphi + X_{\text{ш}} \sin \varphi), \quad (3.22)$$

где $R_{\text{ш}}$, $X_{\text{ш}}$ – активное и индуктивное сопротивления расчетного участка шинопровода – от точки присоединения питающей линии до наиболее удаленного конца;

$I_{\text{пик}}$ – пиковый ток группы крановых электродвигателей, определяется по выражению:

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{п.макс}} + (I_p - i_{H.\text{макс}}), \quad (3.23)$$

где $I_{\text{п.макс}}$ – наибольший из пусковых токов электродвигателей в группе;

$i_{H.\text{макс}}$ – номинальный ток двигателя с наибольшим пусковым током.

Расчет потерь напряжения в стальных крановых троллеях может выполняться также по следующей формуле:

$$\Delta U\% = m \cdot l \quad (3.24)$$

где m – удельная потеря напряжения, принимаемая в зависимости от максимальной величины пикового тока, %/м;

l – длина участка троллейной линии от точки присоединения питающей линии до наиболее удаленного конца, м.

При питании от одной троллейной линии двух кранов длину расчетного участка l умножают на 0,8; трех кранов – на 0,7, учитывая малую вероятность работы кранов в конце линии.

Напряжение на зажимах электродвигателей крана при всех режимах работы должно быть не ниже 85% номинального.

4 СХЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Чтобы обеспечить ЭЭ промышленное предприятие, требуется присоединить это предприятие к сетям энергосистемы с последующим распределением электроэнергии внутри предприятия и по отдельным его подразделениям.

Все сети электроснабжения классифицируются :

А) сети внешнего электроснабжения – от места присоединения к энергосистеме до приемных пунктов на предприятии (ГПП, РП);

Б) сети внутреннего электроснабжения – внутризаводские, междоцеховые и внутрицеховые.

Принципы построения системы электроснабжения:

1. Источники высшего напряжения максимально приближаются к потребителям электроэнергии, а прием ее рассредоточивается по нескольким пунктам на территории предприятия.

2. Выбор элементов схемы осуществляется из условия их постоянной работы под нагрузкой. При таком режиме работы схемы повышается надежность электроснабжения и уменьшается потери электроснабжения.

3.Предусматривается раздельная работа параллельных цепей схемы (ЛЭП, трансформаторов и т.д.), что обуславливает меньшие токи короткого замыкания;

4. Применение глубокого секционирования на всех уровнях системы электроснабжения;

5. возможность выполнения монтажа индустриальным методом (сборка узлами);

6. Предусмотреть установку технического учета электроэнергии.

Характерные сети внешнего электроснабжения:

1. Питание осуществляется от энергосистемы без собственных электростанций (рис.4.1)

Схема радиального питания – когда напряжение сети внешнего электроснабжения совпадает с высшим напряжением сети на территории внутри предприятия. Такие схемы характерны на напряжение 6–10 кВ.

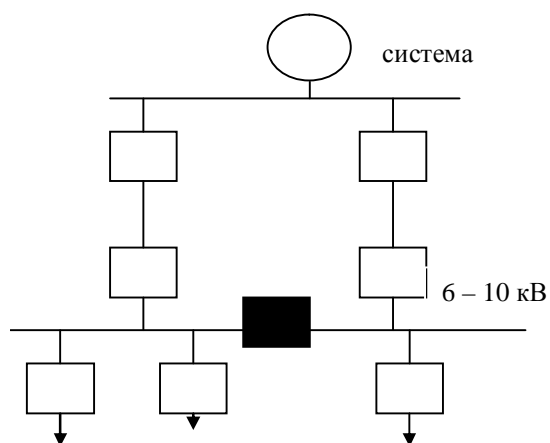


Рис. 4.1 – Схема радиального питания

Схема «глубокого ввода» – на напряжение 110 – 330 кВ, когда напряжение от энергосистемы без трансформации вводится на территорию предприятия (рис.4.2).

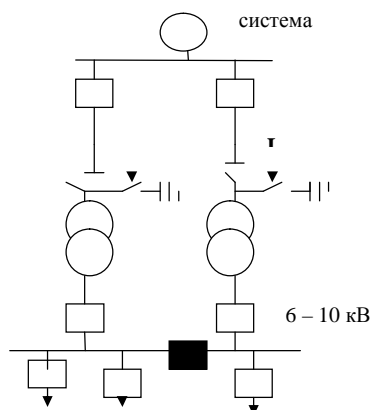


Рис. 4.2 – Схема «глубокого ввода»

2. Питание осуществляется от энергосистемы при наличии на промышленном предприятии собственной электростанции (рис. 4.3).

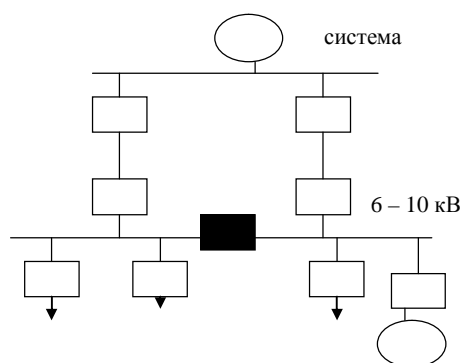


Рис. 4.3 – Схема электроснабжения промышленного предприятия при наличии собственного источника ЭС.

3. Питание осуществляется только от собственной электростанции на промышленном предприятии (рис. 4.4)

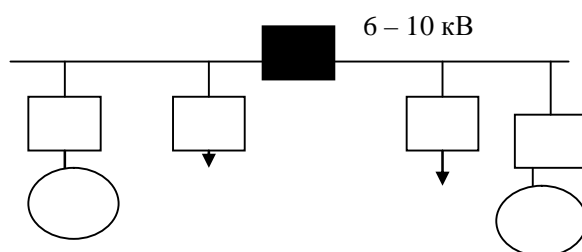


Рис. 4.4 – Схема электроснабжения промышленного предприятия только от собственного источника ЭС

Такие схемы в настоящее время встречаются очень редко, так как применяются для предприятий, удаленных от сетей энергосистем.

В настоящее время, когда идет тенденция к установке турбогенераторных и когенерационных установок, актуальной становится вторая схема электроснабжения предприятий.

Применение глубоких вводов

Под глубоким вводом понимается система электроснабжения с максимальным приближением высшего напряжения к электроустановкам потребителей при минимальном числе степеней промежуточной трансформации.

Линии глубоких вводов представляют собой радиальные кабельные или воздушные линии электропередачи или магистрали с ответвлениями к наиболее крупным пунктам потребления электроэнергии.

Глубокие вводы на предприятиях выполняются по двум схемам:

– магистральные воздушные линии, питающие несколько разукрупненных ПГВ 110-220кВ с применением отделителей и короткозамыкателей;

Магистральные глубокие вводы (рис. 4.5) применяются на предприятиях с нормальной и малозагрязненной окружающей средой в тех случаях, когда ВЛ удастся провести по территории предприятия и разместить вблизи групп потребителей. Нецелесообразно присоединять к одной магистрали 110-220 кВ более четырех ПГВ при мощности трансформаторов до 16-25 кВА и более двух-трех подстанций с трансформаторами большей мощности.

Радиальные кабельные или воздушные линии, питающие ПГВ по схеме блока линия – трансформатор.

Радиальные глубокие вводы (рис. 4.6) преимущественно применяются при загрязненной окружающей среде.

Магистральные схемы дешевле радиальных, но надежность их несколько ниже.

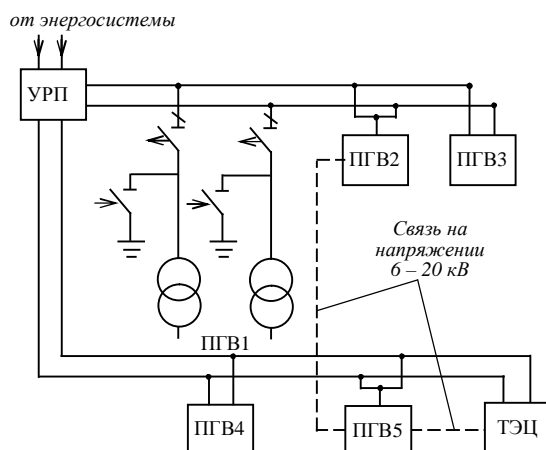


Рис. 4.5 – Магистральная схема электроснабжения при системе глубоких вводов 110-220кВ

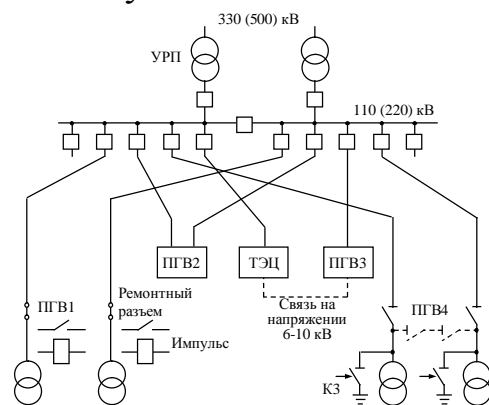


Рис. 4.6 – Радиальная схема электроснабжения при системе глубоких вводов 110-220кВ

Схемы внутриводского электроснабжения и требования, предъявляемые к ним

Радиальная схема электроснабжения – это когда передача электроэнергии от источника питания к электроприемникам или цеховым ТП передается прямо к цеховой подстанции, без ответвлений для питания других потребителей. Применяются в основном, для достаточно мощных потребителей

а) резервной перемычкой на стороне высшего напряжения между ближайшими ТП (рис. 5.1б) ;

При этом рабочая и резервная линия с двух сторон присоединяется через собственные разъединители (рис.5.1), резервной магистралью высокого напряжения (рис.5.1а), резервной кабельной перемычкой на стороне низшего напряжения между соседними ТП или шинными магистралями цехового электроснабжения (рис.6.5г)

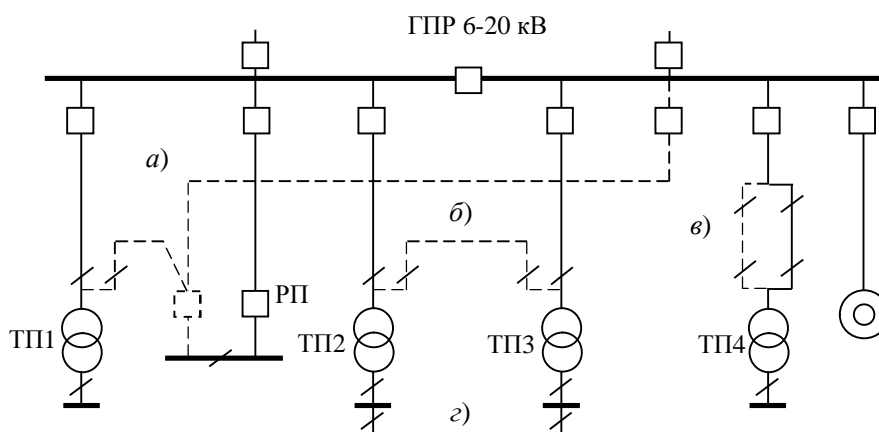


Рис. 5.1 – Схема радиального питания: *а* – резервная магистраль высокого напряжения; *б* – резервная связь на стороне высшего напряжения между ТП; *в* – резервная линия высокого напряжения; *г* – резервная связь на стороне до 1 кВ между ТП или токопроводами

Резервные перемычки, магистрали в нормальных условиях работы должны находиться без нагрузки, т.е. включенными с одной стороны.

Магистральная схема электроснабжения – это электрическая сеть, в которой поочередно запитываются подстанции или электроприемники. Магистральные схемы применяются в том случае, когда потребителей достаточно много и радиальные схемы явно нецелесообразны.

Основные преимущества магистральных схем:

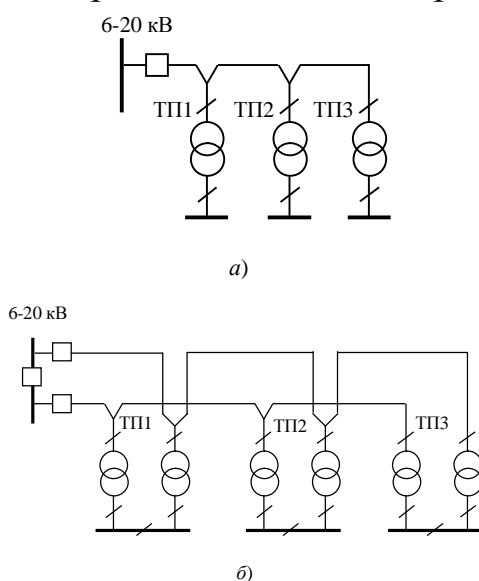
– лучшая загрузка при нормальном режиме работы кабелей, сечение которых было выбрано по экономической плотности тока, по току короткого замыкания или по послеаварийному режиму;

Использование меньшего количества шкафов источника питания, так как к одной магистральной линии присоединяются несколько подстанций;

Лучшие возможности выполнения резервирования цеховых ТП или РП от других независимых источников в случае аварии на основном питающем пункте.

Основные магистральные схемы электроснабжения приведены на рисунке 5.2.

Одноточная схема электроснабжения характеризуется пониженной надежностью, но позволяет уменьшить количество высоковольтных аппаратов и сократить расход кабелей. К магистрали рекомендуется подключать 2 -3 трансформатора мощностью 1000-2500 ВА или 4-5 мощностью 250-630 кВА. Такие схемы применяются для электроснабжения потребителей III категории.



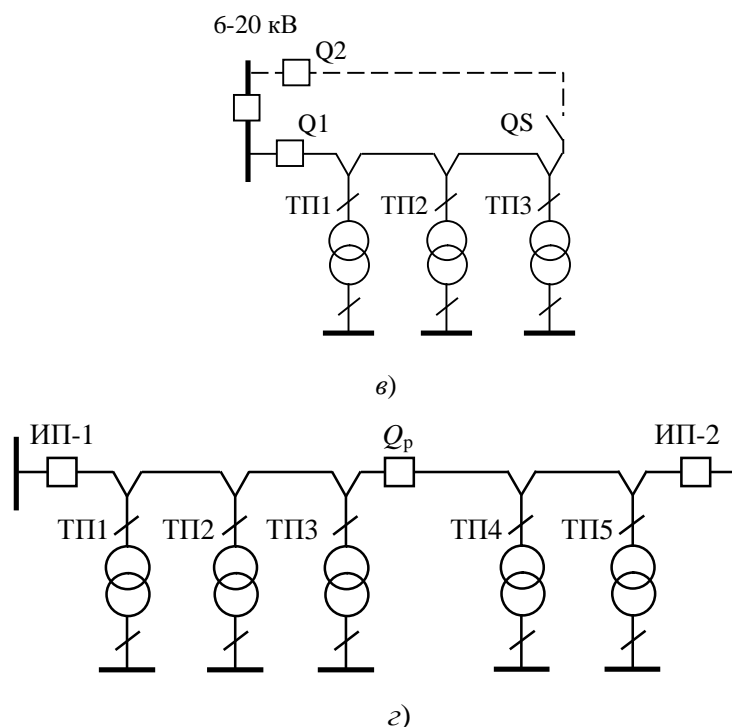


Рис. 5.2 – Магистральные схемы внутризаводского электроснабжения: а – однониточная магистральная схема; б – схема двойной сквозной магистрали; в – однониточная магистральная схема с резервной перемычкой; г – магистральная схема с двухсторонним питанием

Для обеспечения повышенной надежности применяется схема двойная сквозная магистраль. По такой схеме в случае повреждения одной магистрали питание обеспечивается по второй магистрали путем ручного или автоматического подключения. Такая схема позволяет питать потребителей любой категории надежности.

При магистральной схеме с резервной перемычкой в нормальном рабочем режиме оба выключателя Q1 и Q2 включены, а разъединитель QS отключен. Резервная перемычка находится под напряжением для контроля состояния изоляции. При авариях отключается выключатель Q1 и поврежденный участок питается через разъединитель и выключатель Q2. По этой схеме возможно питание потребителей III и II категорий.

При необходимости питания потребителей от двух независимых источников и при расположении цеховых ТП между источниками питания применяют магистральные схемы с двухсторонним питанием.

В практике проектирования и эксплуатации радиальные и магистральные схемы в чистом виде встречаются крайне редко. Обычно

крупные и ответственные потребители питаются по радиальной схеме, а средние и мелкие потребители группируются и питаются по магистральной схеме.

Такие схемы называются схемами смешанного питания.

Требования, предъявляемые к схемам электроснабжения.

Схемы электроснабжения промышленных предприятий должны удовлетворять следующим требованиям:

- удобство и безопасности в эксплуатации;
- требования надежности в нормальном и послеаварийном режимах, обусловленные категоричностью электроприемников;
- обеспечение электроэнергией требуемого качества;
- экономичности по капитальным вложениям;
- экономичности по эксплуатационным расходам;
- экономичности по потерям электроэнергии;
- повышающейся надежности электроснабжения при движении «снизу – вверх» по уровням системы электроснабжения

Электрические схемы цеховых трансформаторных подстанций

В большинстве случаев цеховые трансформаторные подстанции (ЦТП) выполняются без распределительных устройств на высшем напряжении. Исключение составляют схемы присоединения высоковольтных электроприемников к ЦТП (по высокой стороне) и в этих случаях распределительные устройства организовываются по упрощенным схемам (одинарная секционированная или не секционированная система шин).

Рассмотрим схемы цеховых подстанций на примере однотрансформаторных подстанций.

Наиболее простыми и распространенными являются однотрансформаторные ТП без распределительного устройства на стороне высшего напряжения. Трансформатор с линией 6-20кВ соединяется по принципу блок линия-трансформатор. Это схема глухого присоединения трансформатора к распределительной сети предприятия.(рис.5.3).

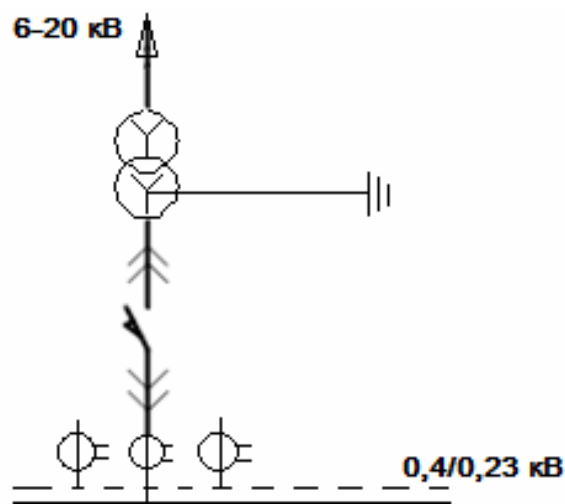


Рис. 5.3 - Схема глухого присоединения трансформатора к распределительной сети предприятия

Такое присоединение возможно, когда подстанция питается радиальными кабельными линиями относительно небольшой протяженностью (до 1 км). Установка коммутационных аппаратов на высокой стороне целесообразна в следующих случаях:

- когда ИП, от которого питается ТП находится в ведении другой организации;
- если ТП находится на значительном расстоянии от ИП (от 1 и более км);
- если отключающий аппарат нужен по условиям защиты, например, для воздействия газовой защиты на выключатель нагрузки (если источник питания удален от ТП на расстоянии более 200 м, в этом случае необходима прокладка не экономичной длины контрольного кабеля для передачи отключающего импульса на выключатель, установленный в начале линии);
- при питании от воздушной линии (это вызвано спецификой обслуживания и надежностью ВЛЭП);
- практически во всех случаях при магистральных схемах соединения ТП. Глухое присоединение трансформатора к магистрали применяется редко, т. к. повреждение в нем при такой схеме приведет к отключению всей магистрали выключателем на головном участке. Глухое присоединение допустимо, и иногда, применяется на двухтрансформаторных подстанциях в тех случаях, когда при отключении одной магистрали обеспечивается питание по другой параллельной магистрали, питающей вторые трансформаторы на подстанциях.

На вторичной стороне ЦТП в качестве защитных аппаратов устанавливаются автоматические выключатели или предохранители с рубильниками или в виде блоков. В каждой фазе со стороны вторичного напряжения устанавливаются трансформаторы тока для подключения измерительных приборов и приборов учета с целью контроля за нагрузкой и расходом электроэнергии.

Присоединение трансформатора через разъединитель (рис.5.4)

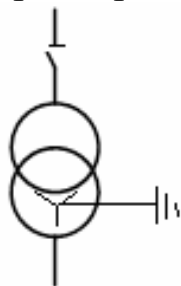


Рис. 5.4 – Схема присоединения трансформатора через разъединитель

Применяется в тех случаях, когда имеется необходимость и возможность отключения трансформатора на холостом ходу.

Часто применяется при магистральных схемах питания ЦТП. Разъединителем можно отключать на холостом ходу трансформатор мощностью 630 и менее кВА. Автоматический выключатель на низком напряжении служит защитным и коммутационным аппаратом. Чтобы отключить трансформатор необходимо автоматом снять нагрузку и затем разомкнуть цепь разъединителем.

Присоединение трансформатора через разъединитель с предохранителем (рис. 5.5)

Применяется тогда, когда ТП удалена от ИП и для защиты от токов КЗ трансформатора на высокой стороне устанавливаются предохранители.

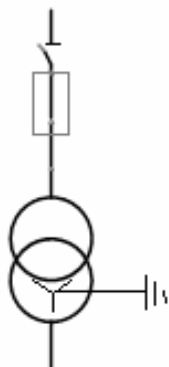


Рис. 5.5 – Схема присоединения трансформатора через разъединитель с предохранителем

Разъединитель здесь также служит для включения и отключения трансформатора при отключенной нагрузке Предохранители типа ПК могут быть установлены при мощности КЗ на $U=6-10\text{кВ}$ не превышающей 200мВА. К достоинствам следует отнести простоту схемы, и следовательно, небольшую стоимость. При необходимости отключения трансформатора ТП под нагрузкой, на стороне высшего напряжения в ТП устанавливается выключатель нагрузки без предохранителей (рис. 5.6) или с предохранителями (рис 5.7 а, б).

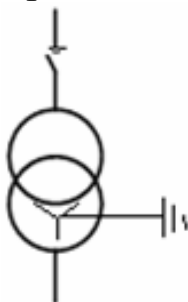


Рис. 5.6 – Схема присоединения трансформатора через выключатель нагрузки

При необходимости защиты ТП от токов КЗ со стороны высшего напряжения трансформатора устанавливается выключатель нагрузки с предохранителями. С помощью плавкого предохранителя происходит селективное отключение поврежденного ТП.

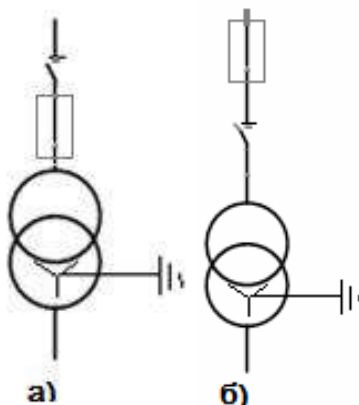


Рис. 5.7 – Схемы присоединения трансформатора через выключатель нагрузки с предохранителями.

По сравнению со схемой 5.7а схема б имеет некоторые преимущества:

- расположенный выше предохранитель при оперативных переключениях выключателем нагрузки локализует место аварии, повреждения;

- удобно выполнять ревизию и ремонт выключателя нагрузки при снятом напряжении;
- сам выключатель нагрузки может быть выбран на меньшее значение токов КЗ.

Недостаток этой схемы: предохранители меняются под напряжением.

Выключатели нагрузки с предохранителями могут быть применены для трансформаторов до 1000кВА включительно.

В случае, если мощность КЗ более 200...300 МВА и при необходимости отключения трансформатора под нагрузкой применяют схемы цеховых ТП с масляными или вакуумными выключателями на стороне высшего напряжения (рис. 5.6). Вместе с выключателями на стороне высшего напряжения устанавливаются в двух крайних фазах измерительные трансформаторы тока (по схеме неполная звезда) и напряжения (2 НОМа по схеме открытый треугольник, это дает возможность иметь все три напряжения). Они используются как для питания цепей РЗ, так и для подключения контрольно-измерительных приборов.

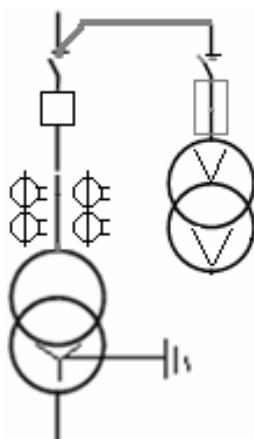


Рис. 5.8 – Схема присоединения трансформатора через масляный или вакуумный высоковольтный выключатель

Последние пять схем цеховых ТП используются обычно при магистральных схемах распределительных сетей 6-20кВ.

Для питания ответственных потребителей первой и второй категорий надежности или когда величина нагрузки ориентировочно более 1000кВА применяют двухтрансформаторные ТП (рис.5.9). Со стороны высшего напряжения, они также, как правило, не имеют РУ, если к этим подстанциям не присоединяются электроприемники на напряжении выше 1кВ. Для таких ТП может быть использована любая из рассмотренных выше схем.

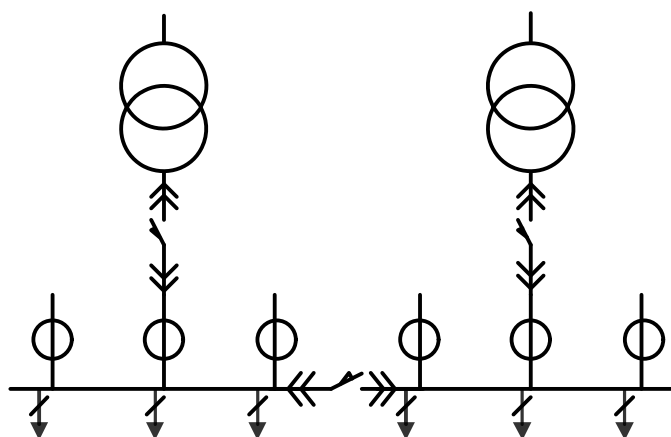


Рис. 5.9 – Глухое присоединение двухтрансформаторной ТП к электрической сети

Например, при радиальных линиях распределительных сетей широко используется глухое присоединение ЛЭП к ТП.

При магистральных схемах распределительных сетей 6-20кВ на вводах в ТП устанавливаются выключатели нагрузки, что позволяет селективно отключать поврежденный трансформатор. Глухое присоединение в этом случае (магистр. схемы) применяется редко.

Со стороны вторичного напряжения секции сборных шин 0,4/0,23 кВ обычно работают раздельно (для уменьшения токов КЗ). В ряде случаев применяется все же параллельная работа на двухтрансформаторных ТП (питание сварочной нагрузки, запуск мощных электродвигателей). На секционном автомате может быть установлен АВР (в основном на предприятиях непрерывного технологического процесса). Секционный автоматический выключатель (номинальный ток расцепителя автомата) выбирается на одну ступень меньше, чем вводной автомат.

Присоединение трансформаторов к сборным шинам распределительных устройств НН может быть выполнено по схемам, приведенным на рис. 5.10.

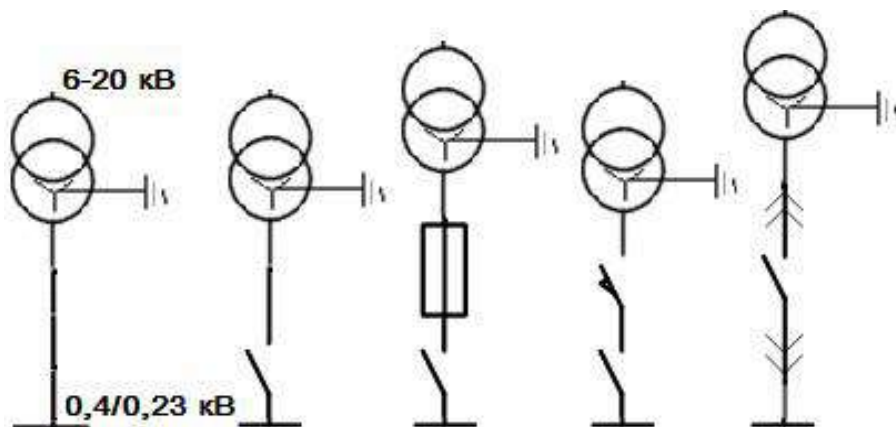


Рис. 5.10 – Схемы присоединения трансформатора к сборным шинам ТП

Линейные присоединения ТП выполняется по схемам, представленным на рис 5.11.

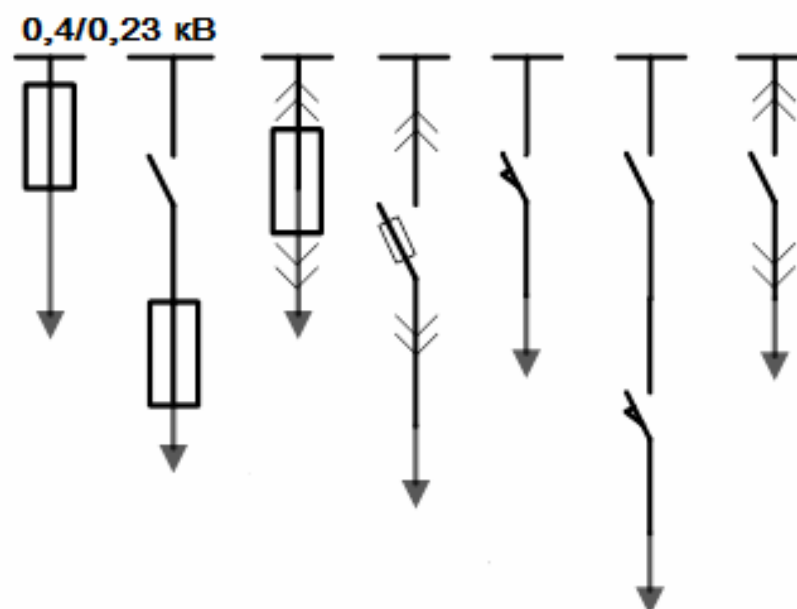


Рис. 5.11 – Схемы линейных присоединений к РУ низкого напряжения ТП

Скомпоновав рассмотренные выше схемы можно применить необходимый вариант для конкретного случая электроснабжения потребителей, отвечающий конкретным требованиям.

6 ЦЕХОВЫЕ ТРАНСФОРМАТОРНЫЕ ПОДСТАНЦИИ

6.1 Общая классификация подстанций

Подстанции промышленных предприятий служат для приема, преобразования и распределения или для приема и распределения электроэнергии. Могут быть и комбинированные варианты подстанций – с частичной трансформацией электроэнергии. И, в общем случае, в зависимости от мощности и назначения классифицируются следующим образом:

- узловые распределительные подстанции (УРП) 110-500кВ. Они получают электроэнергию от энергосистемы и распределяют ее (без трансформации или с частичной трансформацией) по линиям глубоких вводов 35-220кВ;

- главные понизительные подстанции ГПП 110–220/6–20 кВ;

- подстанции глубоких вводов ПГВ (разукрупненные ГПП) 35/0,4 кВ 110-220/6-10кВ;

- распределительные подстанции (пункты) РП. Получают электроэнергию и без трансформации ее распределяют по предприятию. Могут быть главными (ГРП) или центральными (ЦРП) и промежуточными (РП);

- цеховые трансформаторные подстанции ТП 6–20 кВ/0,66–0,23 кВ;

- преобразовательные подстанции – служат для преобразования переменного тока в постоянный или наоборот, а также для преобразования энергии одной частоты в другую.

6.2 Конструктивное исполнение и компоновка распределительных пунктов и трансформаторных подстанций

Подстанции в общем случае состоят из трех частей – распределительных устройств низкого и высокого напряжений, трансформатора (преобразователя). Наличие на подстанции всех трех составных частей не является обязательным.

В зависимости от места размещения оборудования на подстанции их распределительные устройства бывают открытыми (ОРУ) или закрытыми (ЗРУ).

Цеховые ТП предназначены для приема ЭЭ на напряжение 6, 10, 20 реже 35 кВ, трансформирования ее в энергию более низкого напряжения (до 1кВ) и распределения ее между ЭП и потребителями.

На цеховых подстанциях применяются двухобмоточные трехфазные трансформаторы с первичным напряжением 6-20 кВ (иногда 35 кВ) и со вторичным напряжением 380 или 660 В.

Номинальные мощности этих трансформаторов составляют:

100, 160, 250, 400, 630, 1000, 1600, 2500 кВА.

Это трансформаторы с естественным охлаждением:

- масляные ТМ,
- совтоловые ТН (негорючая жидкость),
- сухие ТС.

Трансформаторы могут выполняться открытого исполнения или закрытого исполнения (ТМЗ). У трансформаторов закрытого типа изоляторы закрыты кожухом с азотной подушкой для масла под небольшим избыточным давлением. Такие трансформаторы предназначены для комплектных трансформаторных подстанций (КТП). Самые дешевые – масляные, но они взрывопожароопасны. Самые дорогие – сухие трансформаторы в 2-4 раза дороже масляных.

Маркировка: ТМ – 1000/10;

ТМЗ – 1000/10;

ТНЗ – 1000/10;

ТС – 630/10.

Для цеховых ТП наибольшее распространение получили следующие схемы и группы соединения силовых трансформаторов:

звезда – звезда с выведенной нейтралью- Y/Y^0 - 0(12);

треугольник – звезда с выведенной нейтралью- Δ/Y^0 - 11;

звезда – треугольник- Y/Δ - 11 .

Из них звезда – звезда и треугольник – звезда с выведенными нейтральями используются чаще, что позволяет осуществлять питание от общего трансформатора как силовой нагрузки на линейном напряжении, так и осветительной на фазном напряжении.

Основными характеристиками трансформаторов, которые необходимо учитывать при их выборе и в процессе их эксплуатации являются:

- номинальная мощность $S_{нт}$, (кВА);
- номинальное высшее и низшее напряжения $U_{вн}$ $U_{нн}$;
- потери холостого хода и короткого замыкания:
 $\Delta P_{xx}=0,1...6$ кВт;
 $\Delta P_{кз}=0,6...25$ кВт;
- напряжение КЗ, $U_{кз} = 4,5...5,5\%$;
- ток ХХ, $I_{xx} = 2,0...2,5\%$;

- перегрузочная способность

Перегрузочная способность трансформаторов имеет исключительно важное значение при выборе его мощности для длительного режима работы.

Учитываются следующие обстоятельства:

- на большинстве предприятий нагрузка трансформаторов изменяется и в течение продолжительного времени остается ниже номинальной;

- значительная часть трансформаторов выбирается с учетом послеаварийного режима и поэтому нормально они остаются длительное время недогруженными;

- кроме того силовые трансформаторы рассчитываются на работу при допустимой температуре окружающей среды, равной до +40 °С, а в действительности они работают в обычных условиях до 20-30 °С;

- ошибка при определении расчетной нагрузки в сторону завышения ее величины.

В связи с вышеизложенными обстоятельствами силовые трансформаторы без всякого ущерба для установленного им срока службы (20-25 лет) могут быть перегружены.

В соответствии с существующей нормативной документацией эти перегрузки подразделяются на систематические (нормальные) и послеаварийные.

Максимальные допустимые значения систематических нагрузок 1,5; послеаварийных перегрузок 2,0.

Систематические перегрузки могут быть меньше номинальной мощности трансформатора, поэтому в нормативных документах их часто называют систематической нагрузкой.

Систематические нагрузки и аварийные перегрузки в настоящее время регламентируются ГОСТ 14209-85 и ГОСТ 14029-97 для силовых масляных трансформаторов общего назначения мощностью до 100 МВА включительно с видами охлаждения М, Д, ДЦ, и Ц и с учетом температуры охлаждающей среды.

Эквивалентная температура охлаждающей среды – это такая условно постоянная за принятое время температура, при которой износ витковой изоляции обмотки равен износу ее за такое же время, но при изменяющейся температуре охлаждающей среды.

Средняя годовая температура для Гомеля составляет 10,4 °С;

зимняя – 5,8 °С;

летняя – 17,7 °С (по данным приложения ГОСТ 14209-85).

Соответственно допустимая систематическая нагрузка при продолжительности ее 6 часов в сутки для Гомеля составит:

годовая – $K_2=1,2 \dots 1,33$;

зимняя – $K_2=1,35 \dots 1,45$;

летняя – $K_2=1,0 \dots 1,25$.

Аварийная перегрузка. Ранее аварийная перегрузка определялась как 40% величина перегрузки трансформаторов в течении пяти дней в течение 6 часов каждый день и при коэффициенте заполнения графика не выше 0,75. В настоящее время в соответствии с действующим ГОСТом коэффициент аварийной перегрузки определяется в зависимости от системы охлаждения трансформаторов, температуры окружающей среды в момент аварии, величины предшествующей нагрузки K_1 и продолжительности аварийной перегрузки.

Допустимые аварийные перегрузки трансформаторов при выборе их номинальной мощности для промышленных подстанций при предшествующей нагрузке не превышающей 0,8:

– для г. Гомеля величина аварийной перегрузки масляных силовых трансформаторов составит:

годовая +10,4 °С, $K_2=1,5$

зимняя – 5,8 °С, $K_2=1,55 \dots 1,6$;

летняя +17,7 °С, $K_2=1,4$.

– для продолжительности перегрузки 6ч.(таблица 2 приложения ГОСТ 14209-85).

Кроме требований, предъявляемых к трансформатору при нормальном и аварийных режимах работы, он должен выдержать без повреждений установившийся ток $KЗ$, не превышающий $25I_n$ при замыкании на зажимах вторичной обмотки. При этом длительность протекания тока $KЗ$ не должна превышать 5сек.

Типовые компоновки цеховых ТП

В зависимости от места расположения ЦТП может быть: внутрицеховой (рис.6.1(1); встроенной (рис.6.1(2); пристроенной (рис.6.1(3); с наружной установкой трансформаторов (рис.6.1(4); отдельно стоящей (рис.6.1(5).

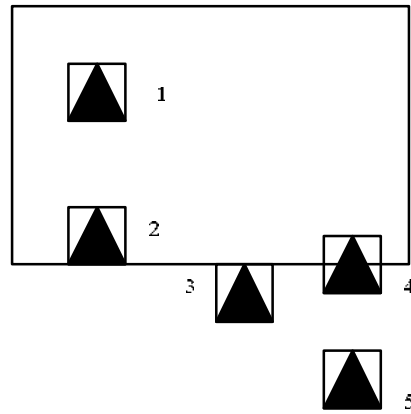


Рис. 6.1 – Места размещения цеховых трансформаторных подстанций (1-внутрицеховая, 2-встроенная, 3-пристроенная, 4 – с наружной установкой трансформаторов, 5-отдельно стоящая)

В качестве *внутрицеховых* ТП на действующих предприятиях в основном применяются КТП с легким сетчатым ограждением. Компоновочные решения таких подстанций приведены на рис.6.2, рис.6.3, 6.4.

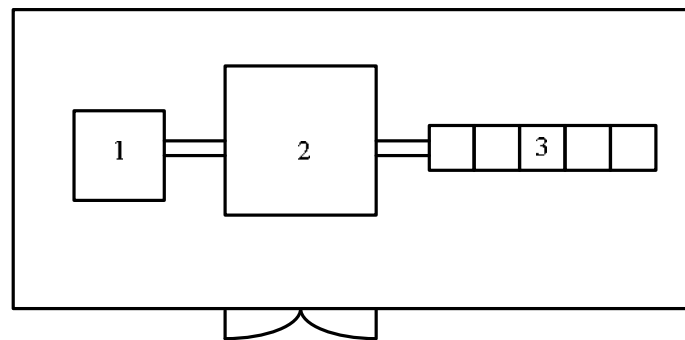


Рис. 6.2 – Компоновочное расположение однитрансформаторной подстанции (1 – вводной шкаф, вводное устройство, представляющее собой металлический шкаф; 2 – трансформатор; 3 – распределительное устройство до 1 кВ).

Двухтрансформаторные КТП в зависимости от конфигурации, размеров площадки в цехе, где они должны быть установлены, имеют двоякое компоновочное решение.

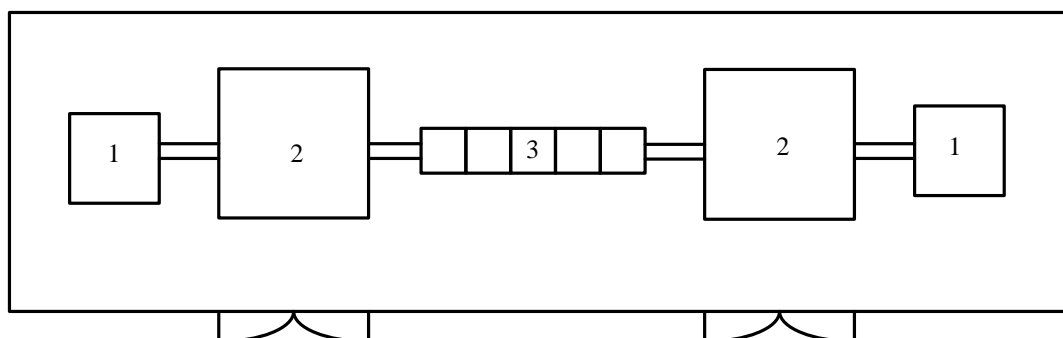


Рис. 6.3 – Однорядное расположение двухтрансформаторной подстанции

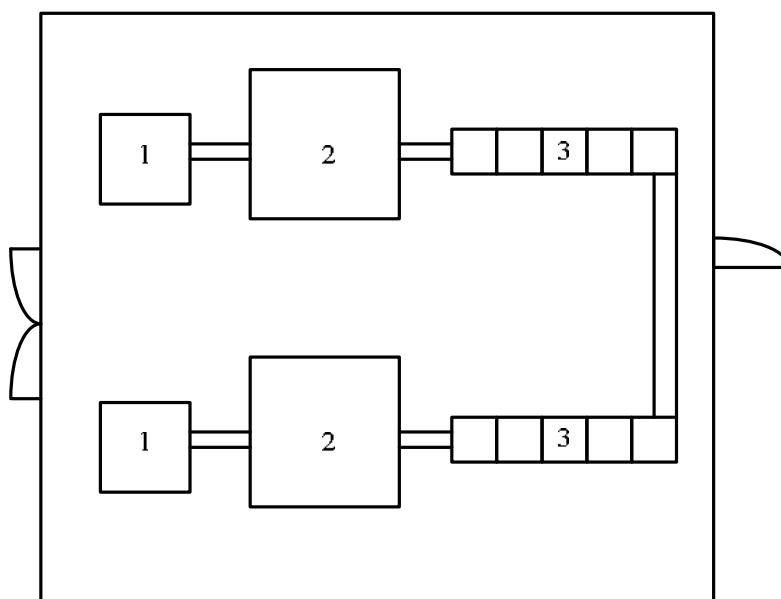


Рис. 6.4 – Двухрядное расположение двухтрансформаторной подстанции

На действующих предприятиях можно еще встретить некомплектные цеховые ТП, смонтированные в отдельных помещениях внутри цеха. Они также называются *внутрицеховыми*, если все стены помещения ТП выходят вовнутрь производственного помещения. Внутрицеховые ТП любого типа целесообразно размещать в мертвых зонах подъемно-транспортных механизмов.

Трансформаторная подстанция, у которой одна стена совпадает со стеной цеха, а сама подстанция расположена внутри цеха является *встроенной*. При совмещении одной из стен и расположении ТП вне цеха, является *пристроенной*.

Если по условиям окружающей среды недопустима или нецелесообразна установка трансформаторов в помещении цеха, выполняются *ТП с наружной установкой трансформаторов*. В этом слу-

чае трансформаторы устанавливаются у стен цеха, а распределительные устройства вторичного напряжения встраиваются в помещении самого цеха.

При питании цехов опасных в отношении взрыва, пожара, а также при питании нескольких маломощных цехов, рассредоточенных на территории предприятия, используются отдельно стоящие ТП. Их компоновочные решения аналогичны встроенным и пристроенным ТП. При этом допустимые расстояния от указанных цехов до самих ТП должны находиться в пределах 80-100 метров в зависимости от степени взрывоопасности, закрытой или открытой установки трансформаторов. Применение отдельно стоящих ТП приводит к существенному увеличению протяженности сетей напряжением до 1000В, потерь электроэнергии, т.е. они являются менее экономичными по сравнению с рассмотренными выше ТП.

Трансформаторы в камерах устанавливаются на отдельных балках выше уровня земли.

Если камеры трансформаторов размещаются на первом этаже и имеют выход наружу, то при количестве в них масла до 600кг никаких маслосборных устройств в камерах не сооружают. При количестве масла более 600 кг сооружается порог, высотой не менее 50 мм, препятствующий вытеканию масла из камеры (для удержания 20% всего объема масла).

При размещении трансформаторов над подвалом или на втором этаже при количестве масла до 600 кг сооружается приямок или порог на удержание всего объема масла и при объеме более 600 кг сооружается маслосборное устройство. Маслосборное устройство может быть двух видов:

- при первом варианте сооружается маслоприемник на удержание до 20% объема масла. В маслоприемнике делается отвод масла по трубопроводу в аварийный резервуар.

- второй вариант – в камерах под трансформаторами сооружается бетонированный маслоприемник на полный объем масла, перегородивается металлической сеткой и засыпается слоем гравия, что предотвращает возгорание масла в маслоприемнике.

В камерах трансформаторов устраивается естественная вентиляция. Она рассчитывается таким образом, чтобы перепад температур входящего и выходящего воздуха был не менее 15 °С. С этой целью в нижней части дверей (ворот) для подачи воздуха сооружаются жалюзи, а отвод воздуха производится через верхнюю часть камеры, или

осуществляется подвод воздуха через канал под трансформатором и отвод его в верхней части камеры.

Выбор количества и мощности силовых трансформаторов цеховых ТП

Количество и мощность силовых трансформаторов ТП должны быть такими, чтобы они могли обеспечить питание всей электрической нагрузки в длительном нормальном режиме работы. Основными факторами определяющим мощность силовых трансформаторов являются: расчетная электрическая нагрузка, перспективы ее нарастания, требования надежности электроснабжения. В настоящее время в соответствии с действующей нормативной документацией общее количество трансформаторов и их мощность определяется (для цехов и группы цехов – технологически концентрированная группа) в соответствии с действующей методикой по расчету мощности компенсирующих устройств.

Для применения существующей методики расчета мощности компенсирующих устройств по трансформаторам необходима следующая информация:

- выбор единичной мощности трансформаторов;
- желаемые или рекомендуемые коэффициенты загрузки;
- количество трансформаторов на подстанции.

Единичная мощность силовых трансформаторов выбирается по величине плотности расчетной электрической нагрузки и суммарной расчетной нагрузки электрифицированного объекта, цеха.

При плотности нагрузки до $0,2...0,25 \text{ кВА/м}^2$ и при общей расчетной нагрузке $S_p < 3000 \text{ кВА}$:

$$S_{\text{нт}} = 630, 1000 \text{ кВА}.$$

При плотности нагрузки $> 0,25..0,3 \text{ кВА/м}^2$ и $S_p > 3000 \text{ кВА}$:

$$S_{\text{нт}} = 1600, 2500 \text{ кВА}.$$

Рекомендации по коэффициенту загрузки силовых трансформаторов:

$K_{\text{зт}} = 0,65 \div 0,7$ – преимущественно нагрузка 1 категории надежности.

$K_{\text{зт}} = 0,85 \div 0,95$ – нагрузка 3 категории надежности или 2 категории надежности с имеющимся складским резервом трансформаторов.

$K_{\text{зт}} = 0,7 \div 0,85$ – для питания преимущественно нагрузки 2 категории надежности.

На ТП, как правило, применяется один или два трансформатора. Применение большого количества трансформаторов и с точки зрения экономии и с точки зрения эксплуатации нецелесообразно.

Количество трансформаторов определяется в первую очередь надежностью электроснабжения, а также неравномерностью графика электрических нагрузок, минимумом приведенных затрат.

7 ВЫБОР ВНЕШНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ ПИТАНИЯ ПРОМПРЕДПРИЯТИЙ

7.1 Выбор номинального напряжения внешнего электро- снабжения:

При проектировании систем электроснабжения ПП важным вопросом является выбор рационального напряжения для схемы, поскольку их значения определяют параметры линий электропередачи и выбираемого оборудования подстанций и сетей, а следовательно, размеры капиталовложений, потери электроэнергии и эксплуатационные расходы.

Выбор напряжения основывается на сравнении технико – экономических показателей различных вариантов, когда:

1. от источника питания можно получить энергию при двух и более напряжениях;
2. при проектировании электроснабжения предприятия приходится расширять существующие подстанции и увеличивать мощность заводских электростанций.
3. сети заводских электростанций связывать с сетями энергосистем.

Напряжение 6 кВ обычно применяют при:

- значительном количестве электроприемников 6 кВ;
- собственной электростанции с напряжением генераторов 6 кВ.

Напряжение 10 кВ обычно применяют при:

- на предприятии имеются мощные двигатели, допускающими подключение к сети 10кВ;
- на предприятии небольшой и средней мощности при отсутствии или незначительном количестве двигателей на 6кВ;
- на предприятии, имеющем собственную электростанцию на 10кВ.

Напряжение 35 кВ в основном рекомендуется использовать для распределения энергии на первой ступени средних предприятий при отсутствии электроприемников напряжением выше 1000кВ и значительно удаленных от источников питания

Для крупных и особо крупных предприятий следует применять напряжение 110, 220 и 330кВ.

Приблизительно уровень напряжения можно определить по следующим формулам:

а) Формула Стилла:

$$U_{\text{н}} \approx 4,34 \cdot \sqrt{L + 0,016 \cdot P}. \quad (7.1)$$

б) Формула Залесского А.М.

$$U_{\text{н}} \approx \sqrt{P \cdot (0,1 + 0,015 \cdot \sqrt{L})}. \quad (7.2)$$

в) Формула Илларионова

$$U_{\text{н}} \approx \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L} + \frac{2500}{P}}}. \quad (7.3)$$

г) Эмпирическая формула зависимости напряжения от передаваемой мощности и протяженности линии:

$$U_{\text{н}} \approx 16 \cdot \sqrt[4]{\frac{P \cdot L}{1000}}. \quad (7.4)$$

где P – передаваемая мощность, МВт;

L – расстояние до источника питания, км.

Приведенные формулы не дают удовлетворительного результата, т.к. не учитывают влияние других факторов.

Ориентировочно уровень напряжения можно определить по монограмме, приведенной на рис.7.1.

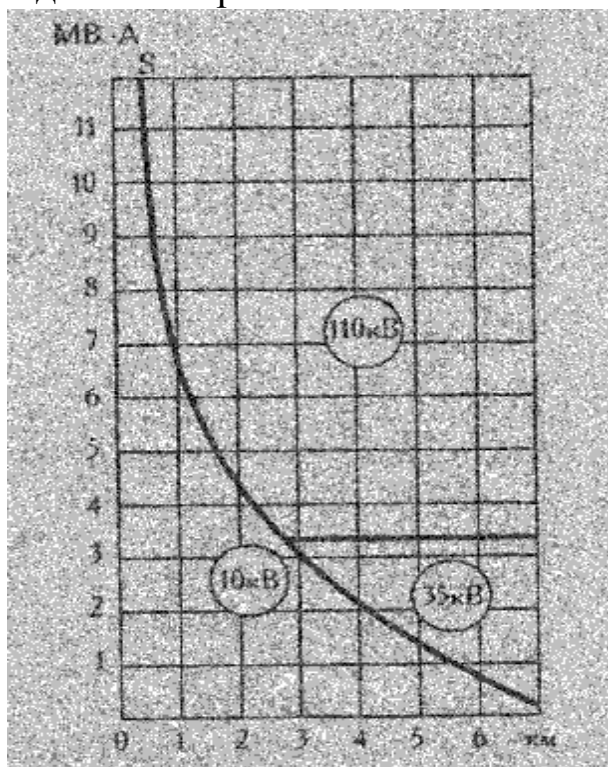


Рис. 7.1 – Монограмма для определения уровня напряжения.

Граничные кривые, определяющие зоны экономичности напряжений 110, 35 и 10 кВ при электроснабжении от районной подстанции.

Область ориентировочных значений рационального напряжения при значительных нагрузках можно определить по табл. 7.1

Таблица 7.1

Выбор рационального напряжения

S, МВА	Длина линии L, км							
	1	2	3	4	5	10	20	30
1000	10	20	20	20	20	20	20	20
2000	20	20	20	20	20	20	20	20
3000	20	20	20	20	20	20	35	35
4000	20	20	20	20	20	20	35	35
5000	20	20	20	20	20	20	35	35
10000	20	20	20	20	20	20	35	110
20000	20	35	35	110	110	110	110	110
30000	110	110	110	110	110	110	110	110
40000	110	110	110	110	110	110	110	110

После определения электрических нагрузок и установления категории надежности потребителя, намечают возможные варианты электроснабжения с питанием кабельными линиями на напряжении 6 – 10кВ и воздушными линиями на более высокое напряжение.

В основу оценки сравниваемых вариантов положена экономическая эффективность. Критерием эффективности при выборе вариантов СЭС является минимум годовых затрат:

$$Z = E_n \cdot K + C, \quad (7.5)$$

где E_n – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, отн. ед.;

K – капитальные вложения в объект, включая стоимость проектирования, строительно-монтажных работ и оборудования., руб;

C – годовые эксплуатационные расходы, руб;

E_n – коэффициент, в условиях нормального функционирования экономики равно $0,12 \div 0,15$.

Схемы электроснабжения предприятия при сравнении вариантов приведены на рис. 7.2.

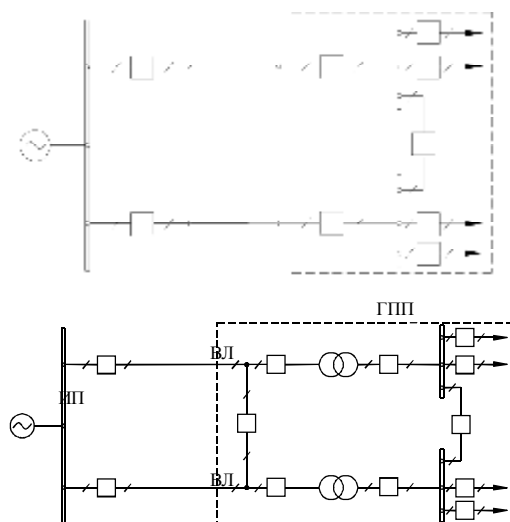


Рис. 7.2 – Схемы электроснабжения предприятия

Капитальные затраты K зависят от передаваемой мощности S , расстояния L между источником питания и местом потребления или распределения.

Капитальные затраты на сооружение системы электроснабжения выражают формулой:

$$K = K_{\text{л}} + K_{\text{об}} + K_{\text{дв}}, \quad (7.6)$$

где $K_{\text{л}}$ – капитальные затраты на сооружение воздушных и кабельных линий;

$$K_{\text{л}} = K_{\text{до}} \cdot L$$

$K_{\text{об}}$ – капитальные затраты на установку оборудования (выключателей, разъединителей, отделителей, короткозамыкателей, силовых трансформаторов и т.п.);

$K_{\text{дв}}$ – дополнительные капитальные вложения в источники электроэнергии на покрытие потерь мощности в системах электроснабжения.

Эксплуатационные расходы:

$$C = C_{\text{п}} + C_{\text{а}} + C_{\text{оп.}} = c \cdot \Delta W + p_{\text{а}} K / 100 + p_0 K / 100$$

(7.7)

где $C_{\text{п}}$ – стоимость потерь электроэнергии;

$C_{\text{а}}$ – амортизационные отчисления;

$C_{\text{оп.}}$ – стоимость содержания обслуживающего персонала.

($\times 35000$ – переводной коэффициент цен)

c – стоимость потерь электроэнергии, руб/кВтч;

ΔW – годовые потери энергии, кВтч;

$p_{\text{а}}$ – отчисления на амортизацию и капитальный ремонт, %;

p_0 – отчисления на ремонт и обслуживание, %;

K – капитальные затраты на сооружение объекта электроснабжения;

Предпочтение при выборе вариантов следует отдавать варианту с более высоким напряжением даже при небольших экономических преимуществах, (не превышающих 10 – 25%), низшего из сравниваемых напряжений.

Капитальные затраты в общем случае имеют минимум при определенном значении напряжения, которое называется рациональным напряжением по капитальным затратам и обозначают $U_{\text{рац}}$

7.2 Выбор напряжения распределительных сетей предприятий.

Рациональное напряжение для систем внутризаводского электроснабжения определяют в зависимости от ряда факторов.

Факторами являются:

S – суммарная нагрузка предприятия, кВА;

$L_{\text{ср}}$ – средняя длина линии распределительной сети, км;

β – отношение потребителей 6 кВ ко всей нагрузке предприятия, %;

α – отношение числа часов работы предприятия в году $T_{\text{г}}$ к числу использования максимальной нагрузки $T_{\text{м}}$.

Разработаны модели для определения рационального напряжения для предприятий средней мощности, работающих в одну или более смен.

Все факторы в математической модели используются в кодированном виде, переход к которому осуществляется по формуле:

$$X_I = \frac{x_I - x_{I6}}{\Delta x_I} \quad (7.8)$$

X_I – кодированное значение данного фактора;

x_i – действующее значение фактора;

x_{i6} – базовый уровень данного фактора;

Δx_i – шаг выравнивания данного фактора.

Диапазоны выравнивания факторов приведены в табл. 7.2.

Таблица 7.2

Диапазоны выравнивания факторов

Факторы	Базовый уровень	Шаг выравнивания	Верхний уровень	Нижний уровень
$x_1 - S, \text{ кВА}$	30000	20000	50000	10000
$x_2 - L_{\text{ср}}, \text{ км}$	0,6	0,4	1	0,2
$x_3 - C_0, \text{ руб/кВт}$	1750000	750000	2500000	1000000
$x_4 - \beta, \%$	6	4	10	2
$x_5 - \alpha, \%$	1,3	0,1	1,4	1,2

Кроме факторов, перечисленных выше, на выбор напряжения влияет схема распределения электроэнергии.

Для радиальной одноступенчатой схемы:

$$\text{Урац} = 7,59 + 0,74 x_1 + 1,21 x_2 + 0,27 x_3 - 1,18 x_4 + 0,61 x_1 \cdot x_2 + 0,22 x_3 \cdot x_2 + 0,20 x_4 \cdot x_2; \quad (7.9)$$

Для магистральной схемы с двойными сквозными магистралями:

$$\text{Урац} = 8,07 + 0,92 x_1 + 1,45 x_2 + 0,37 x_3 - 1,33 x_4 - 0,14 x_5 + 0,67 x_1 \cdot x_2 + 0,20 x_1 \cdot x_3 + 0,24 x_3 \cdot x_2 + 0,29 x_4 \cdot x_2; \quad (7.10)$$

При выборе Урац получаем нестандартное напряжение. Для определения стандартного напряжения необходимо определить приведенные затраты для ближайшего большего и ближайшего меньшего к расчетному нестандартному напряжению.

Математические модели приведены для напряжения 6 и 10кВ.

Радиальная одноступенчатая схема

$$Z_{6\text{кВ}} = 87,33 + 42,43 x_1 + 10,93 x_2 + 12,37 x_3 - 2,13 x_4 + 5,99 x_1 \cdot x_2 + 7,71 x_1 \cdot x_3;$$

$$Z_{10\text{кВ}} = 87,15 + 41,2 x_1 + 8,27 x_2 + 11,95 x_3 + 3,88 x_1 \cdot x_2 + 7,43 x_1 \cdot x_3; \quad (7.11)$$

Для магистральной схемы с двойными сквозными магистра-
лями

$$Z_{6кВ} = 89,67 + 40,31 x_1 + 10,22x_2 + 13,31x_3 - 2,96x_4 + 6,04x_1 \cdot x_2 + 8,25x_1 \cdot x_3;$$

$$Z_{10кВ} = 88,55 + 44,48 x_1 + 7,05x_2 + 12,46x_3 - 2,61x_4 + 3,69x_1 \cdot x_2 + 7,57x_1 \cdot x_3;$$

(7.12)

8 КАНАЛИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ, В СЕТЯХ ВЫШЕ 1000В

Выбор высоковольтных проводников осуществляется:

- по экономической плотности;
- по нагреву расчетным током продолжительного режима;
- с учетом допустимой перегрузки в послеаварийном или ремонтном режимах;
- по термической стойкости к токам КЗ.

Экономически целесообразное сечение S_p , определяется по выражению

$$F_p = I_p / j_3, \quad (8.1)$$

где I_p – расчетный ток нормального режима работы, А;

j_3 – нормированное значение экономической плотности тока, А/мм² (принимают по табл. 8.1 в зависимости от времени использования максимальной нагрузки, вида и материала проводника).

Сечение, полученное в результате расчета, округляется до ближайшего меньшего или большего стандартного сечения.

Таблица 8.1

Значение экономической плотности тока

Проводники	Экономическая плотность тока, А/мм ² , при числе часов использования максимума нагрузки в год		
	более 1000 до 3000	более 3000 до 5000	более 5000
Неизолированные провода и шины:			
медные	2,5	2,1	1,8
алюминиевые	1,3	1,1	1,0
Кабели с бумажной и провода с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией с жилами:			
медные	3,0	2,5	2,0
алюминиевые	1,6	1,4	1,2
Кабели с резиновой и пластмассовой изоляцией с жилами:			
медные	3,5	3,1	2,7
алюминиевые	1,9	1,7	1,6

Для определения сечений по нагреву вычисляется наибольший расчетный ток в нормальном режиме, и по таблицам допустимых значений токов в соответствии с условием

$$I_{\text{доп}} \geq I_p / K, \quad (8.2)$$

где K – коэффициент, учитывающий фактическую температуру окружающей среды, количество проложенных в земле рабочих кабелей, и фактическое удельное тепловое сопротивление земли. Все эти значения выбираются по таблицам ПУЭ.

Проверяем по допустимой нагрузке в послеаварийном или ремонтном режимах по условию:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{p\text{max}} / K_{\text{пер}}, \quad (8.3)$$

где $K_{\text{пер}}$ – допустимая кратность перегрузки, принимается для кабелей:

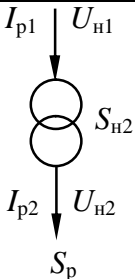
- с полиэтиленовой изоляцией – 1,1;
- с поливинилхлоридной изоляцией на время максимума нагрузки продолжительностью не более 6ч в сутки – 1,15;
- с бумажной изоляцией в течение 5 суток – 1,2...1,25;

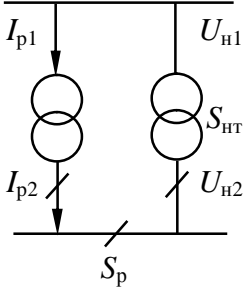
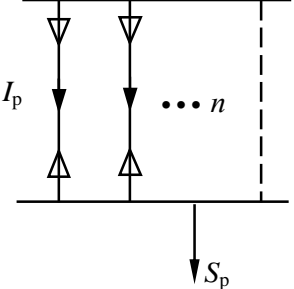
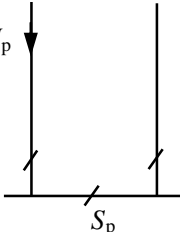
$I_{p\text{max}}$ – расчетный ток линии в послеаварийном режиме.

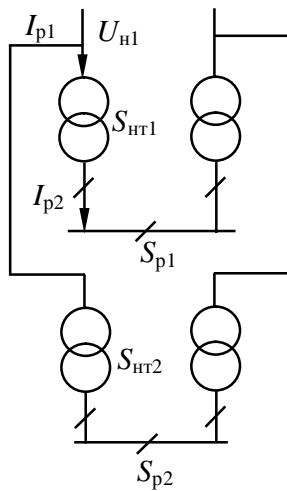
Расчетный ток линии в послеаварийном режиме для разных схем определяется согласно таблице 8.2.

Таблица 8.2

Расчетный ток линии в послеаварийном режиме

Схема	I_{p1}	$I_{p.max}$
	$I_{p1} = \frac{\sqrt{(P_p + \Delta P_T)^2 + (Q_p + \Delta Q_T)^2}}{\sqrt{3}U_{H1}} \approx \frac{K_3 S_{HT}}{\sqrt{3}U_{H1}};$ $I_{p2} = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_{H2}} = \frac{K_3 S_{HT}}{\sqrt{3}U_{H2}};$	$\frac{S_{HT}}{\sqrt{3}U_H}$

	$I_{p1} = \frac{\sqrt{\left(\frac{P_p}{2} + \Delta P_T\right)^2 + \left(\frac{Q_p}{2} + \Delta Q_T\right)^2}}{\sqrt{3}U_{H1}} \approx \frac{K_3 S_{HT}}{\sqrt{3}U_{H1}}$ $I_{p2} = \frac{S_p}{2\sqrt{3}U_{H2}} = \frac{K_3 S_{HT}}{\sqrt{3}U_{H2}}$	$\frac{S_p}{\sqrt{3}U_H} = \frac{K_{\text{пер}}^{\phi} S_{HT}}{\sqrt{3}U_H};$ $\frac{K_{\text{доп}} S_{HT}}{\sqrt{3}U_H}$
	$\frac{S_p}{n\sqrt{3}U_H}$	$\frac{S_p}{(n-1)\sqrt{3}U_H}$
	$\frac{S_p}{2\sqrt{3}U_H}$	$\frac{S_p}{\sqrt{3}U_H}$



$$I_{p1} = \frac{\sqrt{P_{p1}^2 + Q_{p1}^2}}{\sqrt{3}U_{H1}} \approx \frac{K_{31}S_{HT1} + K_{32}S_{HT2}}{\sqrt{3}U_{H1}};$$

$$P_{p1} = \frac{P_{p1}}{2} + \Delta P_{T1} + \frac{P_{p2}}{2} + \Delta P_{T2};$$

$$Q_{p1} = \frac{Q_{p1}}{2} + \Delta Q_{T1} + \frac{Q_{p2}}{2} + \Delta Q_{T2}$$

$$\frac{\sqrt{(P_{p1} + P_{p2})^2 + (Q_{p1} + Q_{p2})^2}}{\sqrt{3}U_{H1}} =$$

$$= \frac{K_{\text{пер}1}^{\phi} S_{HT1} + K_{\text{пер}2}^{\phi} S_{HT2}}{\sqrt{3}U_{H1}}$$

Выбранное по условию продолжительного режима сечение кабеля необходимо проверить на термическую стойкость к токам КЗ.

Кабели, защищенные токоограничивающими предохранителями, на термическую стойкость не проверяются.

$$F_m = \frac{\sqrt{B_k}}{C}, \quad (8.4)$$

где B_k – тепловой импульс от тока КЗ, $A^2 \cdot c$;

C – расчетный коэффициент, зависящий от допустимой температуры при КЗ и материала проводника; принимается:

- Шины медные – 170;
- Шины алюминиевые – 71–90;
- Кабели до 10 кВ с бумажной изоляцией и алюминиевыми жилами – 90;
- Кабели и провода с поливинилхлоридной изоляцией и алюминиевыми жилами – 75;
- Тоже с полиэтиленовой изоляцией – 65.

$$B_k = I_{\Pi}^2 (t_{отк} + T_a), \quad (8.5)$$

где I_{Π} – действующее значение периодической составляющей тока КЗ в начале линии;

$t_{отк}$ – время отключения тока КЗ;

T_a – постоянная времени затухания периодической составляющей тока КЗ.

T_a определяется как

$$T_a = \frac{x_{\Sigma}}{\omega \cdot r_{\Sigma}}, \quad (8.6)$$

где x_{Σ} , r_{Σ} – результирующее индуктивное и активное сопротивления схемы относительно точки КЗ;

ω – угловая частота, $\omega = 2\pi \cdot f = 314$ рад/с.

В распределительных сетях 6-10 кВ при отсутствии конкретных данных приближенно можно принять $T_a = 0,01$ с, а значения $t_{отк}$ принимается по табл. 8.3.

Таблица 8.3

Время действия токов КЗ

Участок сети	Число ступеней защиты в схеме сети	Время действия токов КЗ, с
ГПП-ЦРП	3	2,6
ГПП-РП	2	1,6
ЦРП-РП	2	1,6
РП-ТП	2-3	0,6
ГПП-ТП	2- 3	0,6

Из трех полученных сечений по экономической плотности, по нагреву в послеаварийном режиме и термической стойкости выбирается наибольшее.

9 КАРТОГРАММЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

Правильное размещение подстанций, как одних из основных звеньев системы электроснабжения любого промышленного предприятия, является основой рационального построения схемы распределения электроэнергии.

Местоположение подстанций выбирается таким образом, чтобы трансформаторные и преобразовательные подстанции всех мощностей и напряжений располагались по возможности ближе к центру питаемых групп нагрузок.

Проектирование систем электроснабжения предприятий осуществляется на основе генерального плана объекта, на который наносятся все производственные цеха и отдельные участки.

Выбор типа и места расположения подстанций осуществляется следующим образом:

- на генеральный план предприятия наносят нагрузки отдельных цехов или участков с подразделением по напряжению, роду тока и очередности ввода в эксплуатацию;
- выявляют сосредоточенные нагрузки и находят центры групп распределительных нагрузок;
- предварительно намечают места расположения подстанций и производят распределение нагрузок между ними;
- намечают типы подстанций (закрытая, пристроенная, открытая или отдельно стоящая) и определяют ориентировочные их габариты.

Для отыскания местоположения подстанции широко применяют картограмму нагрузок.

Картограмма нагрузок предприятия представляет собой размещенные на генеральном плане окружности, площади которых в принятом масштабе равны расчетным нагрузкам цехов.

Каждому цеху или участку соответствует окружность, центр которой совпадает с центром нагрузки цеха.

Главную понизительную, распределительную и цеховые подстанции следует располагать как можно ближе к центру нагрузок, что позволяет значительно сократить расход проводникового материала.

Картограмма электрических нагрузок позволяет наглядно представить расположение нагрузки на территории предприятия.

Картограмма нагрузок предприятия состоит из окружностей πr^2 в выбранном масштабе m и равна расчетной нагрузке соответствующего цеха

$$P_i = \pi \cdot r_i^2 m, \quad (9.1)$$

где P_i – мощность i -го цеха;

m – масштаб для определения площади круга.

Из этого выражения радиус нагрузки

$$r_i = \sqrt{\frac{P_i}{\pi \cdot m}}. \quad (9.2)$$

Каждый круг может быть разбит на секторы, соответствующие осветительной и силовой нагрузкам. В этом случае картограмма дает представление не только о значении нагрузок, но и об их структуре.

Угол сектора осветительной нагрузки в градусах определяется по выражению

$$\alpha_{oi} = \frac{P_{poi} \cdot 360}{P_{pi}}, \quad (9.3)$$

а силовой нагрузки

$$\alpha_{ci} = 360 - \alpha_{oi}. \quad (9.4)$$

Величины осветительной и силовой нагрузок указываются на картограмме, приведенной на рисунке 9.1.

В настоящее время имеется ряд математических методов, позволяющих аналитическим путем определить центр электрических нагрузок, как отдельных цехов, так и всего предприятия в целом.

Наибольшее распространение получил метод, использующий некоторые положения теоретической механики, заключающийся в том, что если считать нагрузки цеха равномерно распределенными по его площади, то центр нагрузок можно принять совпадающим с центром тяжести фигуры, изображающей цех на плане.

Наличие многоэтажных зданий цехов обуславливает учитывать значение третьей координаты Z . Но ПУЭ разрешает размещать ТП не выше 2-го этажа, учет третьей координаты в реальном проектировании не требуется.

Проведя аналогию между массами и электрическими нагрузками цехов, координаты центра электрических нагрузок определяют по формулам:

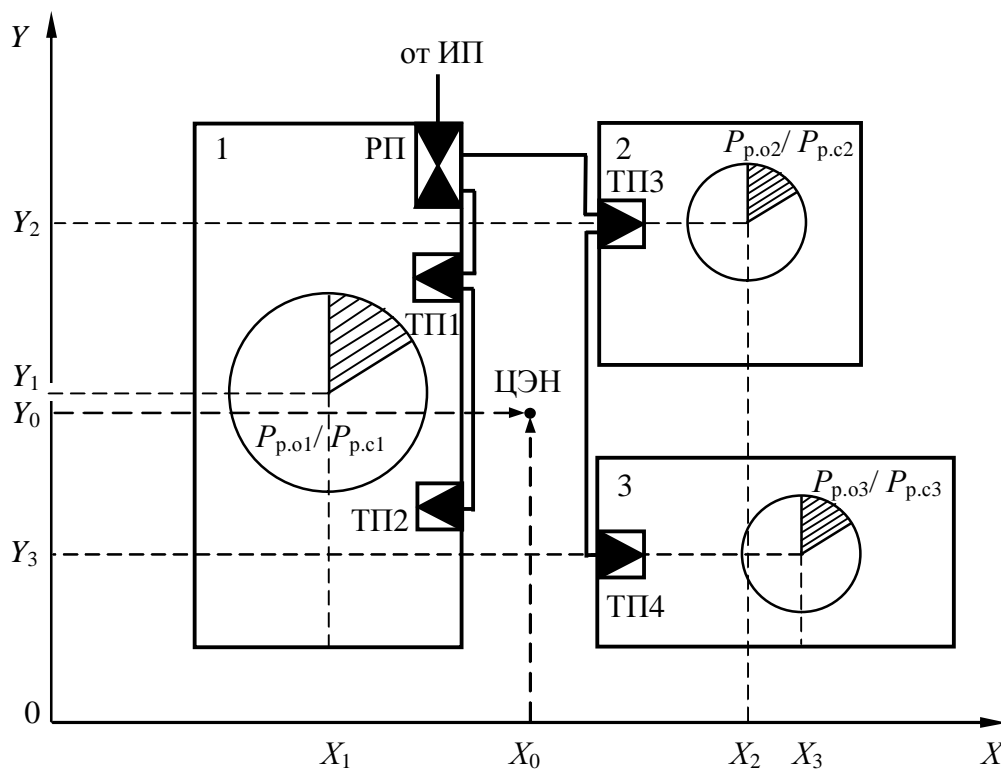


Рис. 9.1 – Картограмма электрической нагрузки предприятия

Для реактивных нагрузок строят аналогичную картограмму, что позволяет определить рациональное размещение компенсирующих устройств.

$$X_0 = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n P_i}; \quad Y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n P_i}. \quad (9.5)$$

Метод отличается простотой, наглядностью, при значительном количестве цехов легко реализуется на ПК. Недостатком является точность, поскольку погрешность находится в пределах 5 – 10 %.

Второй метод является разновидностью первого, но учитывает не только электрические нагрузки потребителей электроэнергии, но и продолжительность работы этих потребителей в течение расчетного периода времени.

$$X_0 = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot x_i \cdot T_i}{\sum_{i=1}^n P_i \cdot T_i}; \quad Y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot y_i \cdot T_i}{\sum_{i=1}^n P_i \cdot T_i}. \quad (9.6)$$

Третий метод, согласно которому рациональное размещение ГПП, ГРП или ТП должно соответствовать минимуму приведенных годовых затрат, предусматривает для определения электрических нагрузок решение системы алгебраических уравнений методом простой итерации.

Порядок расчета координат центра в этом случае следующий:

1) проверка возможного совпадения центра нагрузок с местоположением одного из цехов по уравнению

$$\left(\sum_{\substack{i=1 \\ k \neq i}}^n \frac{3_i(x_k - x_i)}{\sqrt{(x_k - x_i)^2 + (y_k - y_i)^2}} \right)^2 + \left(\sum_{\substack{i=1 \\ k \neq i}}^n \frac{3_i(y_k - y_i)}{\sqrt{(y_k - y_i)^2 + (x_k - x_i)^2}} \right)^2 \leq 3_k, \quad (9.7)$$

где 3 – приведенные годовые затраты на единицу длины линии ($3_i = \text{const}$);

x_i, y_i – координаты i -го цеха;

x_k, y_k – координаты ЦЭН.

2) определение положения новой системы координат, при которой итерационный процесс будет заведомо сходящимся, по уравнениям

$$x'_0 = \frac{\sum_{i=1}^n 3_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n 3_i}; \quad y'_0 = \frac{\sum_{i=1}^n 3_i \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n 3_i}; \quad (9.8)$$

$$\text{tg } 2\beta = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{3_i(x_i - x'_0)(y_i - y'_0)}{\left(\sqrt{(x_i - x'_0)^2 + (y_i - y'_0)^2}\right)^3}}{\sum_{i=1}^n \frac{3_i\left((x_i - x'_0)^2 - (y_i - y'_0)^2\right)}{\left(\sqrt{(x_i - x'_0)^2 + (y_i - y'_0)^2}\right)^3}}, \quad (9.9)$$

где x, y – начало новой системы координат;

β – угол между осями абсцисс (положительное направление) новой и старой систем координат;

3) определение искоемых координат путем решения следующей системы уравнений методом простой итерации:

$$x_0 = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{3_i \cdot x_i}{\sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2}}}{\sum_{i=1}^n \frac{3_i}{\sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2}}}; y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{3_i \cdot y_i}{\sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2}}}{\sum_{i=1}^n \frac{3_i}{\sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2}}}. \quad (9.10)$$

Анализируя третий метод определения ЦЭН, следует указать на значительную трудоемкость расчетов, особенно в случае сложных систем электроснабжения.

Выбор места расположения и типа цеховых ТП

Выбор мест расположения цеховых ТП определяется множеством факторов зачастую противоречивых друг другу. Этими факторами являются: - величина и характер электрической нагрузки;

- размещение нагрузки на плане помещения или на территории предприятия;

- условия окружающей среды (пожарной и взрывоопасной), условия охлаждения;

- наличие соответствующих строительных конструкций, коммуникаций и т. д.

Общим же правилом для выбора места расположения ТП считается следующее. Цеховые ТП должны располагаться как можно ближе к центру размещения электрических нагрузок цеха (ЦЭН). Это позволяет создать СЭС с наилучшими технико-экономическими показателями – минимумом приведенных затрат. Место нахождения этого центра может быть определено двумя следующими способами:

-если считать, что электрические нагрузки равномерно распределены по площади помещения (цеха), то ЦЭН будет совпадать с центром тяжести фигуры, образованной планом цеха (рис.9.2);

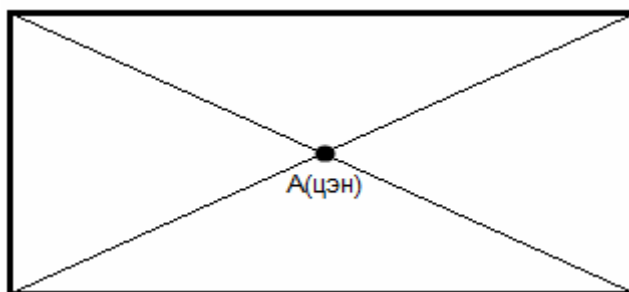


Рис. 9.2 – ЦЭН на плане цеха с равномерным распределением нагрузок.

- для более точного определения ЦЭН считают, что электрические нагрузки являются сосредоточенными и расположенными в

отдельных точках площади цеха. Если теперь допустить, что сосредоточенные электрические нагрузки тождественны в действии нескольким параллельным силам, то нахождение ЦЭН сведется к определению точки приложения равнодействующей нескольких параллельных сил.

Привяжем план цеха к осям координат и нанесем на нем сосредоточенные нагрузки S_1, S_2, \dots, S_i , имеющие соответствующие координаты $x_1, y_1, x_2, y_2, \dots, x_i, y_i$ (рис. 9.3).

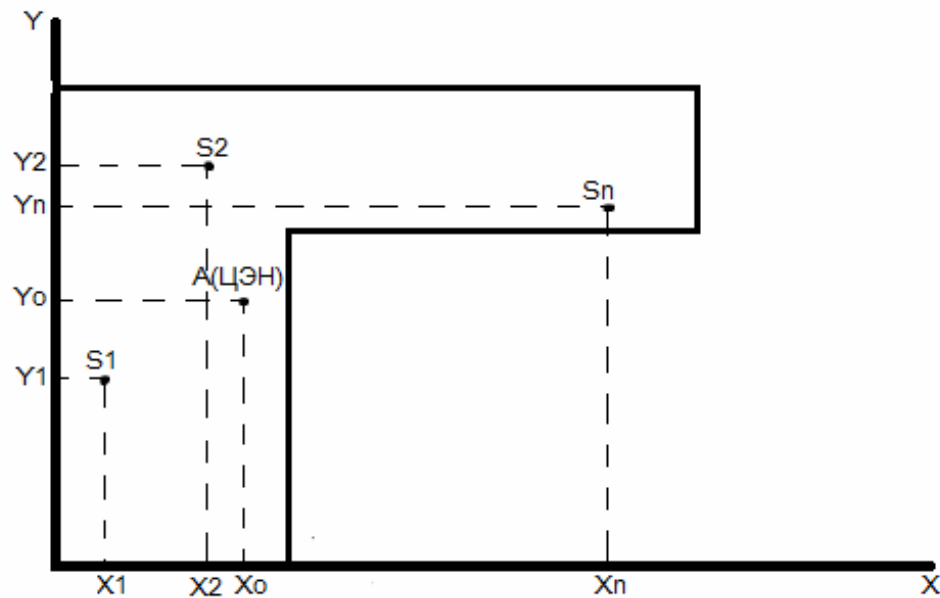


Рис. 9.3 – План цеха с размещением сосредоточенных нагрузок.

Координаты ЦЭН можно определить по следующим выражениям:

$$X_0 = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot x_i \cdot T_i}{\sum_{i=1}^n P_i \cdot T_i}; \quad Y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot y_i \cdot T_i}{\sum_{i=1}^n P_i \cdot T_i} \quad (9.11)$$

T_i – время использования нагрузок;

N – количество сосредоточенных нагрузок;

x_i, y_i – координаты i -й нагрузки.

При одинаковой величине электрических нагрузок, но при различном числе их работы в течение суток, потери электроэнергии в более продолжительных по действию нагрузках будут большими, чем у кратковременных. Поэтому при определении координат ЦЭН необходимо учитывать и продолжительность действия этих нагрузок.

Наиболее предпочтительными типами цеховых ТП являются КТП, состоящие из отдельных крупных блоков, изготовленных в заводских условиях. Чаще всего, в условиях промышленных предприятий применяются внутрицеховые, а также встроенные в здание ТП, как более экономичные.

Выбранные цеховые ТП должны занимать минимум полезной мощности в цехе, удовлетворять требованиям электрической, взрыво- и пожарной безопасности и не должны создавать помех производственному процессу.

Отдельно стоящие ТП применяются в случаях питания группы малых нагрузок и (или) по тяжелым условиям окружающей среды.

При выборе вариантов применение одной двухтрансформаторной подстанции или двух однострансформаторных подстанций рассредоточенных и максимально приближенных к ЭП, оптимальным критерием выбора является минимум приведенных затрат и часто при одинаковых технических условиях и требованиях надежности, предпочтение приходится отдавать двум однострансформаторным подстанциям.

10 РЕАКТИВНАЯ МОЩНОСТЬ И ЕЕ КОМПЕНСАЦИЯ

10.1 Потребители реактивной мощности

Появление термина «реактивная» мощность связано с необходимостью выделения составляющей мощности, потребляемой нагрузкой, которая формирует электромагнитные поля и обеспечивает вращающий момент двигателя. Эта составляющая имеет место при индуктивном характере нагрузки. Например, при подключении электродвигателей. Практически вся бытовая нагрузка, не говоря о промышленном производстве, в той или иной степени имеет индуктивный характер (рис. 10.1). В электрических цепях, когда нагрузка имеет активный (резистивный) характер, протекающий ток синфазен (не опережает и не запаздывает) от напряжения. Если нагрузка имеет индуктивный характер (двигатели, трансформаторы на холостом ходу), ток отстает от напряжения. Когда нагрузка имеет емкостной характер (конденсаторы), ток опережает напряжение.

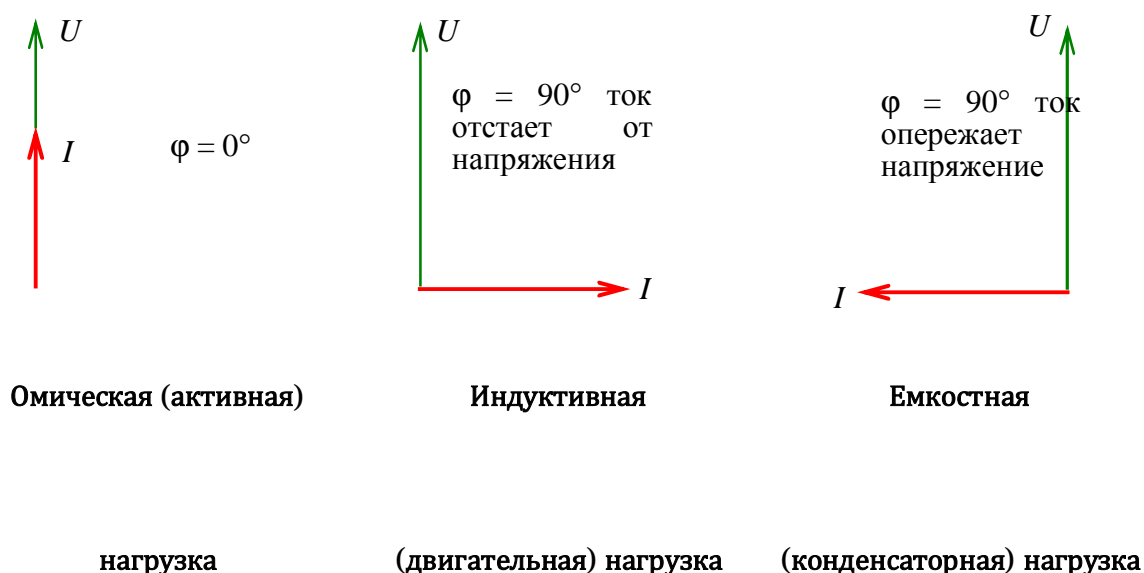


Рис. 10.1 – Виды нагрузок

Суммарный ток, потребляемый двигателем, определяется векторной суммой (рис. 10.2)

1. I_a – активный ток
2. $I_{p.и}$ – реактивный ток индуктивного характера

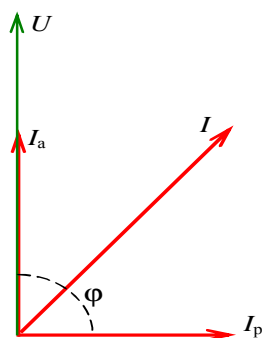


Рис. 10.2 – Векторная диаграмма

К этим токам привязаны мощности, потребляемые двигателем.

1. P – активная мощность привязана к I_a (по всем гармоникам суммарно).

2. Q – реактивная мощность привязана к $I_{p.и}$ (по всем гармоникам суммарно).

3. S – полная мощность, потребляемая двигателем. (по всем гармоникам суммарно).

Потребителями реактивной мощности, необходимой для создания магнитных полей, являются как отдельные звенья электропередачи (трансформаторы, линии, реакторы), так и такие электроприёмники, преобразующие электроэнергию в другой вид энергии, которые по принципу своего действия используют магнитное поле (асинхронные двигатели, индукционные печи и т.п.). До 80-85% всей реактивной мощности, связанной с образованием магнитных полей, потребляют асинхронные двигатели и трансформаторы. Относительно небольшая часть в общем балансе реактивной мощности приходится на долю прочих её потребителей, например на индукционные печи, сварочные трансформаторы, преобразовательные установки, люминесцентное освещение и т.п.

Трансформатор как потребитель реактивной мощности. Трансформатор является одним из основных звеньев в передаче электроэнергии от электростанции до потребителя. В зависимости от расстояния между электростанцией и потребителем и от схемы передачи электроэнергии число ступеней трансформации лежит в пределах от двух до шести. Поэтому установленная трансформаторная мощность обычно в несколько раз превышает суммарную мощность генераторов энергосистемы. Каждый трансформатор сам является потребителем реактивной мощности. Реактивная мощность необходима для создания переменного

магнитного потока, при помощи которого энергия из одной обмотки трансформатора передаётся в другую.

Асинхронный двигатель как потребитель реактивной мощности. Асинхронные двигатели наряду с активной мощностью потребляют до 60-65 % всей реактивной мощности нагрузок энергосистемы. По принципу действия асинхронный двигатель подобен трансформатору. Как и в трансформаторе, энергия первичной обмотки двигателя – статора передаётся во вторичную – ротор посредством магнитного поля.

Индукционные печи как потребители реактивной мощности.

К крупным электроприемникам, требующим для своего действия большой реактивной мощности, прежде всего, относятся индукционные печи промышленной частоты для плавки металлов. По существу эти печи представляют собой мощные, но не совершенные с точки зрения трансформаторостроения трансформаторы, вторичной обмоткой которых является металл (садка), расплавляемый индуктированными в нём токами.

Преобразовательные установки, преобразующие переменный ток в постоянный при помощи выпрямителей, также относятся к крупным потребителям реактивной мощности. Выпрямительные установки нашли широкое применение в промышленности и на транспорте. Так, установки большой мощности с ртутными преобразователями используются для питания электроизоляционных ванн, например, при производстве алюминия, каустической соды и др. Железнодорожный транспорт в нашей стране почти полностью электрифицирован, причём значительная часть железных дорог использует постоянный ток преобразовательных установок.

С другой стороны, элементы распределительной сети (линии электропередачи, повышающие и понижающие трансформаторы) в силу особенностей конструктивного исполнения имеют продольное индуктивное сопротивление. Поэтому, даже для нагрузки потребляющей только активную мощность, в начале распределительной сети будет иметь место индуктивная составляющая – реактивная мощность. Величина этой реактивной мощности зависит от индуктивного сопротивления распределительной сети и полностью расходуется на потери в элементах этой распределительной сети.

10.2 Снижение потерь мощности и напряжения в системе электроснабжения при компенсации реактивной мощности

Представим простейшую схему (рис. 10.3):

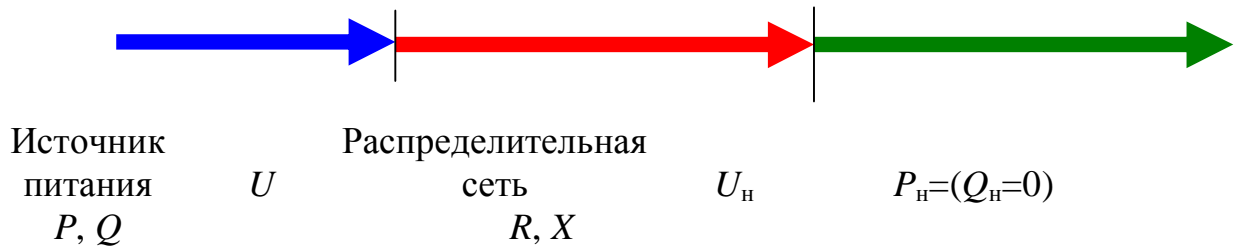


Рис. 10.3 – Схема электроснабжения предприятия

где P – активная мощность в центре питания;

P_n – активная мощность на шинах потребителя;

R – активное сопротивление распределительной сети;

Q – реактивная мощность в центре питания;

Q_n – реактивная мощность на шинах потребителя;

U – напряжение в центре питания;

U_n – напряжение на шинах потребителя;

X – индуктивное сопротивление распределительной сети.

В результате, независимо от характера нагрузки, по распределительной сети от источника питания будет передаваться реактивная мощность Q .

При двигательном характере нагрузки ситуация ухудшается – значения мощности в центре питания увеличивается и становится равными:

$$P = P_n + (P_n^2 + Q_n^2) \cdot R / U_n^2; \quad (10.1)$$

$$Q = Q_n + (P_n^2 + Q_n^2) \cdot X / U_n^2. \quad (10.2)$$

Передаваемая от источника питания к потребителю реактивная мощность имеет следующие недостатки:

В распределительной сети возникают дополнительные потери активной мощности – потери при транспорте электрической энергии: часть которых, (а иногда и значительную) составляют потери от транспорта реактивной мощности.

Величина напряжения у потребителя, а, следовательно, и качество электрической энергии, снижается:

$$U_n = U - (P \cdot R + Q \cdot X) / U. \quad (10.3)$$

Увеличивается загрузка распределительной сети током, что лишает потребителя возможности перспективного развития.

Показателем потребления реактивной мощности является коэффициент мощности (КМ), численно равный косинусу угла (φ) между током и напряжением. КМ потребителя определяется как отношение потребляемой активной мощности к полной, действительно взятой из сети, т.е.:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (10.4)$$

Этим коэффициентом принято характеризовать уровень реактивной мощности двигателей, генераторов и сети предприятия в целом. Чем ближе значение $\cos \varphi$ к единице, тем меньше доля взятой из сети реактивной мощности.

Пример: при $\cos \varphi = 1$ для передачи 500 кВт в сети переменного тока 400 В необходим ток значением 722 А. Для передачи той же активной мощности при коэффициенте $\cos \varphi = 0,6$ значение тока повышается до 1203 А.

Соответственно, все оборудование питания сети, передачи и распределения энергии должно быть рассчитано на большие нагрузки. Кроме того, в результате больших нагрузок срок эксплуатации этого оборудования может соответственно снизиться.

Дальнейшим фактором повышения затрат является возникающая из-за повышенного значения общего тока теплоотдача в кабелях и других распределительных устройствах, в трансформаторах и генераторах.

Возьмем, к примеру, в нашем выше приведенном случае при $\cos \varphi = 1$ мощность потерь, равную 10 кВт. При $\cos \varphi = 0,6$ она повышается на 180 % и составляет уже 28 кВт.

Таким образом, наличие реактивной мощности является паразитным фактором, неблагоприятным для сети в целом. В результате этого:

- возникают дополнительные потери в проводниках вследствие увеличения тока;
- снижается пропускная способность распределительной сети;
- отклоняется напряжение сети от номинала (падение напряжения из-за увеличения реактивной составляющей тока питающей сети).

Все сказанное выше является основной причиной того, что предприятия электроснабжения требуют от потребителей снижения доли реактивной мощности в сети.

Решением данной проблемы является компенсация реактивной мощности – важное и необходимое условие экономичного и надежного функционирования системы электроснабжения предприятия.

Правильная компенсация реактивной мощности позволяет:

- снизить общие расходы на электроэнергию;
- уменьшить нагрузку элементов распределительной сети (подводящих линий, трансформаторов и распределительных устройств), тем самым продлевая их срок службы;
- снизить тепловые потери тока и расходы на электроэнергию;
- снизить влияние высших гармоник;
- подавить сетевые помехи, снизить несимметрию фаз;
- добиться большей надежности и экономичности распределительных сетей.

Кроме того, в существующих сетях:

- исключить генерацию реактивной энергии в сеть в часы минимальной нагрузки;
- снизить расходы на ремонт и обновление парка электрооборудования;
- увеличить пропускную способность системы электроснабжения потребителя, что позволит подключить дополнительные нагрузки без увеличения стоимости сетей;
- обеспечить получение информации о параметрах и состоянии сети,
- а во вновь создаваемых сетях – уменьшить мощность подстанций и сечения кабельных линий, что снизит их стоимость.

Различают:

- а) **мгновенный коэффициент мощности**, рассчитываемый по формуле.

$$\cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot I}, \quad (10.5)$$

исходя из одновременных показаний ваттметра (P), вольтметра (U) и амперметра (I) для данного момента времени или из показаний фазометра;

- б) **средний коэффициент мощности**, представляющий собой среднее арифметическое значение мгновенных коэффициентов мощности за равные промежутки времени, определяемый по формуле:

$$\cos \varphi_{\text{cp}} = \frac{\cos \varphi_1 + \cos \varphi_2 + \cos \varphi_3 + \dots \cos \varphi_n}{n}, \quad (10.6)$$

где n – число промежутков времени;

в) **средневзвешенный коэффициент мощности**, определяемый по показаниям счетчиков активной W_a и реактивной W_r энергии за определенный промежуток времени (сутки, месяц, год) с помощью формулы:

$$\cos \varphi_{\text{cp.в}} = \frac{W_a}{\sqrt{W_a^2 + W_r^2}}. \quad (10.7)$$

Значениями мгновенного коэффициента мощности пользуются при нахождении мощности компенсирующих устройств для определенных режимов (например, максимальной или минимальной нагрузки предприятия). Средние и средневзвешенные значения коэффициентов мощности служат для определения показателей работы предприятий для расчетов за электроэнергию, использованную за определенный период времени (обычно за месяц).

Повышение коэффициента мощности потребителей может достигаться путем:

- а) рационализации работы электрооборудования, установленного у потребителей;
- б) компенсации реактивной мощности у потребителя.

10.3 Источники реактивной мощности: синхронные генераторы, двигатели и компенсаторы, статические источники реактивной мощности

Для обеспечения работы генераторов с номинальными параметрами и для разгрузки сети от реактивной мощности целесообразно часть этой мощности генерировать на месте ее потребления.

Основными источниками реактивной мощности, устанавливаемыми на месте потребления, являются синхронные компенсаторы и статические конденсаторы. Кроме них, в промышленных установках для этих же целей внедряются компенсационные преобразователи и статические источники реактивной мощности с применением тиристорov.

Наиболее широко используют статические конденсаторы на напряжении до 1000 В и 6-10 кВ.

Синхронные компенсаторы устанавливаются на напряжении 6-10 кВ приемных подстанций.

Все эти устройства являются потребителями опережающей (емкостной) реактивной мощности или, что то же самое, – источниками отстающей реактивной мощности, выдаваемой ими в сеть (рис. 10.4).

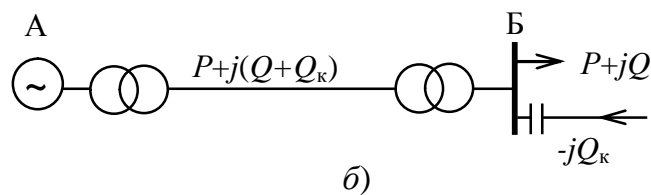
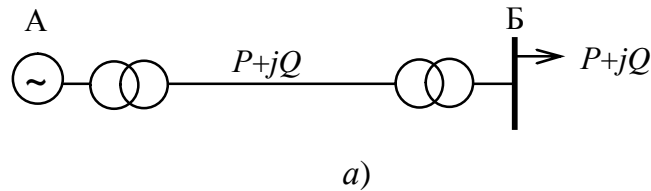


Рис. 10.4 – Схемы электропередачи: а – без компенсации;

б – с компенсацией

а) изображена передача электроэнергии от электростанции А к потребительской подстанции Б. Передаваемая мощность составляет $P + jQ$;

б) при установке у потребителя статических конденсаторов мощностью Q_k мощность, передаваемая по сети, будет $P + j(Q - Q_k)$.

Мы видим, что реактивная мощность, передаваемая от электростанции, уменьшилась или, как говорят, стала скомпенсированной на величину мощности, вырабатываемой конденсаторной батареей. Эту мощность потребитель получает теперь в значительной части непосредственно от компенсирующей установки.

Потери активной мощности снижаются

$$\Delta P = \frac{P^2 + (Q - Q_k) \cdot R}{U^2} \quad (10.8)$$

При компенсации реактивной мощности уменьшаются и потери напряжения в электропередачах. Если до компенсации мы имели потерю напряжения в местной сети

$$\Delta U = \frac{P \cdot R + Q \cdot X}{U}, \quad (10.9)$$

то при наличии компенсации она будет снижена до величины

$$\Delta U'_k = \frac{P \cdot R + (Q - Q_k) X}{U}. \quad (10.10)$$

Применяемые в местных сетях конденсаторы для компенсации реактивной мощности выпускаются на напряжения 220, 380 и 660 В в трехфазном исполнении мощностью от 3 до 10 квар и на напряжения 1,05; 3,15; 6,3 и 10,5 кВ – в однофазном исполнении мощностью от 13 до 75 квар.

Так как мощность отдельных конденсаторов сравнительно невелика, то обычно их соединяют параллельно в батареи, размещаемые в комплектных шкафах. Часто применяют установки, состоящие из нескольких групп или секций батарей конденсаторов, что делает возможным ступенчатое регулирование мощности конденсаторов, а стало быть, и напряжения установки.

Конденсаторные установки, применяемые на промышленных предприятиях, бывают либо индивидуальными, либо групповыми, либо централизованными. Первые подключают к цеховым сборкам, непосредственно у электродвигателей, вторые – к групповым шинам напряжением до 660 В, третьи, рассчитанные на напряжение 6-10 кВ, – к сборным шинам подстанций или к вводам трансформаторов. Обычно конденсаторы включают на линейное напряжение (треугольником), причем каждый конденсатор или группу из 3-5 конденсаторов защищают плавким предохранителем. Всю батарею конденсаторов подключают к сборным шинам через автоматический выключатель (высокого или низкого напряжения)

Примерная схема включения конденсаторной батареи, рассчитанной на напряжение 6-10 кВ, изображена на рис 10.5.

Батарея конденсаторов должна быть снабжена разрядным сопротивлением, наглухо присоединенным к ее зажимам. Разрядным сопротивлением для конденсаторных установок напряжением 6-10 кВ служат трансформаторы напряжения ТН, а для конденсаторных батарей напряжением до 380В – лампы накаливания. Необходимость в разрядных сопротивлениях диктуется тем, что при отключении конденсаторов от сети в них остается электрический заряд и сохраняется напряжение, близкое по величине к напряжению сети. Будучи же замкнутыми (после отключения) на разрядное сопротивление, конденсаторы быстро теряют свой электрический заряд; спадает до нуля и напряжение, что

обеспечивает безопасность обслуживания установки. От других компенсирующих устройств конденсаторные установки выгодно отличаются простотой устройства и обслуживания, отсутствием вращающихся частей и малыми потерями активной мощности. К недостаткам конденсаторных батарей следует отнести зависимость их мощности от квадрата напряжения сети и невозможность плавного регулирования реактивной мощности, а, следовательно, и напряжения установки.

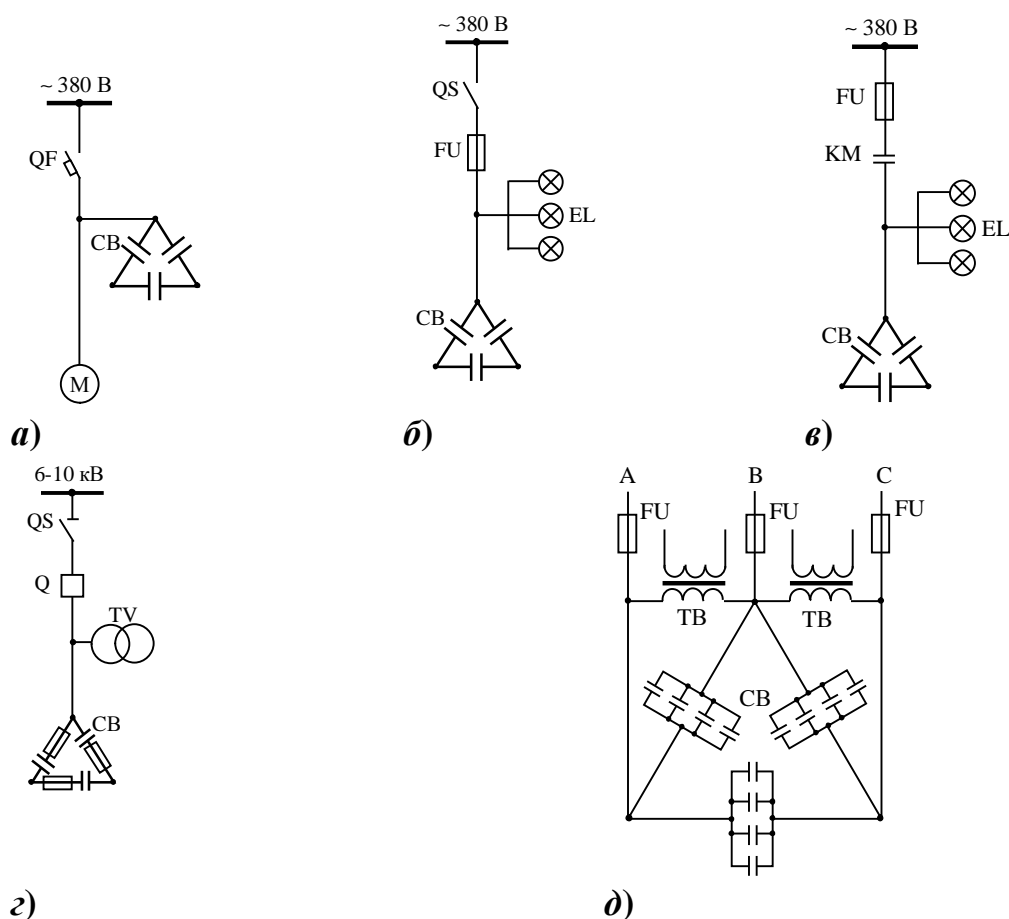


Рис.. 10.5 – Схема включения конденсаторной бата-

реи

Современные конденсаторные установки применяются в виде комплектных устройств, собираемых в шкафах с аппаратами защиты, управления, измерительными приборами и аппаратурой для автоматического регулирования мощности, а также разрядными устройствами. На напряжение 380В подобные устройства изготавливаются типа УК-0,380 мощностью от 150 до 300 квар, а на напряжение 6 и 10 кВ – типа КУ-6 и КУ-10 внутренней и КУН-6 и КУН-10 – наружной установки мощностью от 200 до 400 квар.

11 РАСЧЕТ МОЩНОСТИ КОМПЕНСИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ

11.1 Расчет мощности батарей конденсаторов

При выборе мощности компенсирующих устройств надо стремиться к правильному распределению источников реактивной мощности и к наиболее экономичной загрузке сетей.

Мощность компенсирующего устройства электроустановки потребителя электрической энергии определяется по формуле:

$$Q_k = P(\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2); \quad (11.1)$$

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{Q}{P}; \quad \operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{Q - Q_k}{P}. \quad (11.2)$$

Выбор средств компенсации должен производиться для режима наибольшего потребления реактивной мощности в сети проектируемой электроустановки.

Выбор типа, мощности, места установки и режима работы компенсирующих устройств должен обеспечивать наибольшую экономичность при соблюдении:

- а) допустимых режимов напряжения в питающей и распределительных сетях;
- б) допустимых токовых нагрузок во всех элементах сети;
- в) режимов работы источников реактивной мощности в допустимых пределах;
- г) необходимого резерва реактивной мощности.

Критерием экономичности является минимум приведенных затрат, при определении которых следует учитывать:

- а) затраты на установку компенсирующих устройств и дополнительного оборудования к ним;
- б) снижение стоимости оборудования трансформаторных подстанций и сооружения распределительной и питающей сети, а также потерь электроэнергии в них;
- в) снижение установленной мощности электростанций, обусловленное уменьшением потерь активной мощности.

Выбор мощности компенсирующих устройств осуществляется в два этапа:

На первом этапе определяется:

- мощность батарей низковольтных конденсаторов, устанавливаемых в сети до 1 кВ по критерию выбора минимального числа цеховых трансформаторных подстанций;
- рассчитывается реактивная мощность синхронных двигателей, которую экономически целесообразно использовать для

целей компенсации реактивной мощности по сравнению с потреблением из энергосистемы, не превышающим экономического значения.

По завершении расчетов первого этапа составляется баланс реактивной мощности на границе балансового разграничения с энергосистемой. В случае дисбаланса реактивной мощности выполняется второй этап – рассматривается экономическая целесообразность получения дополнительной реактивной мощности за счет увеличения мощности батарей низковольтных компенсаторов, более полного использования реактивной мощности, генерируемой синхронными двигателями. На втором этапе расчетов также определяется целесообразность установки батарей высоковольтных конденсаторов (БВК) в сети 6-10 кВ.

Ход расчета

Для каждой технологической группы электроприемников (цеха, корпуса и т.д.) определяется минимальное число цеховых трансформаторов одинаковой единичной мощностью при полной компенсации

$$N_0 = \frac{P}{\beta_{\text{тр}} \cdot S_{\text{тр}}}, \quad (11.3)$$

где P – активная мощность на стороне до 1000 В;

$\beta_{\text{тр}}$ – коэффициент загрузки трансформаторов;

$S_{\text{тр}}$ – номинальная мощность одного трансформатора.

Полученное число округляется до ближайшего большего целого числа.

По найденному количеству трансформаторов рассчитывается наибольшая мощность, которая может быть передана через трансформаторы в сеть до 1 кВ:

$$Q_{\text{т}} = \sqrt{(K_{\text{пер}} \cdot N_{\text{мин}} \cdot \beta^2 \cdot S_{\text{тр}})^2 - P_{\text{рн}}^2}, \quad (11.4)$$

где $K_{\text{пер}}$ – коэффициент, учитывающий допустимую систематическую перегрузку трансформаторов в течение одной смены,

$K_{\text{пер}} = 1,1$ – для трансформаторов масляных и заполненных негорючей жидкостью,

$K_{\text{пер}} = 1,05$ – для сухих трансформаторов.

Тогда суммарная мощность БНК определится по выражению:

$$Q_{\text{нк1}} = Q_{\text{рн}} - Q_{\text{т}}. \quad (11.5)$$

Если расчетное значение $Q_{\text{нк1}} \leq 0$, то установка конденсаторов на стороне 0,4 кВ не требуется.

11.2 Оценка целесообразности использования высоковольтных синхронных электродвигателей для компенсации реактивной мощности

Каждый установленный синхронный двигатель является источником реактивной мощности, минимальную величину которой по условию устойчивой работы СД определяют по формуле:

$$Q_{\text{сд}} = P_{\text{ном СД}} \cdot \beta_{\text{сд}} \cdot \text{tg}\varphi, \quad (11.6)$$

где $P_{\text{ном СД}}$ – номинальная активная мощность СД;

$\beta_{\text{сд}}$ – коэффициент загрузки СД по активной мощности;

$\text{tg}\varphi$ – номинальный коэффициент реактивной мощности СД.

Техническая возможность использования синхронного электродвигателя в качестве источника реактивной мощности ограничивается наибольшей реактивной мощностью, которую он может генерировать без нарушения условий допустимого нагрева обмоток и железных частей ротора и статора. Эта мощность называется располагаемой реактивной мощностью СД и вычисляется

$$Q_{\text{сд}} = \alpha_{\text{м}} \cdot S_{\text{СД ном}} = \alpha_{\text{м}} \sqrt{P_{\text{ном СД}}^2 - Q_{\text{ном СД}}^2}, \quad (11.7)$$

где $\alpha_{\text{м}}$ – коэффициент допустимой перегрузки СД, зависящий от его загрузки по активной мощности и определяется по номограмме (рис. 11.1) или по справочным данным.

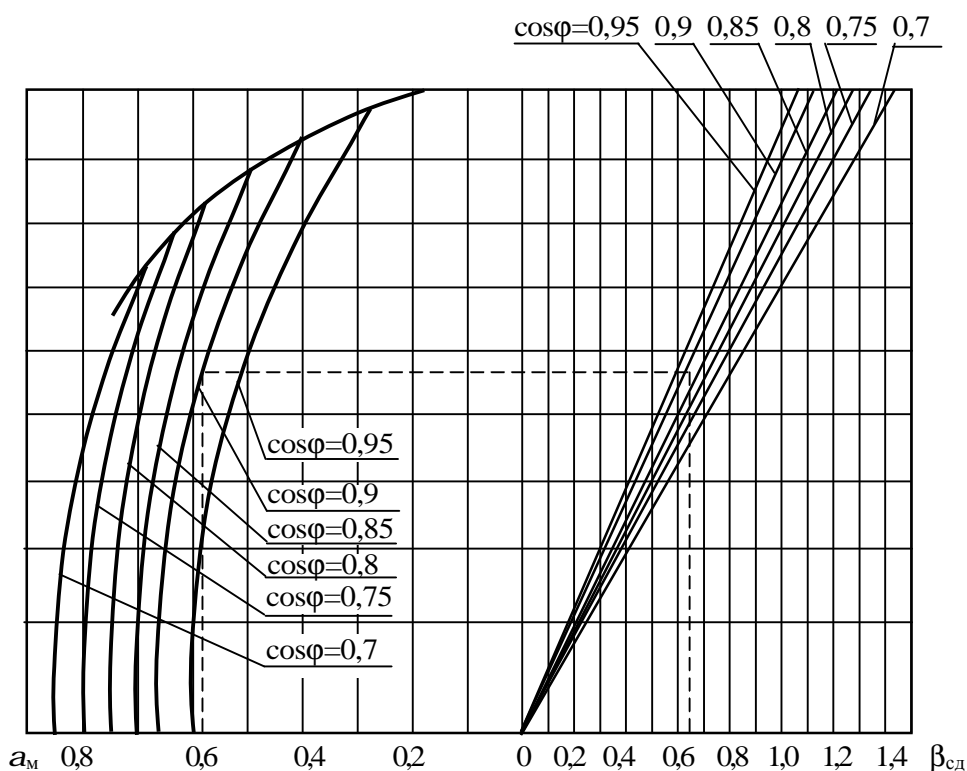


Рис. 11.1 – Номограмма для определения коэффициента допустимой перегрузки СД

Величина генерируемой реактивной мощности СД зависит от номинальной мощности и частоты вращения СД.

11.3 Расчет экономического значения реактивной мощности, потребляемой предприятием из энергосистемы

Для предприятий с присоединенной мощностью 750 кВА и более экономическое значение реактивной мощности, потребляемой в часы максимума, определяется энергосистемой.

$$Q_3 = P_p \cdot tg\varphi_{\text{эн}}, \quad (11.10)$$

где P_p – расчетная активная нагрузка предприятия;

$tg\varphi_{\text{эн}}$ – нормативное значение реактивной мощности.

Значение $tg\varphi_{\text{эн}}$ определяется по формуле:

$$tg\varphi_{\text{эн}} = \frac{240}{ad_{\text{max}} + 50b} \cdot tg\varphi_{\delta} \cdot K_1, \quad (11.11)$$

где a – основная ставка тарифа на активную мощность, руб/кВт год;

b – дополнительная ставка тарифа за активную энергию, руб/кВтч;

d_{\max} – отношение потребления энергии в квартале максимума нагрузки энергосистемы к потреблению в квартале его максимальной нагрузки; при отсутствии указанных данных принимают $= 1$;

$\operatorname{tg} \varphi_6$ – базовый коэффициент реактивной мощности, принимаемый равным 0,25; 0,3 и 0,4 для сети 6-20 кВ, присоединенной к шинам подстанции с высшим напряжением соответственно 35, 110-150 и 220-330 кВ;

K_1 – коэффициент, отражающий изменение цен на конденсаторы, принимается равным $K = K_w$, (K_w – коэффициент увеличения ставки двухставочного тарифа на электроэнергию по сравнению со значениями, указанными в прейскуранте).

12 АНАЛИЗ БАЛАНСА РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА СЕТИ ПОТРЕБИТЕЛЯ И ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

12.1 Анализ баланса реактивной мощности

По завершении расчетов первого этапа составляется баланс реактивной мощности на границе балансового разграничения с энергосистемой. В случае дисбаланса реактивной мощности выполняется второй этап

$$Q_{\text{вк}} = \sum Q_{\text{р.в}_i} - Q_{\text{ТЭЦ}} - Q_{\text{СД}} - Q_{\text{э1}}, \quad (12.1)$$

где $Q_{\text{р.в}_i}$ – некомпенсированная расчетная нагрузка на шинах 6кВ ТП и РП;

$Q_{\text{ТЭЦ}}$ – реактивная мощность, генерируемая синхронными генераторами ТЭЦ;

$Q_{\text{СД}}$ – реактивная мощность, генерируемая синхронными двигателями;

$Q_{\text{э1}}$ – экономически оптимальная входная реактивная мощность, которая может быть передана в период наибольшей загрузки энергосистемы.

Некомпенсированную реактивную нагрузку на шинах ТП определяют:

$$Q_{\text{р.в}_i} = Q_{\text{расч}_i} - Q_{\text{ку}_i} + \Delta Q_{\text{Т}_i}, \quad (12.2)$$

где $Q_{\text{расч}_i}$ – расчетная реактивная мощность на шинах 0,4 кВ i -го ТП.

$Q_{\text{ку}_i}$ – мощность установленной БНК.

$\Delta Q_{\text{Т}_i}$ – суммарные реактивные потери в трансформаторах, определяются по таблице в зависимости от мощности трансформатора и коэффициента загрузки или определяется по исходным данным.

При выборе места установки компенсирующих устройств следует иметь в виду, что наибольший экономический эффект достигается при их установке в непосредственной близости от потребляющих реактивную мощность приемников. Передача реактивной мощности из сети 6-35 кВ в сеть до 1000 В, как правило, оказывается экономически невыгодной, особенно, если это

приводит к увеличению числа понижающих трансформаторов. Для электроустановок небольшой мощности, присоединяемых к действующим сетям 6-10 кВ, как правило, целесообразно иметь полную компенсацию на стороне до 1000 В.

12.2 Распределение мощности КУ напряжением до 1000 В

в сети предприятия

В группе одноступенчатых трансформаторов суммарная мощность БНК напряжением до 1000 В распределяется пропорционально их реактивной нагрузке.

Для каждого цехового трансформатора выбранная мощность КУ должна распределяться в сети данного трансформатора по минимуму потерь электроэнергии с учетом технических возможностей присоединения КУ.

Основными схемами внутрицехового электроснабжения (до 1000В) являются:

- блок трансформатор-магистраль (один шинопровод с ответвлениями);
- радиально-магистральная схема, когда от трансформатора получают питание два магистральных шинопровода;
- радиальная схема с кабельными линиями.

Распределение мощности КУ в схеме магистрального шинопровода с ответвлениями

А. Ответвления в виде ШРА (рис. 12.1)

Суммарная мощность КУ должна распределяться между ответвлениями (начиная с конца) таким образом, чтобы обеспечивалась полная компенсация реактивной мощности, но без перекompенсации, на дальнем от трансформатора распределительных шинопроводах.

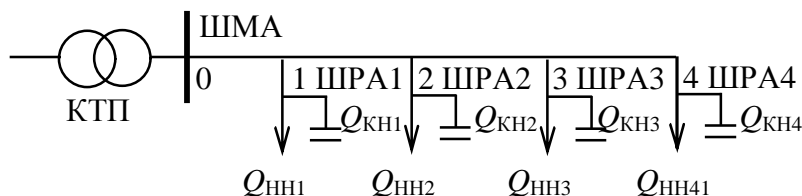


Рис. 12.1– Схема магистрального шинопровода в виде ШРА

При этом может оказаться, что на ближайшем к трансформатору распределительном шинопроводе не требуется предусматривать КУ.

Б. Ответвления в виде отдельных нагрузок (рис. 12.2)

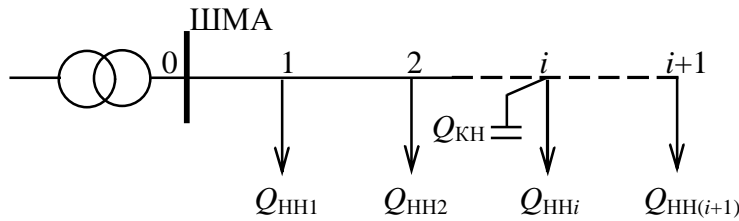


Рис. 12.2– Схема магистрального шинопровода в виде отдельных нагрузок

Если на шинопроводе предусмотрена только одна КУ мощностью, тогда точка ее присоединения в схеме присоединения в схеме определяется условиям

$$Q_{HHi} > Q_{KH}/2 > Q_{HH(i-1)}, \quad (12.3)$$

где Q_{HHi} – расчетная реактивная нагрузка пролета ШП перед узлом;

$Q_{HH(i-1)}$ – расчетная реактивная нагрузка пролета ШП после узла.

При установке двух КУ (рис. 12.3) их мощность и точка присоединения определяется следующим образом:

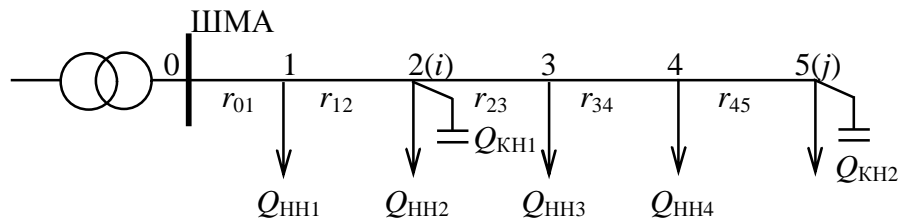


Рис. 12.3 – Схема магистрального шинопровода в виде отдельных нагрузок при установке двух КУ

Ход решений:

1. Предварительно принимаем:

$$Q_{KH1} = Q_{KH2}. \quad (12.4)$$

2. Находим точку присоединения дальней КУ

$$Q_{HHj} > Q_{KH1}/2 > Q_{HH(j+1)}; \quad (12.5)$$

$$Q_{HHj} > Q_{KH}/4 > Q_{HH(j+1)}. \quad (12.6)$$

3. Определяется точка присоединения ближней КУ

$$Q_{HHi} - Q_{KH2} > Q_{KH1}/4 > Q_{HH(i+1)} - Q_{KH2}. \quad (12.7)$$

4. Уточняется мощность второй КУ

$$Q_{KH2} = \sum Q_{HHi} \cdot r_{ш_i} / \sum r_{HHi}, \quad (12.8)$$

где $Q_{\text{нн}i}$ – реактивная нагрузка участков шинопровода между i и j узлами присоединения КУ;

$r_{\text{ш}i}$ – сопротивление участков шинопровода между узлами.

Допускается заменять соответствующими длинами участков.

5. Уточняем расчетную мощность ближней КУ.

$$Q_{\text{кн}1} = Q_{\text{кн}} - Q_{\text{кн}2}. \quad (12.9)$$

Распределение примерной мощности конденсаторной установки для радиально-магистральной схемы (рис. 12.4)

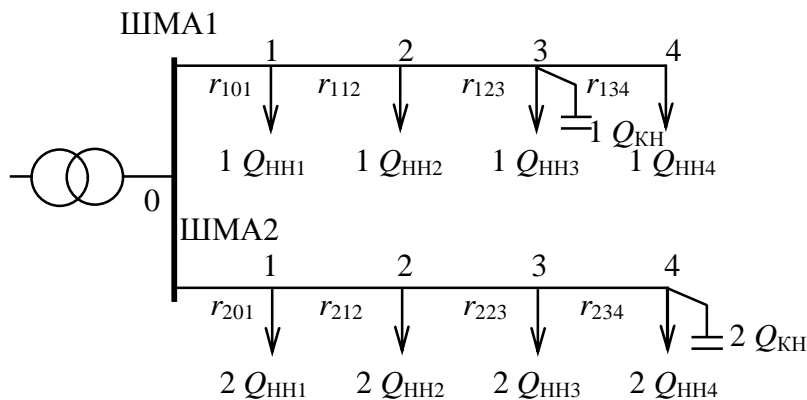


Рис. 12.4 – Радиально – магистральная схема

При определении суммарной мощности конденсаторной установки между двумя магистральными шинопроводами расчет выполняется в следующем порядке:

1. Определяется активное сопротивление каждого шинопровода

$$r_{\text{экр}} = \sum r_i. \quad (12.10)$$

2. Определяется реактивная нагрузка каждого шинопровода

$$Q_{\text{экр}1} = \sum Q_{\text{нн}i} \cdot r_i / \sum r_i. \quad (12.11)$$

3. Определяется реактивная нагрузка всей схемы

$$Q_{\text{экр}} = Q_{\text{экр}1} + Q_{\text{экр}2}. \quad (12.12)$$

4. Определяется эквивалентное сопротивление расчетной схемы

$$R_{\text{экр}} = \frac{1}{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_1}}. \quad (12.13)$$

5. Определяется реактивную (не скомпенсированную) нагрузку через трансформатор

$$Q_T = Q_{\text{ЭКВ}} - Q_{\text{КН}}. \quad (12.14)$$

6. Определяется мощность конденсаторной установки каждого шинопровода

$$Q_{\text{КН1}} = Q_{\text{ЭКВ1}} - Q_{\text{КТ}} (R_{\text{ЭКВ}} / r_{\text{ЭКВ1}}). \quad (12.15)$$

7. Определяется точку присоединения конденсаторной установки.

Распределение примерной мощности конденсаторной установки для схемы с радиальными линиями (рис. 12.5)

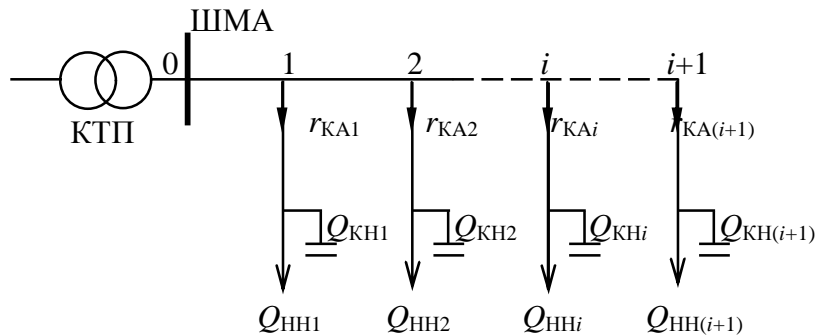


Рис. 12.5 – Схема с радиальными линиями

Допускается распределение мощности конденсаторной установки между кабельными линиями пропорционально их реактивной нагрузке при условии:

- если длина радиальных линий менее 100 м;
- при любых длинах радиальных линий, если разница между их сопротивлениями не превышает 200 %.

Если это условие не выполняется, распределение мощности конденсаторной установки между кабельными линиями осуществляются пропорционально сопротивлению кабельных линий и мощность в конце каждой кабельной линии определяется по формуле:

$$Q_{\text{КН}_i} = Q_{\text{НН}_i} - (Q_{\text{НН}} - Q_{\text{КН}})(R_{\text{ЭКВ}} / r_i), \quad (12.16)$$

где $Q_{\text{НН}_i}$ – расчетная реактивная нагрузка радиальной линии;

$Q_{\text{НН}}$ – суммарная реактивная нагрузка трансформатора;

$Q_{\text{КН}}$ – суммарная мощность компенсирующих устройств на напряжение до 1000 В

$R_{\text{ЭКВ}}$ – эквивалентное сопротивление расчетной схемы;

r_i – активное сопротивление радиальной линии.

13 НОРМИРОВАНИЕ РАСХОДА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

13.1 Формирование системы нормирования электрической энергии в Республике Беларусь

В нашей стране большое внимание уделяется энергоресурсам. Так как своими ресурсами мы не можем обеспечить наши потребности, поэтому приходится экономить.

Чтобы знать, где можно сэкономить, в первую очередь необходимо определиться, куда расходуются энергоресурсы. Для этого в нашей стране применяется нормирование энергоресурсов.

Основным нормативным документом, регламентирующим работу по нормированию расхода ТЭР является Закон Республики Беларусь от 8 января 2015г. N 239-З «ОБ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИИ» (вступил в силу 12июля 2015 г.)

В этом законе есть две статьи, которые непосредственно связаны с нормированием.

Статья 11. Энергетическое обследование (энергоаудит).

В ней говорится, что Энергетическому обследованию в обязательном порядке подлежат юридические лица с годовым потреблением ТЭР 1,5 тысяч т.у.т. и более.

Обязательное энергетическое обследование проводится не реже одного раза в 5 лет.

Статья 17. Установление норм расхода ТЭР.

Нормы расхода ТЭР устанавливаются для юридических лиц с годовым потреблением ТЭР 100 тонн условного топлива и более и имеющих источники тепловой энергии производительностью 0,5 Гкал/ч и более.

Вторым документом, касающимся энергосбережения и нормирования является Постановление СМ РБ №216 от 18 марта 2016г. «Об утверждении положений по вопросам энергосбережения...

СМ РБ ПОСТАНОВЛЯЕТ:

1. Утвердить прилагаемые:
2. Положение о порядке организации и проведения энергетических обследований (энергоаудитов).
3. Положение о порядке разработки, установления и пересмотра норм расхода топливно - энергетических ресурсов.

Нормы расхода ТЭР для юридических лиц с годовым потреблением ТЭР 1500 т.у.т. и выше согласовываются и устанавливаются ДЕПАРТАМЕНТОМ энергоэффективности с годовым потреблением ТЭР от 100 т.у.т. до 1500 т.у.т. согласовываются и устанавливаются областными управлениями по надзору за рациональным использованием ТЭР.

Нормы расхода ТЭР должны быть утверждены за месяц до начала их действия, т.е. до 1 декабря.

В случае несвоевременного представления организацией материалов для согласования норм решение о дальнейшем их рассмотрении принимает только Департамент по энергоэффективности Госстандарта, в том числе на основании ходатайства соответствующего республиканского органа государственного управления, иной государственной организации, подчиненной Правительству Республики Беларусь, облисполкома (Минского горисполкома).

Пересмотр норм в сторону увеличения осуществляется только Департаментом по энергоэффективности Госстандарта (документы предоставляются в региональные управления для заключения).

13.2 Нормирование расхода ТЭР

Основная задача нормирования расхода ТЭР – обеспечить применение при планировании производства продукции технически и экономически обоснованных и прогрессивных норм расхода ТЭР

Нормирование потребления ТЭР необходимо:

- для определения энергетической составляющей затрат в структуре себестоимости продукции (при калькуляции себестоимости)

- для оценки эффективности использования ТЭР.

Под нормой расхода ЭЭ понимают меру потребления ЭЭ на производство единицы продукции определенного качества в планируемом периоде (квартал, год) .

Требования, предъявляемые к разрабатываемым нормам:

- учет условий производства и внедрения мероприятий по энергосбережению;
- способствование максимальной мобилизации резервов экономики ЭЭ;
- взаимосвязанность с другими показателями хозяйственной деятельности ПП.

Проведенные исследования показали возможность классифицировать нормы по следующим признакам:

По количеству нормируемых объектов:

-индивидуальные;

-групповые.

По составу норм расхода ТЭР:

- технологические;

- общепроизводственные.

По периоду действия:

-текущие;

-прогрессивные.

Индивидуальная норма расхода ТЭР – мера планового количества потребления ТЭР одним энергопотребителем на производство единицы продукции (работы), устанавливаемая по типам определенных энергопотребителей применительно к прогнозируемым объемам и условиям производства продукции (работ).

Индивидуальная норма является технологической, служит для расчета групповой нормы расхода и определяется на базе теоретических расчетов, экспериментально подтвержденных нормативно-техническими характеристиками энергопотребителей, с учетом достигнутых показателей энергопотребления и планируемых уровней энергосбережения. Индивидуальная технологическая норма определяет расход ТЭР на основные производственные нужды — создание либо выполнение конкретного вида продукции (работ). В тех случаях, когда отдельные вспомогательные производственно-эксплуатационные нужды (создание требуемых параметров микроклимата, обеспечение мер по охране труда, технике безопасности, пожарной безопасности и производственной санитарии) являются составной частью технологического процесса, расходы энергоресурсов на них относятся к технологическим расходам.

Мера планового количества потребления ТЭР на производство единицы продукции, устанавливаемая по типам определенных энергопотребляющих агрегатов или по отдельным технологическим схемам.

$$H_m = \frac{W_m}{\Pi} \quad (13.1)$$

где W – расход ТЭР на основные и вспомогательные нужды при производстве продукции (работ, услуг), за исключением расхо-

да тепловой энергии на отопление, вентиляцию помещений, горячее водоснабжение и потери тепловой энергии в тепловых сетях, нормируемого отдельно;

П– объем производства продукции (работ, услуг).

Групповая норма расхода ТЭР – это мера расхода ТЭР несколькими (группами) энергопотребителями на производство всего объема одноименной продукции (работ) по различным уровням управления (рабочее место, строительный участок, строительная организация, административно-территориальная единица). Групповая норма рассчитывается на основе индивидуальных норм и планируемых объемов производства, или исходя из фактических удельных расходов ТЭР базисного года с учетом достигнутых показателей энергопотребления и планируемых энергосберегающих мероприятий соответствующего уровня управления. Групповая норма расхода ТЭР $H_{гр}$ рассчитывается как средневзвешенная величина по формуле

Определяет меру расхода ТЭР на производство всего объема одноименной продукции по различным уровням предприятия

$$H_{гр} = \frac{\sum_{n=1}^n (H_{он} \cdot P_n)}{\sum P_n} \quad (13.2)$$

где V – объем произведенной продукции (работ) отдельным энергопотребителем;

n – количество энергопотребителей, участвующих в производстве.

Общепроизводственная норма расхода ТЭР – групповая технологическая норма расхода ТЭР, учитывающая расход топлива на основные (транспортные и технологические) и вспомогательные нужды (расход ТЭР на создание требуемых параметров микроклимата, обеспечение мер по охране труда, технике безопасности, пожарной безопасности и производственной санитарии, на автоматизацию процессов управления и пр.) строительного производства.

Общепроизводственная норма расхода ТЭР включает технологическую норму и дополнительно учитывает расход энергоресурсов на вспомогательные нужды. Общепроизводственная норма классифицируется по следующим видам:

1) общепроизводственная I (площадочная) норма $H_{I}^{пр}$ включает расход ТЭР на основные производственные и вспомогательные нужды на отдельном участке строительной площадки (рабочем месте) и может быть определена по формуле

$$H_{I}^{пр} = H_{T} + \frac{Q_{всп.у}}{V_{у}}, \quad (13.3)$$

где $Q_{всп.у}$ – расход ТЭР на вспомогательные нужды отдельного участка стройплощадки (рабочего места);

$V_{у}$ – объем выполненной продукции (работ) на отдельном участке стройплощадки (рабочем месте);

2) общепроизводственная II (объектная) состоит из общеплощадочной (общепроизводственной I) нормы и расхода ТЭР на хозяйственно-бытовые нужды (обслуживание временных зданий и сооружений, дорог, инженерных сетей и коммуникаций) строительного объекта;

3) общепроизводственная III (строительная организация в целом) состоит из общепроизводственной II (объектной) нормы, суммарных расходов ТЭР во вспомогательных службах строительной организации.

Общепроизводственные II и III нормы расхода ТЭР при производстве H_{II} (H_{III}) рассчитываются по формуле

$$H_{II} (H_{III}) = H_{I} (H_{II}) + \frac{Q_{всп.о}}{V_{о}}, \quad (13.4)$$

где $Q_{всп.о}$ – расход ТЭР на вспомогательные нужды строительной организации;

$V_{о}$ – объем выполненной продукции (работ) организацией в целом.

Текущие нормы расхода ТЭР устанавливаются на период до одного календарного года с поквартальной разбивкой, в том числе по результатам проведенного энергетического обследования для квартального и годового планирования и контроля за фактическими расходами ЭЭ.

Прогрессивная норма-

Мера потребления ТЭР, измеряемая в условных единицах, на производство единицы продукции определенного качества в результате внедрения в производство новейших технических, технологических и организационных энергосберегающих мероприятий.

Прогрессивные нормы расхода ТЭР устанавливаются на период от одного года до пяти лет, в том числе по результатам проведенного энергетического обследования (энергоаудита), для юридических лиц с годовым потреблением ТЭР 1500 тонн условного топлива и более

Текущая норма расхода ТЭР на производство продукции (работ, услуг) рассчитывается по следующей формуле

$$H_{\text{тек.}} = \frac{W}{\Pi}, \quad (13.5).$$

где $H_{\text{тек.}}$ – текущая норма расхода ТЭР на производство продукции (работ, услуг);

W – расход ТЭР на основные и вспомогательные нужды при производстве продукции (работ, услуг), за исключением расхода тепловой энергии на отопление, вентиляцию помещений, горячее водоснабжение и потери тепловой энергии в тепловых сетях, нормируемого отдельно;

Π – объем производства продукции (работ, услуг).

Общепроизводственная норма расхода ТЭР

Включает технологическую норму и дополнительно учитывает расходы ТЭР на вспомогательные нужды.

$$H_{\text{ц}} = H_{\text{т}} + \frac{W_{\text{всп}}}{\Pi} \quad (13.6)$$

Прогрессивная норма расхода ТЭР – мера потребления ТЭР на единицу продукции (работы) определенного качества в результате внедрения в строительное производство новейших технических и энергосберегающих организационно-технологических мероприятий. Прогрессивные нормы расхода ТЭР на производство продукции (работы) определяются административно-территориальными единицами Республики Беларусь с учетом лучших отечественных и зарубежных показателей, и должны стимулировать проведение работы по энергосбережению в строительных организациях. Система прогрессивных норм расхода ТЭР включает соответствующие текущие и перспективные нормы для отдельных энергопотребителей, технологических процессов, некоторых видов продукции (работ). При разработке прогрессивных норм расхода

ТЭР в строительном производстве за основу могут быть приняты результаты энергетического обследования строительно-монтажных процессов.

Определение прогрессивных норм расхода ТЭР производится расчетно-аналитическим методом по следующей формуле

$$H_{\text{пр.}} = H_{\text{тек.}} - \frac{\Delta W}{\Pi}, \quad (13.7)$$

где $H_{\text{пр.}}$ – прогрессивная норма расхода ТЭР на производство продукции (работ, услуг);

$H_{\text{тек.}}$ – текущая норма расхода ТЭР на производство продукции (работ, услуг);

ΔW – величина резерва экономии расхода ТЭР на производство продукции (работ, услуг) за счет реализации энергосберегающих мероприятий;

Π – объем производства продукции (работ, услуг).

Таблица 13.1

Виды норм по статьям расхода ТЭР

Виды норм	Статьи расходов и потерь топливно-энергетических ресурсов	Виды ресурсов		
		Тепловая энергия	Электрическая энергия	Топливо
1	2	3	4	5
Технологическая	• Расход топлива, тепловой или электрической энергии на выполнение технологических процессов, включая расходы на поддержку технологических агрегатов в горячем резерве, на разогревы и пуски после текущих ремонтов и холодных простоев;	+	+	+
	• Потери топлива, тепловой или электрической энергии в технологических агрегатах и установках.	+	+	+
Общепроизводственная цеховая	1. Расходы тепловой или электрической энергии, входящих в состав технологических норм.	+	+	-
	2. Расходы тепловой или электрической энергии на вспомогательные нужды цеха:			
	• отопления	+	+	-
	• вентиляции	+	+	-
	• освещение	-	+	-
	• внутренние цеховой транспорт	-	+	-
	• цеховые ремонтные мастерские	+	+	-
	• хозяйственно-бытовые и санитарно-гигиенические потребности цеха (душевые, умывальники и др.)	+	+	-
Общепроизводственные заводская	3. Технически неизбежные потери энергии во внутренних цеховых сетях и преобразователях.	+	+	-
	1. Расходы тепловой или электрической энергии, входящих в состав общепроизводственных цеховых норм.	+	+	-
	2. Общие по предприятию затраты тепловой или электрической энергии на:			
	• водоснабжение, производство холода и др.;	-	+	-
	• производственные нужды вспомогательных подразделений и служб (ремонтные, механические цеха, мастерские, лаборатории, склады и др.), включая их освещение, вентиляцию, отоп.;	+	+	-
	• транспорт;	-	+	-
	• наружное освещение территории предприятия.	-	+	-
	3. Технически неизбежные потери энергии в общезаводских тепловых или электрических сетях и преобразователях (до цеховых пунктов учета).	+	+	-

При разработке удельных норм расхода ТЭР учитываются:

1. Уникальность каждого предприятия по своей структуре
2. Различные условия функционирования ПП

Уникальность каждого предприятия по своей структуре

Это различие закладывается на стадии проектирования, а в условиях постоянной реконструкции и модернизации оборудования усиливается. Даже если в отрасли будут выделены предприятия со схожей номенклатурой выпускаемой продукции и объемами производства, но различными УРЭ на выпуск продукции, то полный перенос технологических решений с менее энергоемкого производства на более энергоемкое производство в большинстве случаев невозможен. Равно как и внедрение одного и того же технологического энергосберегающего мероприятия на различных предприятиях может потребовать различных проектных решений.

Различные условия функционирования ПП

Обусловлены неритмичностью выпуска продукции, различной загрузкой производственных мощностей, отличием качества и источников сырья, параметрами окружающей среды. На увеличение УРЭ при неритмичном производстве влияют частые запуски технологического оборудования, а также поддержание работоспособности последнего во время вынужденного простоя. Для большинства ПП на увеличение УРЭ при низкой загрузке производственных мощностей влияет величина условно-постоянной составляющей расхода ЭЭ, не зависящая от объемов выпускаемой продукции. При снижении объемов производства доля условно-постоянной составляющей расхода ЭЭ в производстве единицы продукции возрастает, и одно лишь изменение объемов производства влечет за собой изменение УРЭ в несколько раз, что может вывести ПП из разряда энергоэффективных по отрасли в разряд неэнергоэффективных.

13.3 Существующие методы нормирования электрической энергии

Основными исходными данными для определения норм удельных расходов топливно-энергетических ресурсов являются:

- первичная техническая и технологическая документация (технологические регламенты, инструкции и др.);
- паспортные данные технологического и энергетического оборудования, режимы его работы;
- стандарты по энергосбережению;

- межотраслевые, отраслевые и региональные нормы удельных расходов ТЭР;
- нормативные показатели, характеризующие наиболее рациональные и энергетически эффективные условия производства (коэффициент использования мощности, показатели расхода энергоносителей и потерь энергии при передаче и преобразования, санитарные нормы, тепловые характеристики помещений и т.п.);
- данные об ассортименте и объемах производства продукции (оказания услуг);
- данные о плановых и фактических удельных расходах ТЭР за прошлые периоды, а также акты проверок использования топлива и энергии в производстве;
- данные об опыте по экономии и рациональному использованию ТЭР на отечественных и зарубежных предприятиях, выпускающих аналогичную продукцию (оказывают аналогичные услуги);
- план организационно-технических мероприятий по экономии топлива и тепловой и электрической энергии на соответствующий плановый период.

Существуют следующие методы нормирования электрической энергии:

- опытный
- расчетно-аналитический
- отчетно-статистический
- расчетно-статистический

Опытный метод разработки норм расхода ТЭР заключается в определении норм по данным, полученным в результате испытаний.

При этом оборудование должно быть в исправном состоянии, а технологический процесс должен осуществляться по технологическим регламентам

Расчетно-аналитический метод предусматривает определение норм расхода ТЭР расчетным путем по статьям расхода ТЭР при производстве продукции с учетом мероприятий по эффективности.

Расчетно-аналитический метод применяют для определения как индивидуальных, так групповых и общепроизводственных норм расхода ТЭР.

Расчетно-аналитический метод основан на поэтапном расчете норм по элементам расхода ТЭР с учетом конструктивных особенностей энергопотребителей, технологии и организации строительного производства.

Данный метод рационально применять для разработки укрупненных норм, т. к. он основан на использовании вторичной информации – действующих смежных норм, полученных из нормативно-справочных источников.

С помощью этого метода можно разработать технически обоснованные нормы на основе технических характеристик и свойств энергопотребителей, утвержденных нормативов и других источников технической литературы.

Данный метод предусматривает определение норм расхода ТЭР расчетным путем по группам расхода при производстве строительно-монтажных работ с учетом достигнутых показателей использования энергоресурсов и планируемых мероприятий по энергосбережению.

В ходе этих расчетов есть возможность учесть реальные условия производства, осуществить корректировку с учетом фактического состояния энергопотребителей и режима их работы, действительных параметров строительно-монтажных процессов.

Этот метод требует наличия хорошо организованной системы энергетической документации и предполагает большую трудоемкость при проведении расчетов. Нормы, определенные при помощи расчетно-аналитического метода, являются технически обоснованными.

Для большинства ПП основой расчетно-аналитического метода определения УРЭ является составление полного годового (квартального) электрического баланса ПП, который предполагает учет влияния каждой единицы электрооборудования на суммарное электропотребление. Расход ЭЭ каждым ЭП определяется:

$$W = P_{\text{уст}} \cdot K_{\text{исп}} \cdot T_p \quad (13.8)$$

Разработка электрического баланса предполагает однозначность определения количества работающего электрооборудования, режимов и продолжительности его работы:

- коэффициент использования , характеризующий загрузку оборудования по мощности и по времени, определяется либо по справочным материалам, либо по данным замеров. Значения в

справочных материалах являются усредненными данными по группам однотипного технологического оборудования. Поэтому определение по справочным материалам вносит значительную ошибку при составлении электрического баланса конкретного ПП.

- невозможность учета реально отработанного времени каждым ЭП. Вносимая погрешность увеличивается с ростом количества ЭП.

Опытно– статистический метод предусматривает определение норм на основе анализа статистических данных о фактических удельных расходах топлива, тепловой и электрической энергии и факторов, влияющих на их изменение, за ряд предшествующих лет.

Рассчитанный удельный расход электроэнергии отражает лишь среднее значение при среднем объеме выпуска продукции за рассматриваемый период и является единичным значением из множества его суточных реализаций на годовом интервале времени

Зависимость фактического суточного УРЭ от выпуска продукции на годовом интервале времени для ПП, специализирующегося на выпуске изделий из пластмассы приведена на рис. 13.1

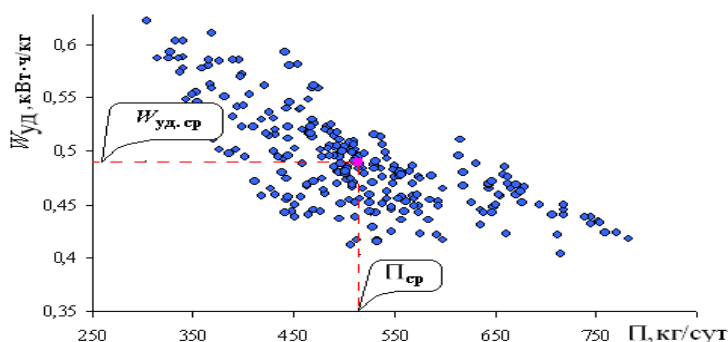


Рис. 13.1 – Зависимость фактического суточного УРЭ от выпуска продукции на годовом интервале времени для ПП, специализирующегося на выпуске изделий из пластмассы

Расчетно–статистический метод основан на разработке экономическо–статистической модели в виде зависимости фактического удельного расхода ТЭР от воздействующих на него факторов

Расчетно-статистический метод основан на анализе статистических данных о фактическом удельном расходе ТЭР с учетом факторов, влияющих на его изменение. При использовании этого метода может возникнуть ряд сложностей ввиду отсутствия требуемых данных. Метод рационально применять как исключение в тех случаях, когда невозможно использовать расчетно-аналитический и опытный методы.

Расчетно-статистический метод основан на анализе статистических данных о фактическом удельном расходе ТЭР с учетом факторов, влияющих на его изменение. При использовании этого метода может возникнуть ряд сложностей ввиду отсутствия требуемых данных. Метод рационально применять как исключение в тех случаях, когда невозможно использовать расчетно-аналитический и опытный методы.

Расчет норм осуществляется в следующей последовательности:

- определяются наиболее существенные факторы, от которых зависит УРЭ (производительность, загрузка оборудования, режим работы, параметры процесса и т. п.);
- формируется ИБД по данным статистической отчетности и оперативного учета о расходе ЭЭ и величинах исследуемых факторов (планирование эксперимента);
- с помощью регрессионного анализа определяются эмпирические зависимости расхода ЭЭ от влияющих факторов.

Преимущества расчетно-статистического метода:

– статистические данные, используемые для разработки моделей, несут информацию о существующих режимах работы ПП и соответствующих им потребностях ЭЭ;

– использование суточной (посменной) статистики позволяет учесть большее количество фактических режимов работы ПП по сравнению с использованием квартальной (годовой) статистики, что в конечном итоге повышает достоверность определения УРЭ;

– для построения моделей расхода ЭЭ используется интегральная характеристика режима электропотребления (суммарный расход ЭЭ ПП), что позволяет не учитывать режим работы каждого ЭП в отдельности.

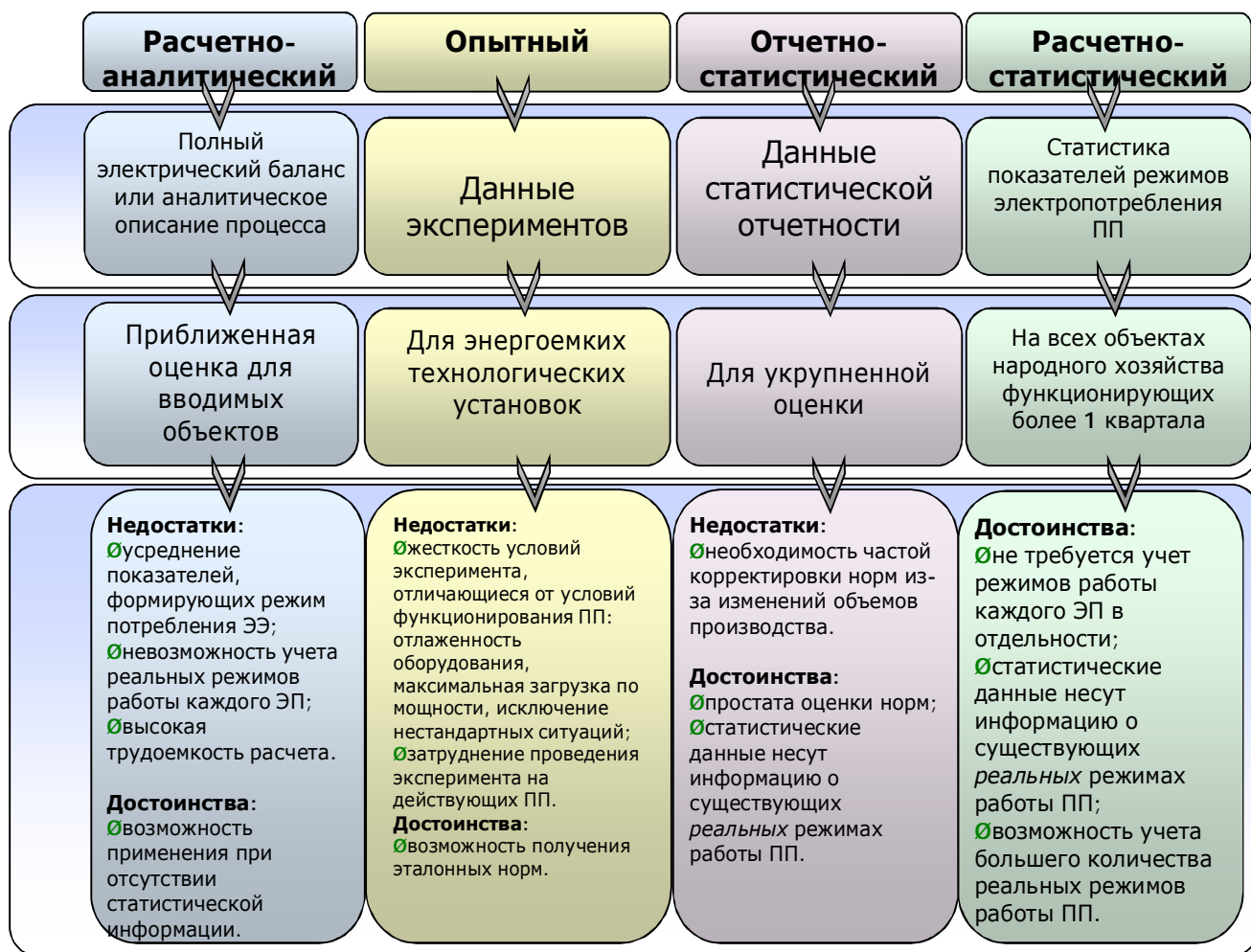


Рис. 13.2 – Методы расчета норм

14 ОСНОВНЫЕ ПУТИ УЛУЧШЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ПРОМПРЕДПРИЯТИЯХ

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

14.1 Определение оптимального количества работающих трансформаторов

Потери мощности в трансформаторах определяются по выражению

$$\Delta P_T = \frac{1}{n} \left(\frac{S}{S_H} \right)^2 \Delta P_{K3} + n \Delta P_{XX}. \quad (14.1)$$

Потери энергии:

$$\Delta W_T = \frac{1}{n} \left(\frac{S_M}{S_{HT}} \right)^2 \Delta P_{K3} \cdot t + n \Delta P_{XX} \cdot T_T = \left(\frac{1}{n} \left(\frac{S_{CK}}{S_{HT}} \right)^2 \Delta P_{K3} + n \Delta P_{XX} \right) \cdot T_T, \quad (14.2)$$

где T_T – время работы трансформаторов в течение года.

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

$$\left(\frac{S}{S_H} \right)^2 \Delta P_{K3} + \Delta P_{XX} = \frac{1}{2} \left(\frac{S}{S_H} \right)^2 \Delta P_{K3} + 2 \Delta P_{XX}, \quad S_T = S_{HT} \cdot \sqrt{\frac{2 \Delta P_{XX}}{\Delta P_{K3}}}, \quad (14.3)$$

где S_T – граничная мощность нагрузки потребителя электроэнергии.

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

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

$$S_T = S_{HT} \sqrt{\frac{n(n-1) \cdot \Delta P_{XX}}{\Delta P_{K3}}}. \quad (14.4)$$

Оптимизация загрузки трансформаторов потребителя

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

$$\Delta P_M = \Delta P_{CT}, \quad (14.5)$$

откуда следует уравнение

$$\frac{1}{n} \left(\frac{S_0}{S_{HT}} \right)^2 \Delta P_{K3} = n \Delta P_{XX}, \quad S_0 = n S_{HT} \sqrt{\frac{\Delta P_{XX}}{\Delta P_{K3}}}. \quad (14.6)$$

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 (табл. 14.1), и при выборе определенного типа трансформатора необходимо учитывать эти характеристики, а также показатели режима работы потребителя.

Таблица 14.1

Технические характеристики трансформаторов

Марка	ТМГ			ТМГМШ			ТМГСИ		
Номинальная мощность, S_n , кВт · 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, $\Delta P_{кз}$, кВт	5,4	7,6	10,8	5,4	7,6	10,8	6	8,6	12,4
Стоимость, дол.	9227	14528	20368	10309	13749	22758	8732	16233	19276

14.2 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 ($U_{ном}$) 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 (рис. 14.1). включает в свой состав: автотрансформатор АТСЗ-1000/5, реле максимального напряжения и схему управления. Схемой предусмотрено два режима работы: ручной и автоматический.

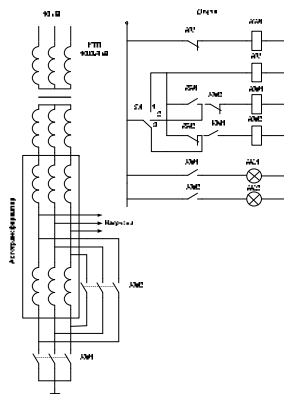


Рис. 14.1 – Схема регулирования напряжения с помощью автотрансформатора

Работа схемы в автоматическом режиме. При повышении вторичного напряжения силового трансформатора, замыкается контакт реле *KV* и подает напряжение на катушку реле *KN1*. Реле своим контактом *KN1.1* подключает магнитный пускатель *KM1* и контактом *KN1.2* 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 *KN1* от сети. После отключения реле *KN1* 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:

$$I_{\phi} = \frac{P_{\text{ср}}}{\sqrt{3} U_{\text{м}}}; \quad (14.7)$$

эквивалентное сопротивление нагрузки:

$$R_{\text{эк}} = \frac{U_{\text{м}}}{I_{\phi}}; \quad (14.8)$$

суммарный линейный ток при отрегулированном напряжении:

$$I_{\text{o}} = \frac{U_{\text{o}}}{R_{\text{эк}}}; \quad (14.9)$$

суммарная расчетная мощность при отрегулированном напряжении:

$$P_{\text{o}} = \sqrt{3} I_{\text{o}} U_{\text{o}}; \quad (14.10)$$

приращение мощности:

$$\Delta P = P_{\text{ср}} - P_0; \quad (14.11)$$

годовая экономия электроэнергии при снижении напряжения:

$$\Delta \Delta = \Delta P \cdot T. \quad (14.12)$$

Для унификации оценочных расчетов эффективности регулирования напряжения может использоваться номограмма (рис. 14.2).

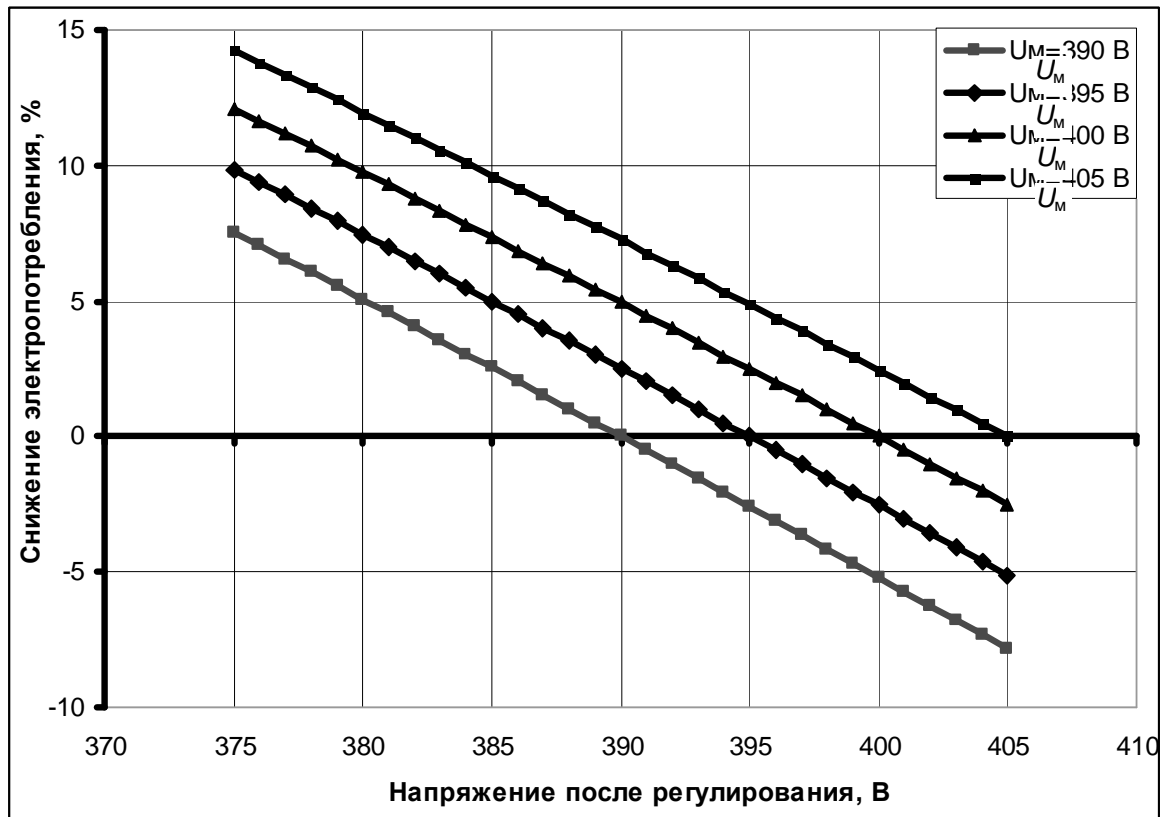


Рис. 14.2 – Номограмма для унификации оценочных расчетов эффективности регулирования напряжения

14.3 Компенсация реактивной мощности нагрузки

Потери мощности определяются по выражению:

$$\Delta P = \left(\frac{S}{U_n}\right)^2 \cdot R = \frac{P^2 + (Q - Q_k)^2}{U_n^2} \cdot R, \quad (14.13)$$

где Q_k – мощность компенсирующего устройства.

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

Поэтому одним из путей снижения этих потерь является замена низко загруженных электродвигателей двигателями меньшей мощности.

15 ТЕХНИЧЕСКИЕ, ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ

Отличия качества электроэнергии от бытовых понятий

1. Невозможностью визуального восприятия самой энергии.
2. Неразрывность во времени процессов ее производства и потребления .
3. Качество ЭЭ в пунктах производства не может служить гарантией ее качества в пунктах потребления.

В повседневной жизни проблем с электромагнитной совместимостью технических средств (ЭМС ТС) мы, как правило, не замечаем. Сгоревший от перенапряжений блок питания компьютера, модем, вышедший из строя в грозу, мигание ламп или шум, мешающий при разговоре по телефону, — вызывают не более чем просто негативные эмоции и сравнительно небольшие финансовые расходы.

Однако, когда вопрос касается медицинского оборудования, систем пожаротушения, устройств защиты дорогостоящего оборудования, жизни и здоровья людей, вопрос принимает принципиально иной уровень: возрастает ответственность — надёжность работы систем должна быть гораздо выше, и даже мелкие сбои становятся недопустимыми

Поэтому в электроэнергетике все шире используется электронная аппаратура в системах релейной защиты и противоаварийной автоматике. Однако электронная аппаратура весьма чувствительна к помехам, появляющимся во вторичных цепях подстанций, источниками которых являются коммутации выключателей и разъединителей высокого напряжения, удары молний, а также большие токи замыканий на землю.

В связи с этим появилась необходимость решения задачи электромагнитного существования электронных и электротехнических систем, и возникло новое научно-техническое направление, обеспечивающее электромагнитную совместимость.

Электромагнитная совместимость (ЭМС) является современным понятием, объединяющим такие известные электромагнитные явления, как радиопомехи, влияние на сеть, перенапряжения, колебания напряжения сети, электромагнитные влияния, паразитные связи, фон промышленной частоты 50 Гц, воздействия заземления и т.д. Существует несколько определений понятия «Электромагнитная совместимость».

Так стандарт VDE 0870 (Общество немецких электротехников) определяет ЭМС как «способность электрического устройства удовлетворительно функционировать в его электромагнитном окружении, не влияя на это окружение, к которому принадлежат также и другие устройства, недопустимым образом».

Согласно ГОСТ 50397-92 определяет электромагнитную совместимость как

Под ЭМС понимают способность оборудования нормально функционировать в его электромагнитной среде, не создавая недопустимых электромагнитных помех для другого оборудования, функционирующего в этой среде.

Или способность технического средства функционировать с заданным качеством в заданной электромагнитной обстановке и не создавать недопустимых электромагнитных помех другим техническим средствам.

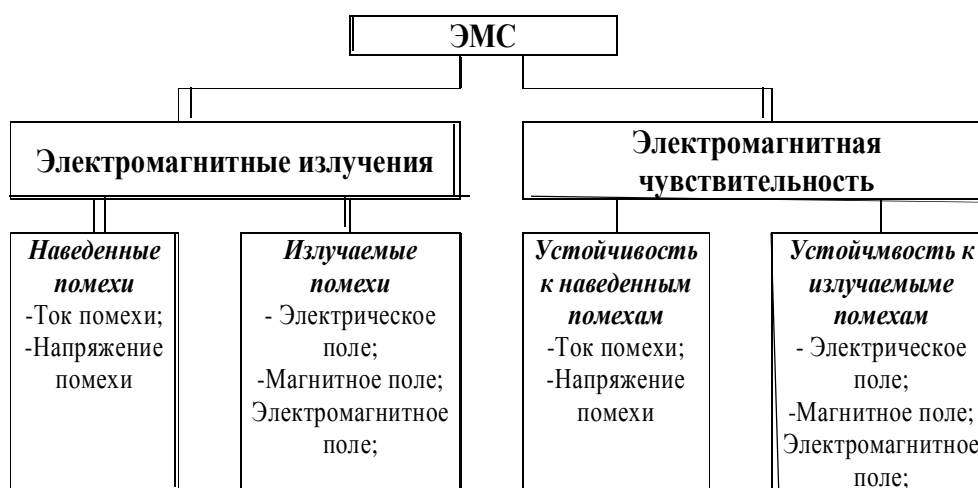


Рис. 15.1 – Электромагнитная совместимость

Чтобы оборудование работало надёжно и вероятность негативных последствий была минимальна, должно быть прописано в соответствующих технических нормативных правовых актах (ТНПА).

Нормативная база должна быть проработана так, чтобы с наименьшими затратами и наибольшей эффективностью достигался конечный результат. Эффективность принятия решений в большинстве случаев зависит от их своевременности: на каждом этапе "жизни" объекта должен быть рассмотрен и решён определённый перечень вопросов.

При строительстве (реконструкции) объектов электроэнергетики естественной является следующая последовательность действий:

- разработка технического задания (ТЗ);
- предпроектные изыскания и согласования;
- проектирование;
- закупка оборудования и материалов;
- монтаж, наладка, испытания и сдача объекта в эксплуатацию;
- текущая эксплуатация.

Поэтому ЭМС ТС должна быть учтена на всех этапах жизни объекта,

- на стадии разработки ТЗ и проектирования не сложно установить требования к помехоустойчивости покупаемых ТС, тогда как при сдаче объекта и в процессе текущей эксплуатации "заменить" какой-либо параметр устройства (например, устойчивость к перенапряжениям) будет невозможно;
- также не представляет трудностей при сооружении заземляющего устройства подстанции (ЗУ ПС) оформить акт скрытых работ, уточнить проектную схему расположения заземлителей, сделать подробную фотосъемку контура, в то время как при отсутствии документов поиск расположения заземлителя после его засыпки в процессе эксплуатации требует гораздо больше сил и времени.

Таким образом, нормативная база должна отражать требования к ЭМС на всех стадиях "жизни" объекта.

Для реализации такого подхода необходимо:

- чтобы ТС обладало некоторым уровнем помехоустойчивости;
- чтобы электромагнитные помехи в месте установки ТС имели некоторый нормированный уровень.

Соответственно и стандарты можно разделить на две группы:

- устанавливающие требования к ТС;
- устанавливающие требования к электромагнитной обстановке (ЭМО).

Стандарты первой группы (требования к ТС) определяют процедуры испытаний ТС на устойчивость к различным помехам, второй — нормируют ЭМО на ПС — от проекта до текущей эксплуатации.

Рассмотрим каждую группу стандартов.

ТНПА по ЭМС, действующие в Беларуси

Обзор ТНПА, нормирующих помехоустойчивость ТС в Беларуси, приведен в табл. 15.1. Указанные в ней ТНПА базируются

на стандартах Международной электротехнической комиссии (МЭК).

Таблица 15.1

ТНПА, нормирующие помехоустойчивость технических средств

Название ТНПА	Рассматриваемые вопросы ЭМС	Область действия
ГОСТ 29280-92 Совместимость технических средств электромагнитная. Испытания на помехоустойчивость. Общие положения	<ul style="list-style-type: none"> • виды испытаний; • особенности эксплуатации; • методы испытаний; • условия испытаний; • степени жёсткости испытаний; • оценка результатов испытаний 	Низковольтное электрическое и электронное оборудование, аппаратура и системы, которые в условиях эксплуатации подключаются к сетям электропитания, линиям управления и передачи информации и находятся под воздействием кондуктивных и излучаемых электромагнитных помех
ГОСТ 30336-95 Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к импульсному магнитному полю. Технические требования и методы испытаний	<ul style="list-style-type: none"> • испытательное оборудование; • степени жёсткости испытаний; • рабочее место для испытаний; • порядок проведения испытаний; • оценка результатов испытаний 	ТС, применяемые на предприятиях промышленности, электростанциях и электрических подстанциях среднего и высокого напряжения, подвергающиеся в условиях эксплуатации воздействию импульсного магнитного поля
ГОСТ 30585-98 Совместимость технических средств электромагнитная. Стойкость к воздей-	<ul style="list-style-type: none"> • технические требования и методы проведения испытаний; • степени жёстко- 	Вновь разрабатываемые, изготавливаемые и импортируемые ТС, содержащие в своей осно-

ствию грозových разрядов. Технические требования и методы испытаний	<ul style="list-style-type: none"> • сти испытаний; • правила отбора и оценки результатов испытаний образцов ТС 	ве радиотехническое, радиоэлектронное, электронное и электротехническое оборудование, включая объекты аэрокосмической техники
СТБ ИЕС 61000-4-2-2011 Электромагнитная совместимость. Часть 4-2. Методы испытаний и измерений. Испытания на устойчивость к электростатическим разрядам	<ul style="list-style-type: none"> • испытательные уровни; • испытательный генератор; • организованное место для испытаний; • методы испытаний; • оценка результатов испытаний 	Электрические, электронные и радиоэлектронные изделия и оборудование. Устанавливает требования и методы испытаний ТС на устойчивость к электростатическим разрядам (ЭСР) как при прямом воздействии ЭСР от оператора, так и непрямым воздействием от оператора на расположенные вблизи ТС предметы и оборудование
СТБ ИЕС 61000-4-3-2009 Электромагнитная совместимость. Часть 4-3. Методы испытаний и измерений. Испытания на устойчивость к радиочастотному электромагнитному полю	<ul style="list-style-type: none"> • степени жесткости испытаний; • испытательное оборудование; • рабочее место для испытаний; • методы испытаний; • результаты испытаний и протокол испытаний 	Электротехнические, электронные и радиоэлектронные изделия и оборудование. Устанавливает требования и методы испытаний ТС на устойчивость к радиочастотному электромагнитному полю
СТБ ИЕС 61000-4-6-2011	<ul style="list-style-type: none"> • степени жесткости испытаний; 	Электротехнические, электронные и ра-

<p>Электромагнитная совместимость. Часть 4-6. Методы испытаний и измерений. Испытания на устойчивость к кондуктивным помехам, наведённым радиочастотными электромагнитными полями</p>	<ul style="list-style-type: none"> • испытательное оборудование; • рабочие места для испытаний настольных и напольных ТС; • методы испытаний; • результаты испытаний и протоколы испытаний 	<p>диоэлектронные изделия и оборудование. Устанавливает требования устойчивости ТС к кондуктивным электромагнитным помехам, вызываемым излучениями преимущественно радиопередающих устройств в полосе частот от 150 кГц до 80 МГц</p>
<p>СТБ ИЕС 61000-4-8-2011 Электромагнитная совместимость. Часть 4-8. Методы испытаний и измерений. Испытания на устойчивость к магнитному полю промышленной частоты</p>	<ul style="list-style-type: none"> • испытательные уровни; • испытательное оборудование; • организованное место для испытаний; • порядок проведения испытаний; • оценка результатов испытаний; • оформление результатов испытаний 	<p>Устанавливает требования к устойчивости электрического и электронного оборудования, подвергающегося в условиях эксплуатации воздействию магнитного поля промышленной частоты, создаваемого бытовыми, коммерческими и промышленными установками, электростанциями и подстанциями среднего и высокого напряжения</p>
<p>СТБ ИЕС 61000-6-2-2011 Электромагнитная совместимость. Часть 6-2. Общие стандарты. Помехоустойчивость оборудования, предна-</p>	<ul style="list-style-type: none"> • критерии качества функционирования; • условия проведения испытаний; • эксплуатационные документы; • применимость ис- 	<p>Электротехнические, электронные и радиоэлектронные изделия и аппаратура, предназначенные для применения в промышленных зонах</p>

значенного для установки в промышленных зонах	пытаний	
СТБ ГОСТ Р 51317.4.12-2001 Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к колебательным затухающим помехам. Требования и методы испытаний	<ul style="list-style-type: none"> • степени жёсткости испытаний; • испытательное оборудование; • рабочее место для испытаний; • методы испытаний; • результаты испытаний и протоколы испытаний 	Электротехнические, электронные и радиоэлектронные изделия и оборудование. Устанавливает требования и методы испытаний ТС
СТБ ГОСТ Р 51516-2001 Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость измерительных реле и устройств защиты к наносекундным импульсным помехам. Требования и методы испытаний СТБ ГОСТ Р 51525-2001 Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость измерительных реле и устройств защиты к электростатическим разрядам. Требования и методы испытаний	<ul style="list-style-type: none"> • степени жёсткости испытаний; • испытательное оборудование; • условия проведения испытаний; • методы испытаний; • критерии оценки 	Статические измерительные реле и устройства защиты с выходными контактами и без выходных контактов
СТБ МЭК 61000-4-	<ul style="list-style-type: none"> • испытательные 	Электротехническое

<p>4-2006 Электромагнитная совместимость. Часть 4-4. Методы испытаний и измерений. Испытания на устойчивость к наносекундным импульсным помехам СТБ МЭК 61000-4-5-2006 Электромагнитная совместимость. Часть 4-5. Методы испытаний и измерений. Испытания на устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии</p>	<p>уровни;</p> <ul style="list-style-type: none"> • испытательное оборудование; • организованное место для испытаний; • методы испытаний; • оценка результатов испытаний; • протокол испытаний 	<p>и электронное оборудование</p>
<p>СТБ МЭК 61000-4-11-2006 Электромагнитная совместимость. Часть 4-11. Методы испытаний и измерений. Испытания на устойчивость к провалам, кратковременным прерываниям и изменениям напряжения</p>	<ul style="list-style-type: none"> • испытательные уровни; • испытательное оборудование; • организованное место для испытаний; • методы испытаний; • оценка результатов испытаний; • протокол испытаний 	<p>Электрическое и электронное оборудование, подключаемое к низковольтным цепям электропитания. Устанавливает методы испытаний на устойчивость и испытательные уровни к провалам, кратковременным прерываниям и изменениям напряжения</p>

Как видно из приведённой информации, нормативная база по испытаниям ТС на устойчивость к различным помехам разработана достаточно хорошо.

В табл. 15.2 приведён обзор ТНПА, нормирующих ЭМО на объектах электроэнергетики в Беларуси. Если распределить информацию в табл. 2 по этапам "жизни" объекта, то будет иметь место следующая картина (см. табл. 15.3).

Таблица 15.2

ТНПА, нормирующие ЭМО в на объектах электроэнергетики в Беларуси

Название ТНПА	Рассматриваемые вопросы ЭМС	Область действия
СТП 09110.47.103-07 Методические указания по проектированию заземляющих устройств электрических станций и подстанций напряжением 35-750 кВ	<ul style="list-style-type: none"> • проектирование заземляющих устройств подстанций; • проектирование заземления оборудования; • специальные заземления и мероприятия по выравниванию потенциалов; • заземления оборудования в зданиях ПС; • заземление устройств РЗА, ПА и АСУ ТП; • приёмосдаточные испытания и эксплуатационный контроль ЗУ; • расчёт ЗУ 	Применение проектными организациями ГПО "Белэнерго" при проектировании заземляющих устройств электрических станций и подстанций
СТП 09110.47.104-08 Методические указания по защите вторичных цепей электрических станций и подстан-	<ul style="list-style-type: none"> • характеристики импульсных и высокочастотных помех и пути их воздействия на устройства вторичных цепей; 	Применение проектными организациями ГПО "Белэнерго" при проектировании средств защиты вторичных цепей распределительных уст-

<p>ций напряжением 35-750 кВ от электромагнитных влияний и грозовых воздействий</p>	<ul style="list-style-type: none"> • стандартные мероприятия по защите вторичных цепей от электромагнитных помех; • специальные мероприятия по защите вторичных цепей от электромагнитных помех; • проектирование средств защиты вторичных цепей от импульсных и высокочастотных помех 	<p>роЙств электростанций 110-330 кВ и ПС 35-750 кВ от электромагнитных помех, а также эксплуатационными организациями при монтаже, наладке и эксплуатации средств защиты</p>
<p>СТП 09110.47.203-07 Методические указания по выполнению заземления на электрических станциях и подстанциях напряжением 35-750 кВ</p>	<ul style="list-style-type: none"> • нормирование электрических параметров ЗУ электрических станций и подстанций; • конструктивное выполнение ЗУ ПС и открытых распределительных устройств электрических станций; • заземление оборудования подстанции и открытых распределительных устройств электрических станций; • специальные ме- 	<p>Применение проектными организациями ГПО "Белэнерго" при проектировании заземляющих устройств электростанций и ПС, а также эксплуатационными организациями при монтаже заземляющих устройств и их эксплуатационном контроле</p>

	<p>роприятия по выравниванию потенциалов;</p> <ul style="list-style-type: none"> • заземление устройств РЗА, ПА и АСУ ТП; • дополнительные мероприятия по защите от электромагнитных помех; • приёмосдаточные испытания и эксплуатационный контроль заземляющих устройств 	
<p>СТП 09110.01.2.104-07 Нормы технологического проектирования электрической части подстанций переменного тока напряжением 35-750 кВ</p>	<ul style="list-style-type: none"> • построение системы постоянного оперативного тока 	<p>Применение проектными организациями ГПО "Белэнерго"</p>
<p>ТКП 339-2011 Электроустановки на напряжение до 750 кВ...</p>	<ul style="list-style-type: none"> • заземление и защитные меры электробезопасности; • защита от грозовых перенапряжений; • защита от внутренних перенапряжений 	<p>Электроустановки переменного тока до 750 кВ и постоянного тока до 1500 В, вновь вводимые в эксплуатацию и вводимые в эксплуатацию после реконструкции</p>
<p>ТКП 336-2011 Молниезащита зданий, сооружений и</p>	<ul style="list-style-type: none"> • молниевые воздействия; • необходимость 	<p>Применяется при:</p> <ul style="list-style-type: none"> • проектировании, установке, про-

инженерных коммуникаций	<p>применения и экономическое преимущество молниезащиты;</p> <ul style="list-style-type: none"> • меры молниезащиты; • основные критерии молниезащиты зданий, сооружений и систем энергоснабжения; • управление риском; • физические повреждения зданий, сооружений и опасность для жизни; • защита электрических и электронных систем внутри зданий и сооружений; • защита от электромагнитных импульсов от разряда молнии; • молниезащита в отдельных случаях 	<p>верке и техническом обслуживании систем молниезащиты (СМЗ) для зданий (сооружений) без ограничения высоты;</p> <ul style="list-style-type: none"> • проектировании СМЗ находящихся внутри зданий установок, приборов, оборудования; • установлении мер защиты от поражения людей электрическим током из-за напряжения прикосновения и шагового напряжения; • проектировании СМЗ электрических станций, подстанций и воздушных ЛЭП
ТКП 181-2009 Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей	<ul style="list-style-type: none"> • объём и периодичность проверок заземляющих устройств электроустановок, систем молниезащиты 	<p>Электроустановки потребителей до 330 кВ включительно. Не распространяется на электроустановки ГПО "Белэнерго"</p>
ГОСТ 13109-97	<ul style="list-style-type: none"> • показатели каче- 	<p>Электрические сети</p>

Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения	<p>ства электро-энергии;</p> <ul style="list-style-type: none"> • нормирование показателей качества электро-энергии; • методы измерений показателей качества электро-энергии 	электроснабжения общего назначения переменного трёх-фазного и однофазного тока частотой 50 Гц в точках, к которым присоединяются электрические сети, находящиеся в собственности различных потребителей электро-энергии, или приёмники электро-энергии
---	--	--

Таблица 15.3

Распределение ТНПА по этапам "жизни" объекта

Этап "жизни" объекта	Нормирующий ТНПА
Проектирование (включая техническое задание)	<ul style="list-style-type: none"> • СТП 09110.47.103-07 (в части заземления); • СТП 09110.47.104-08 (некоторые вопросы ЭМС); • СТП 09110.01.2.104-07 (некоторые вопросы построения СОПТ); • ТКП 339-2011 (в части заземления, молниезащиты, защиты от перенапряжений); • ТКП 336-2011 (в части молниезащиты)
Требования к оборудованию	Группа ТНПА по табл. 1
Требования к монтажу; объём порядок и нормы испытаний ЭМО (включая предпроектные обследования и текущую эксплуатацию)	<ul style="list-style-type: none"> • СТП 09110.47.103-07 (в части заземления); • СТП 09110.47.203-07 (в части заземления); • ТКП 339-2011 (в части

	<p>заземления, молниезащиты, защиты от перенапряжений);</p> <ul style="list-style-type: none"> • ТКП 336-2011 (в части молниезащиты); • ТКП 181-2009 (в части заземления, молниезащиты, защиты от перенапряжений); • ГОСТ 13109-97 (в части качества электроэнергии)
--	---

Как уже отмечалось, ТНПА по помехоустойчивости ТС как в России, так и в Беларуси, базируются в основном на стандартах МЭК. Они хорошо и полно разработаны.

Иная ситуация в части нормирования ЭМО на электроэнергетических объектах. Собственные разработки есть в обеих странах. Вместе с тем российская нормативная база охватывает более широкий спектр вопросов.

Так, в белорусских стандартах не достаточно проработаны нормы проектирования объектов электро-энергетики с учётом требований ЭМС ТС и полностью проигнорированы вопросы, связанные с объёмами и методами проведения измерений ЭМО на объектах электроэнергетики как при вводе объекта, так и в процессе его эксплуатации.

Помимо перечисленных, целесообразно разработать такие документы, как типовые ТЗ (в части ЭМС) на новое проектирование и реконструкцию электроэнергетических объектов, а также типовые требования к помехоустойчивости закупаемых ТС.

Основными понятиями в теории электромагнитной совместимости являются понятия передатчиков и приемников электромагнитной энергии (электромагнитных помех) в их расширенном понимании.

К передатчикам электромагнитной энергии относятся:

- телевизионные и радиовещательные устройства,
- электрические цепи и системы, непреднамеренно излучающие в окружающую среду электромагнитную энергию,
- электроприемники, являющиеся источниками электромаг-

нитных помех

На объектах электроэнергетики передатчиками электромагнитных воздействий являются :

- Переходные процессы в цепях высокого напряжения при коммутациях и коротких замыканиях;
 - Электрические и магнитные поля промышленной частоты;
 - Переходные процессы в заземляющих устройствах подстанций;
 - Быстрые переходные процессы при коммутациях в индуктивных цепях низкого напряжения;
 - Переходные процессы в цепях различных классов напряжения при ударах молнии;
 - Разряды статического электричества;
 - Электромагнитные возмущения в цепях оперативного тока.

Так к передатчикам электромагнитной энергии относятся телевизионные и радиовещательные устройства, электрические цепи и системы, непреднамеренно излучающие в окружающую среду электромагнитную энергию, электроприемники, являющиеся источниками электромагнитных помех, распространяющихся по цепям питания.

На объектах электроэнергетики передатчиками электромагнитных воздействий, которые могут оказывать влияние на автоматические и автоматизированные системы технологического управления электротехническими объектами являются:

- Переходные процессы в цепях высокого напряжения при коммутациях силовыми выключателями и разъединителями;
 - Переходные процессы в цепях высокого напряжения при коротких замыканиях, срабатывании разрядников или ограничителей перенапряжений;
 - Электрические и магнитные поля промышленной частоты, создаваемые силовым оборудованием станций и подстанций;
 - Переходные процессы в заземляющих устройствах подстанций, обусловленные токами КЗ промышленной частоты и токами молний;
 - Быстрые переходные процессы при коммутациях в индуктивных цепях низкого напряжения;
 - Переходные процессы в цепях различных классов напря-

жения при ударах молнии непосредственно в объект или вблизи него;

- Разряды статического электричества;
- Электромагнитные возмущения в цепях оперативного тока.

В качестве примеров передатчиков электромагнитных воздействий можно также перечислить: автомобильные устройства зажигания, люминесцентные лампы, коллекторные электродвигатели, силовая электроника, сварочные аппараты, электроинструмент и т. д..

- В особых ситуациях рассматриваются такие виды электромагнитных воздействий, как: Электромагнитные импульсы ядерных взрывов; магнитное поле земли при аномальных явлениях на поверхности Солнца.

К приемникам электромагнитных воздействий относятся:

- теле и радиоприемники,
- силовые электроприемники,
- системы автоматизации,
- автомобильная микроэлектроника,
- управляющие приборы и регуляторы,
- средства релейной защиты и автоматики и т. д.

К приемникам электромагнитных воздействий относятся теле и радиоприемники, силовые электроприемники, системы автоматизации, автомобильная микроэлектроника, управляющие приборы и регуляторы, средства релейной защиты и автоматики, устройства обработки информации и т. д.. Многие электрические устройства могут одновременно действовать как приемники так и как передатчики.

С учетом изложенного, электрическое устройство считается совместимым, если оно в качестве передатчика является источником электромагнитных помех не выше допустимых, а в качестве приемника обладает допустимой чувствительностью к посторонним влияниям, т.е. достаточной помехоустойчивостью и иммунитетом.

Основные определения.

Дальнейшее рассмотрение проблем электромагнитной совместимости требует более подробного определения основных понятий.

Прежде всего: что такое электромагнитные помехи? Ответ с позиций схемотехники:

Электромагнитные помехи - это случайные электромагнитные воздействия отдельных элементов друг на друга или сторонней системы на рассматриваемую систему через паразитные или функциональные связи (рис. 15.2).



Рис. 15.2 - Элементарная модель влияний

Электромагнитная обстановка (ЭМО) - совокупность электромагнитных явлений, существующих в рассматриваемом пространстве.

ЭМО описывается:

- характеристиками источников помехи параметрами их воздействия;
- особенностями установленного оборудования;
- реализованными и нереализованными мероприятиями по повышению ЭМС;
- неэлектрическими характеристиками окружающей среды (например, влажность воздуха и т.д.).

Источник помех - причина появления помехи (прибор или физический процесс).

Помеха - электромагнитная величина, способная вызвать в электрическом устройстве нежелательный эффект (нарушение функционирования, старение, разрушение и т.п.).

Помеха определяется разностью $X_S = X - X_N$,

где X - рассматриваемая электромагнитная величина;

X_N - содержащийся в величине X полезный сигнал.

Помехой X_S может быть напряжение, ток, напряженность электромагнитного поля и т.д.

В зависимости от источника помехи появляются или периодические, или аperiodические - в форме случайных импульсов, поступающих по проводам (кондуктивные помехи), или в виде эмиссии (помехоэмиссия - распространение электромагнитных помех по эфиру). При превышении определенного граничного значения уровень вредного сигнала может оказаться опасным для жизни человека.

Испытательная помеха - электромагнитная величина, имитирующая реальную помеху и служащая для испытаний на устойчивость к помехам трактов распространения помех (чувствительные к помехам элементы).

Уровень совместимости - установленное значение помехи, при которой с наибольшей вероятностью гарантируется нормальное взаимодействие всех элементов системы. Уровень совместимости служит, с одной стороны, в качестве основы при формулировке требований по помехоустойчивости (У), с другой стороны, - в качестве исходного пункта для установления допустимого уровня излучения помех(Э) разрабатываемых ТС. Установление уровня совместимости осуществляется на стадии проектирования ТС.

Стойкость к повреждению - допустимое граничное воздействие на чувствительный элемент, превышение которого вызывает частичное или полное повреждение ТС, а, следовательно, и необратимое нарушение функционирования объекта. Восстановление функционирования ТС требует ремонта, т.е. замены элементов ТС.

Помехоустойчивость - свойство чувствительного элемента нормально работать при воздействии помехи. Количественно помехоустойчивость рассматриваемого объекта задается в виде допустимого воздействия в форме амплитуды импульса напряжения, напряженности поля, граничной энергии, стандартизированного испытательного воздействия и т.д. Если при воздействии, превышающем предел помехоустойчивости, не происходит разрушения объекта, то наблюдается обратимое нарушение функционирования. После исчезновения помехи или после повторного включения ТС может работать нормально, ТС не требуется ремонт (замена элементов).

Нарушение функционирования - кратковременное или длительное недопустимое отклонение функций системы от нормальных.

Конкретно в системах автоматизации это означает следующее. Происходит скрытое нарушение программы или непредусмотренное программой прохождение сигналов управления, изменения функций приборов, периферийных устройств, например, включения и отключения регистрирующих приборов и исполнительных механизмов: спонтанное изменение частоты вращения регулируемых приводов, беспричинное срабатывание сигнализации и т.д.

Практически при вводе в эксплуатацию или при сервисном обслуживании ТС возникают существенные трудности доказательства

причастности электромагнитного влияния к нарушению функционирования ТС, т.к. множество других причин вызывают такое же или аналогичное действие.

Рассмотрим некоторые причины нарушения функционирования.

- Дефекты математического обеспечения: сбои в работе системы; ошибки в работе исполнительных органов программ.

- Дефекты в функциях элементов: ошибки в комплектации, наличие логических элементов с ошибочным содержанием (накопителей постоянных величин, сменных матриц, программированной логики и т.д.).

- Дефекты элементов: обрывы, короткие замыкания, изменения характеристик.

- Не идеальность свойств элементов: вибрации в контактах, поверхностный эффект, задержки, отражения, разброс времени коммутации, переходные сопротивления.

- Дефекты соединений между элементами: нарушения, обрывы соединений, неправильные соединения, мостики утечек и припоя, дефекты контактов.

- Электромагнитные воздействия: появление ложных сигналов, деформации или искажения функций элементов.

Типичным для проявления нарушений функционирования является случайная картина их появлений: моментов поступления, продолжительности, формы проявления, степени повторяемости и интенсивности. Как и помехи, они точно не определены и не предсказуемы. Это объясняется, с одной стороны, разнообразием механизмов появления помех, с другой стороны - статистическим характером помехоустойчивости большинства средств автоматизации. Например, поступающие из сети помехи (перенапряжения, провалы, выбросы напряжения), имеют абсолютный случайный характер, т.к. зависят от коммутаций, аварий, разрядов атмосферного электричества.

Цель работы в области ЭМС - применением технически реальных мер при оправданных затратах достичь удовлетворительной ЭМС.

Мероприятия по повышению ЭМС могут быть:

- подавления возникновения помех путем воздействия на источник помех;

- подавление или ослабление помех в тракте распространения;

- разделение во времени режимов появления помехи и функциони-

рования чувствительного элемента.

Источники электромагнитных помех на электрических станциях и подстанциях изображены на рис. 15.3

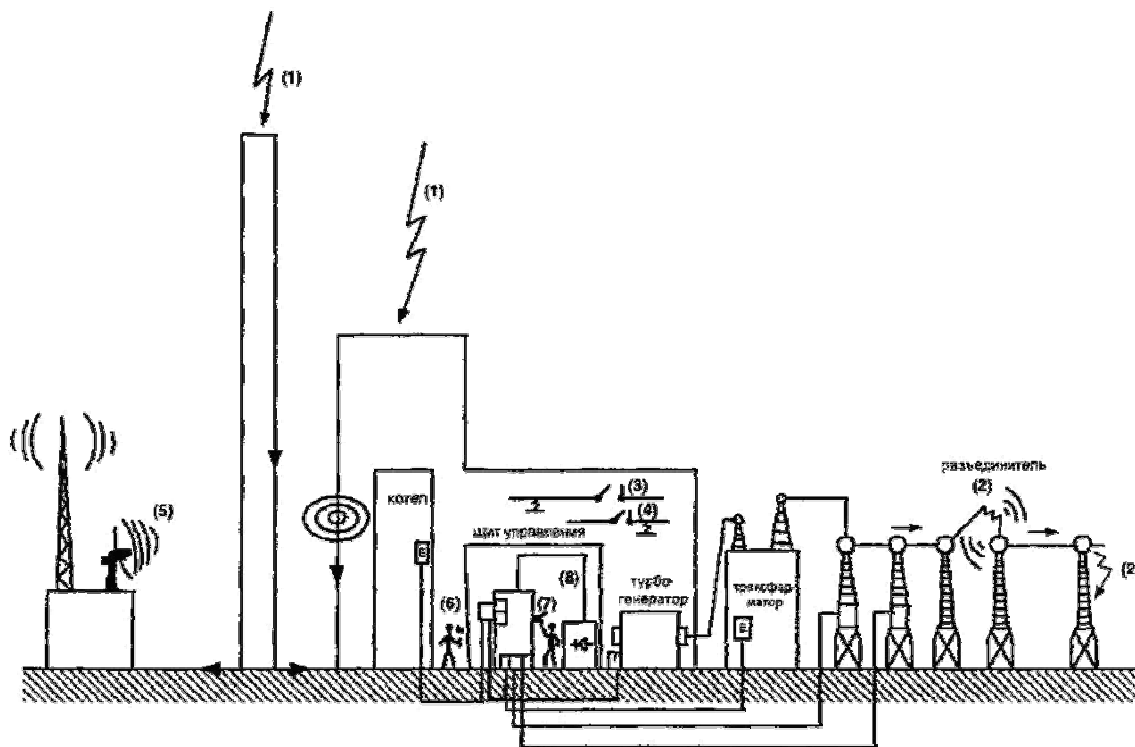


Рис. 15.3 - Источники электромагнитных воздействий на электрических станциях и подстанциях:

- 1 – удар молнии;
- 2 – переключения и короткие замыкания (КЗ) в сети высокого напряжения;
- 3 – переключения и КЗ в сети среднего напряжения (СН);
- 4 - переключения и КЗ в сети низкого напряжения (НН);
- 5 – внешние источники радиочастотных излучений;
- 6 – внутренние источники радиочастотных излучений;
- 7 – разряды статического электричества;
- 8 – источники кондуктивных помех по цепям питания

Электромагнитные влияния могут проявляться в виде обратимых и необратимых нарушений. Так, в качестве обратимого нарушения можно назвать шум при телефонном разговоре. К необратимому нарушению относится сбой в работе системы релейной защиты, приведший к отключению нагрузки.

Подходов к классификации ЭМП существует немало: по источнику их возникновения, среде распространения, характеру воздействия на технические средства.

Исходя из среды распространения электромагнитные помехи делятся на:

- индуктивные. К ним относятся помехи, которые распространяются в виде электромагнитных полей в непроводящих средах;
- кондуктивные. К данному виду относятся токи, которые протекают по проводящим конструкциям, а также земле.

Названная классификация условна, так как в реальных условиях протекающий электромагнитный процесс является единым, он затрагивает как проводящую, так и непроводящую среду, в связи с чем во время распространения многих помех возможно их превращение из индуктивных в кондуктивные и наоборот. Относительно строгим такое деление можно считать только в низкочастотной области (до десятков кГц), где связи (емкостные и индуктивные) чаще всего незначительны.

Кондуктивные помехи

Как уже отмечено выше, кондуктивными электромагнитные помехи являются с учетом среды их распространения – в проводящих конструкциях и земле в виде токов.

Кондуктивные помехи в цепях с более чем одним проводником, в свою очередь, разделяются на:

помехи «провод–земля». Называются также несимметричными, синфазными, общего вида. Напряжение помехи при этом, как видно из названия, приложено между каждым из проводников цепи и землей.

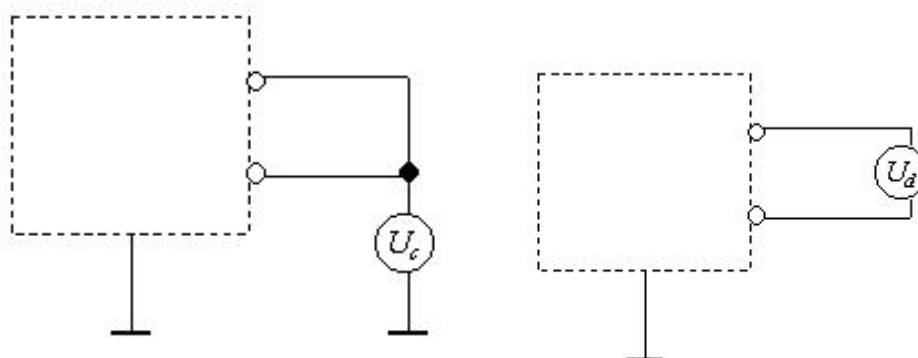


Рис. 15.4 – Помехи «провод-земля», «провод-провод»

Обусловлены такие помехи разностью потенциалов в цепях заземления устройств. Могут возникнуть от токов в земле (аварийные либо токи молнии) либо магнитных полей. При синфазных помехах не возникают мешающие напряжения на приемнике, однако они оказывают воздействие на изоляцию проводов относительно земли, а следовательно, могут привести к пробое изоляции;

помехи «провод–провод». Такие помехи называются еще симметричными, противофазными, дифференциального вида. В данном случае напряжение помехи приложено между различными проводниками одной цепи.

Возникновение таких помех происходит через гальванические связи, путем передачи электромагнитным полем, либо из-за преобразования помехи «провод–земля» в помеху «провод–провод».

Если говорить о том, какие же из вышеназванных кондуктивных помех наиболее опасные, то обычно это помехи «провод–провод», из-за того, что приложены они оказываются так же, как и полезный сигнал.

Реальные кондуктивные помехи обычно представлены комбинацией помех «провод–земля» и «провод–провод». Кроме того, из-за несимметричности внешних цепей передачи сигналов и входных цепей аппаратуры возможно преобразование одного вида кондуктивных помех в другой.

Причины появления кондуктивных помех

Нарушения функционирования технических средств, как и помехи, непредсказуемы. Объяснением тому служат как множество различных механизмов возникновения помех, так и статистический характер помехоустойчивости у преобладающего числа средств автоматизации.

К причинам появления в системе кондуктивных ЭМП, то есть взаимного влияния приборов либо кондуктивных элементов, относятся:

- напряжение питания с частотой 50 Гц;
- ВЧ и НЧ тактовые сигналы;
- сигналы в проводах управления либо линиях передачи (ЛП) данных;
- коммутационные процессы в индуктивностях;
- искровые разряды в момент замыкания и размыкания контактов.

При данных причинах появления кондуктивных ЭМП они могут иметь различные значения.

Среда распространения индуктивных помех

Индуктивные помехи распространяются в виде электромагнитных полей в непроводящих средах. Они называются также излучаемыми, или излученными, помехами.

Деление индуктивных ЭМП.

Индуктивные электромагнитные помехи подразделяются на:

- низкочастотные (НЧ) излучаемые;
- высокочастотные (ВЧ) излучаемые.

Возникновение и воздействие

Индуктивные помехи являются результатом воздействия сильного магнитного поля, которое действует по принципу генератора. В итоге в проводнике может возникнуть ток с относительно низким импедансом, и процесс передачи сигнала нарушится. Стоит отметить, что индуктивные помехи могут быть достаточно мощными для того, чтобы произошло включение либо отключение приборов.

Индуктивные помехи характеризуются отсутствием постоянной составляющей частоты, которая может колебаться от самых низких и до самых высоких пределов (более 500 МГц).

Сценарии воздействия электромагнитных помех

Рассмотрим несколько основных сценариев воздействия электромагнитных помех.

Действие индуктивных электромагнитных помех, наводящих индуктивные ЭМП в информационных сетях

ЭДС помехи создается под действием внешнего электромагнитного поля (индуктивный механизм).

Появившись в проводных коммуникациях, электромагнитные помехи попадают на входы аппаратуры. А дальнейшее их воздействие отличается в зависимости от частоты. Наибольшую опасность представляют ЭМП, находящиеся на одной с рабочими сигналами частоте, так как обычно они минуют входные фильтры и обрабатываются подобно полезным сигналам. Как результат, в канале передачи растет число ошибок, а порой, возможно и физическое повреждение отдельных элементов тракта.

Если ЭМП лежат вне рабочей частотной полосы, то чаще всего они оказывают воздействие на схемные элементы вблизи входов аппаратуры. При качественной аппаратуре такими элементами чаще всего выступают фильтры и другие специальные приспособления, ограничивающие перенапряжение. Как следствие, основная угроза состоит в возможном повреждении данных элемен-

тов, но рабочая аппаратура при этом бесперебойно продолжает работать.

В случае же высокочастотных ЭМП, которые также лежат вне рабочей частотной полосы, совокупность индуктивных и емкостных связей обеспечивает прохождение таких помех через защитные элементы, а, следовательно, и проникновение вглубь рабочей аппаратуры.

Искажение сигналов в антенных цепях

Это имеет отношение к радиоэлектронной аппаратуре. Отметим, что чаще всего амплитуды наводимых таким образом помех незначительны, чтобы нанести вред входным фильтрам аппаратуры. Угрозу составляют в основном те помехи, рабочая частота которых совпадает с рабочей частотой аппаратуры.

Попадание помех на входы питания аппаратуры

Механизмов, по которым в цепях питания оборудования возникают помехи, достаточно много. Объясняется это обычно большой протяженностью сети питания, которая объединяет различных потребителей. Механизм, описанный для информационных сетей по индуцированию ЭДС внешним полем, а затем проникновению помехи через общее сопротивление, в данном случае также действует.

Помимо этого, каждый потребитель из общей сети питания своей работой вносит искажения в формы кривых тока и напряжения в данной сети. Также как помехи может рассматриваться постоянное отклонение от номинальных значений напряжения и частоты питания из-за перегрузок сети, работы в аварийном режиме энергосистемы и др.

Непосредственное воздействие внешних полей на внутренние цепи аппаратуры

Чаще всего такая ситуация наблюдается в двух случаях:

- аппаратура не имеет экранирующего корпуса;
- экранирующий корпус есть, но недостаточно его экранирующих свойств.

В результате внутри аппаратуры происходит наведение ЭДС помехи. И если эта ЭДС велика, может произойти нарушение работы оборудования. Наибольшая опасность кроется со стороны высокочастотных помех, так как низкочастотные помехи оказывают влияние не на саму аппаратуру, а на ее проводные коммуникации.

16 НЕСИНУСОИДАЛЬНОСТЬ И КОЛЕБАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМАХ, КАК ФАКТОР ВЛИЯНИЯ НА ЭЛЕКТРОМАГНИТНУЮ СОВМЕСТИМОСТЬ

На качество ЭЭ влияют помехи в электрических сетях.

Выделяются следующие основные типы помех, уровень которых влияет на качество электрической энергии в сетях:

- высшие гармоники (кратные основной частоте);
- некрatные гармоники (интергармоники);
- отклонения напряжения;
- колебания напряжения (резкие его изменения);
- провалы напряжения и кратковременные перерывы питания;
- импульсы напряжения;
- временные перенапряжения;
- несимметрия напряжений (в трехфазных системах);
- сигналы систем управления, посылаемые по проводам линий электропередачи;
- отклонения частоты.

Рассмотрим эти типы основных помех.

1. Высшие гармоники (кратные) представляют собой синусоидальные напряжения или токи, частота которых отличается от основной частоты в целое число раз. Обычно их подразделяют на две группы: четные и нечетные гармоники. Нечетные гармоники в электрических сетях наиболее выражены, что объясняется спецификой используемого оборудования.

2. Некратные гармоники представляют собой синусоидальные токи или напряжения, частота которых отличается от основной частоты не в целое число раз. Они могут проявляться в двух формах; в виде дискретных частот и непрерывного спектра частот.

Кратные и некрatные гармоники, имеющие частоту меньше основной, называют субгармониками.

Гармонические искажения напряжений и токов возникают из-за наличия в сетях элементов или оборудования с нелинейной вольт-амперной характеристикой.

Основные источники гармонических помех - преобразовательные и выпрямительные установки, индукционные и дуговые печи, люминесцентные лампы. Из бытового оборудования наиболее сильными источниками гармонических помех являются телевизоры. Определенный уровень гармонических помех может создавать

и оборудование энергосистем: вращающиеся машины, трансформаторы. Однако, как правило, эти источники не основные.

Основными источниками некротных гармоник являются:

- статические преобразователи частоты (СПЧ);
- циклоконверторы;
- индукционные двигатели;
- сварочные машины;
- дуговые печи;
- системы управления токами наложенной частоты.

Статические преобразователи частоты состоят из выпрямителя переменного тока исходной частоты в постоянный ток и преобразователя постоянного тока в переменный требуемой частоты. Напряжение постоянного тока модулируется выходной частотой преобразователя, вследствие чего во входном токе возникают некротные гармоники. СПЧ используются, главным образом, для двигателей с регулируемой скоростью вращения, применение которых быстро развивается. Двигатели мощностью до нескольких десятков киловатт присоединяются непосредственно к низковольтным сетям, более мощные – к сетям среднего напряжения через собственные трансформаторы. Существует несколько схем выполнения СПЧ с различными характеристиками. Частоты некротных гармоник зависят от выходной частоты и пульсности преобразователя. Подобные преобразователи используются также для печей, работающих на средних частотах.

Циклоконверторы представляют собой трехфазные преобразователи большой мощности (несколько мегаватт), которые превращают трехфазный ток исходной частоты в трехфазный или однофазный ток пониженной частоты (обычно менее 15 Гц), используемый для питания тихоходных двигателей большой мощности. Они состоят из двух управляемых выпрямителей, проводящих ток попеременно то в одном, то в другом направлении. Циклоконверторы используются в очень редких случаях. Токи интергармоник достигают 8-10% от тока основной частоты. В связи с большой мощностью циклоконверторов они присоединяются к сетям с большой мощностью короткого замыкания, поэтому напряжения интергармоник оказываются малыми. Измерения, проведенные на двух таких установках в Швейцарии [62], показали, что их величины в сетях 50 и 220 кВ не превышают 0,1% от номинального напряжения.

Индукционные двигатели могут в ряде случаев генерировать интергармоники из-за наличия зазора между статором и ротором,

особенно в сочетании с насыщением стали. При нормальной скорости вращения ротора частоты интергармоник находятся в диапазоне 500-2000 Гц, но при запуске двигателя "пробегают" весь диапазон частот вплоть до установившегося значения. Помехи, создаваемые двигателями, могут быть значительными при установке их в конце длинной линии низкого напряжения (более 1 км). В этих случаях были замерены интергармоники величиной до 1 %.

Сварочные машины и дуговые сталеплавильные печи (ДСП) генерируют широкий и непрерывный спектр гармоник /1, 8, 9/.

Частоты гармоник и интергармоник, генерируемых преобразовательным оборудованием определяются по выражению:

$$f_u = (pm \pm 1) \cdot 50 \pm 6n \cdot F, \quad (16.1)$$

где p – пульсность преобразователя (6 или 12);

F – выходная частота;

$m = 1, 2, 3, \dots$;

$n = 0, 1, 2, \dots$.

Для преобразователей переменного тока в постоянный (выпрямители) $F = 0$ и f_u определяется только первым слагаемым формулы.

Комбинация значений p и m дает частоты кратных гармоник, n и F – частоты боковых интергармоник, которые изменяются при регулировании выходной частоты F .

Отклонения напряжения

Отклонения напряжения обуславливаются изменением нагрузок потребителей в течение суток и соответствующей работой устройств, регулирующих напряжения (трансформаторы с РПН).

Отклонения напряжения в положительную сторону приводят к снижению потерь в сетях, увеличению производительности механизмов приводимых в действие асинхронными двигателями. Однако расход энергии увеличивается, сокращаются сроки службы оборудования, особенно ламп накаливания.

Отклонение от номинала в отрицательную область приводит к противоположным явлениям, за исключением того, что сроки службы двигателей тоже сокращаются. Оптимальное напряжение на двигателе (исходя из срока его службы) не всегда равно номинальному, но при отклонении от него срок службы снижается.

Основная составляющая ущерба от отклонений напряжения и частоты определяется некоторым снижением производительности

оборудования и аналогична ущербу от ограничений, накладываемых на объем используемой энергии.

В ряде случаев снижение напряжения в допустимых пределах используют для сокращения потребления энергии, рассматривая это как энергосберегающее мероприятие

Колебания напряжения

Колебания напряжения представляют собой серию изменений случайного или циклического характера. Их амплитуда обычно не превышает 10 % номинального напряжения, в связи с чем договорные условия поддержания напряжения в пределах $\pm 5\%$ могут выполняться. Частые изменения напряжения внутри допускаемого диапазона приводят к отрицательным последствиям.

При анализе общего процесса изменения напряжения следует выделять:

- медленные изменения напряжения, обусловленные изменением нагрузки сетей в течение суток и соответствующей работой регулирующих устройств (трансформаторов с переключением ответвлений под нагрузкой);
- колебания напряжения, обусловленные работой резкопеременных нагрузок и происходящие с частотой от нескольких раз в минуту до 20 раз в секунду;
- кратковременные посадки (провалы) напряжения, амплитуда которых превышает 10 % и может достигать 100 % (перерывы питания). Посадки напряжения происходят достаточно редко и вызываются коммутационными переключениями в системах, обусловленными повреждениями линий и работой устройств релейной защиты и автоматики.

В документах МЭК выделяются 4 типа формы колебаний напряжения:

- периодические прямоугольные колебания;
- серия скачков напряжения с неодинаковыми интервалами времени между ними и одинаковой или неодинаковой амплитудой, происходящих в положительном или отрицательном направлении;
- четко разделимые колебания, часть которых может иметь форму скачка, а часть – треугольную или более плавную форму;
- случайные колебания произвольной формы, не описываемой аналитическими функциями.

Два или более скачков, происходящих в одном направлении с перерывом между ними не более 30 мс, рассматриваются как один.

Колебания напряжения вызываются работой электроприемников с резко-переменным характером потребления мощности и происходят при работе следующего оборудования:

- сварочных машин сопротивления и дуговых;
- прокатных станов;
- мощных двигателей с изменяющейся нагрузкой;
- электродуговых сталеплавильных печей;

Скачкообразные изменения напряжения могут возникать также при коммутациях нагрузок и электрооборудования (например: конденсаторных батарей).

Кратковременные провалы напряжения

Кратковременные провалы напряжения представляют собой неожиданные снижения напряжения с его восстановлением через интервал времени от нескольких периодов основной частоты до нескольких электрических градусов. Кратковременные перерывы питания представляют собой исчезновение напряжения на период до 1 мин и могут рассматриваться как провал напряжения со 100% амплитудой. Амплитуды посадок напряжения в различных фазах могут быть неодинаковыми. Провал напряжения может иметь одинаковое значение в течение всего времени снижения, а может иметь и более сложную форму, состоящую из двух или более последовательных посадок.

Кратковременные провалы напряжения вызываются коммутационными процессами в энергосистемах, связанных с короткими замыканиями, а также запуском мощных двигателей. Определенное количество таких провалов, вызванных работой автоматики энергосистем по ликвидации коротких замыканий, не может быть устранено и потребители должны учитывать это обстоятельство.

Импульсы напряжения

Источниками импульсов напряжения являются коммутационные операции в сетях энергосистем и грозовые явления.

Несимметрия трехфазной системы напряжений

Несимметрия трехфазной системы напряжения возникает, если фазные или междуфазные напряжения не равны по амплитуде или угол сдвига между ними не равен 120 эл. град.

Несимметрия трехфазной системы напряжений может быть вызвана тремя причинами:

- несимметрией параметров воздушных линий вследствие отсутствия транспозиции проводов или применения удлиненных

циклов транспозиции. Этот фактор проявляется преимущественно на линиях высокого напряжения;

- неравенством нагрузок фаз вследствие неравномерного распределения их между фазами (систематическая несимметрия) либо неодновременностью их работы (вероятностная несимметрия);

- неполнофазными режимами линий электропередач (после отключения одной из фаз вследствие повреждения).

Степень несимметрии напряжений, вызываемая несимметрией параметров линий электропередач, как правило, невелика (до 1 %). Наиболее существенная несимметрия возникает при неполнофазных режимах работы линий электропередач, однако такие режимы бывают весьма редко.

Поэтому основной наиболее распространенной причиной несимметрии являются нагрузки сети.

В сетях промышленных предприятий источниками несимметрии могут быть:

- мощные однофазные нагрузки – индукционные плавильные и нагревательные печи, сварочные агрегаты, печи электрошлакового переплава;

- трехфазные электроприемники длительно работающие в несимметричном режиме – электродуговые сталеплавильные печи.

Отклонения частоты

Отклонения частоты возникают вследствие несоответствия мощности генераторов вырабатывающих электроэнергию и потребляемой нагрузки.

При превышении генераторной мощностью мощности нагрузки скорость генераторов возрастает, пропорционально ей возрастает частота. Мощность, потребляемая нагрузкой, также увеличивается, при определенном значении частоты наступает баланс между генерируемой и потребляемой мощностью. Аналогичная картина снижения частоты наблюдается, если мощность нагрузки превышает мощность генераторов.

Системы управления токами наложенной частоты

Сигналы управляющих систем, передаваемые по линиям электропередачи, предназначены для управления нагрузками, переключения многотарифных счетчиков и других операций. Проблема ЭМС управляющих систем рассматривается в трех аспектах:

- обеспечение совместимости различных управляющих систем;
- устранение ложной работы управляющих систем вследствие помех в сети;
- устранение помех в работе другого оборудования, подключенного к сети, создаваемых сигналами, передаваемыми управляющими системами.

Системы управления токами наложенной частоты разделяются на 4 типа в зависимости от частоты и вида сигнала:

- низкочастотные, использующие синусоидальные сигналы в диапазоне частот от 110 до 2000 Гц. Такие системы применяются, главным образом, в электрических сетях энергоснабжающих организаций, иногда в сетях промышленных предприятий. Они находятся в эксплуатации уже более 50 лет, широко распространены, хорошо изучены, условия их совместимости известны;

- высокочастотные, использующие синусоидальные сигналы в диапазоне частот от 3 до 20 кГц. Применяются преимущественно энергоснабжающими организациями. Такие системы начали производиться за рубежом несколько лет тому назад. Правила их совместимости еще не определены,

- радиочастотные, использующие синусоидальные сигналы в диапазоне частот от 30 до 150 кГц. Эти системы находятся практически в стадии разработки;

- системы с несинусоидальными сигналами, выражаемыми обычно в виде кратковременного понижения напряжения, как правило, в точке пересечения нуля, чтобы избежать фликера. В наименованиях сигналов принята следующая терминология: "длинный импульс" (1,5 – 2 мс); "короткий импульс" (20 – 50 мкс); "импульс основной частоты" (полпериода или целый период). Амплитуда длинного импульса обычно находится в пределах 2 % амплитуды основной частоты, короткого – 2 – 5 %.

Влияние кондуктивных электромагнитных помех на работу электрооборудования

Гармоники

Высшие гармоники напряжения и тока оказывают влияние на элементы систем электроснабжения и линии связи.

Основными формами воздействия высших гармоник на системы электроснабжения являются:

- увеличение токов и напряжений высших гармоник вследствие параллельного и последовательного резонансов;
- снижение эффективности процессов генерации, передачи, использования электроэнергии;
- старение изоляции электрооборудования и сокращение вследствие этого срока его службы;
- ложная работа оборудования.

Влияние резонансов на системы. Резонансы в системах электроснабжения обычно рассматриваются применительно к конденсаторам, в частности к силовым конденсаторам. При превышении гармониками тока уровней, предельно допустимых для конденсаторов, последние не ухудшают свою работу, однако через некоторое время выходят из строя.

Другой областью, где резонансы могут приводить к выходу из строя элементов оборудования, являются системы управления нагрузкой с помощью тональных частот. Для того, чтобы предотвратить поглощение сигнала силовыми конденсаторами, их цепи разделяют настроенным последовательным фильтром (фильтр-"пробка"). В случае местного резонанса гармоники тока в цепи силового конденсатора резко возрастают, что приводит к отказу настроенного конденсатора последовательного фильтра.

В одной из установок фильтры, настроенные на частоту 530 Гц с проходным током 100 А каждый, блокировали цепь силовой конденсаторной установки, имеющей 15 секций по 65 квар. Конденсаторы этих фильтров вышли из строя через два дня. Причиной оказалось наличие гармоники с частотой 350 Гц, в непосредственной близости к которой были обнаружены условия резонанса между настроенным фильтром и силовыми конденсаторами.

Влияние гармоник на вращающиеся машины. Гармоники напряжения и тока приводят к дополнительным потерям в обмотках статора, в цепях ротора, а также в стали статора и ротора. Потери в проводниках статора и ротора из-за вихревых токов и поверхностного эффекта при этом больше, чем определяемые омическим сопротивлением.

Токи утечки, вызываемые гармониками в торцевых зонах статора и ротора, приводят к дополнительным потерям.

В индукционном двигателе с ротором со скошенными пазами и пульсирующими магнитными потоками в статоре и роторе высшие гармоники вызывают дополнительные потери в стали. Величи-

на этих потерь зависит от угла скоса пазов и характеристик магнитопровода.

Среднее распределение потерь от высших гармоник характеризуется следующими данными; обмотки статора 14 %; цепи ротора 41 %; торцевые зоны 19 %; асимметричные пульсации 26 %.

За исключением потерь на асимметричные пульсации их распределение в синхронных машинах приблизительно аналогично.

Дополнительные потери - одно из самых отрицательных явлений, вызываемое гармониками во вращающихся машинах. Они приводят к повышению общей температуры машины и к местным перегревам, наиболее вероятным в роторе. Двигатели с ротором типа "беличья клетка" допускают более высокие потери и температуру, чем двигатели с фазным ротором.

Моменты вращения, создаваемые гармониками. Гармоники тока в статоре вызывают соответствующие моменты вращения: гармоники, образующие прямую последовательность в направлении вращения ротора, а образующие обратную последовательность – в обратном направлении.

Токи гармоник в статоре машины вызывают движущую силу, приводящую к появлению на валу вращающихся моментов в направлении вращения магнитного поля гармоники. Вращающий момент от u -ой гармоники определяется по следующему выражению:

$$M \cdot v = (U_v/v)(r_{2v}/x_1), \quad (16.2)$$

где U_v – напряжение u -ой гармоники;

v – номер гармоники;

r_{2v}, x_1 – сопротивления ротора и статора.

Обычно они очень малы и к тому же частично компенсируются из-за противоположного направления. Несмотря на это, они могут привести к вибрации вала двигателя.

Влияние гармоник на статическое оборудование, линии электропередачи. Гармоники тока в линиях приводят к дополнительным потерям электроэнергии и напряжения.

В кабельных линиях гармоники напряжения увеличивают воздействие на диэлектрик пропорционально увеличению максимального значения амплитуды. Это, в свою очередь, увеличивает число повреждений кабеля и стоимость ремонтов.

В линиях сверхвысокого напряжения гармоники напряжения по той же причине могут вызывать увеличение потерь на корону.

Трансформаторы. Гармоники напряжения вызывают в трансформаторах увеличение потерь на гистерезис и потерь, связанных с вихревыми токами в стали, а так же потерь в обмотках. Сокращается также срок службы изоляции.

Отрицательный аспект воздействия гармоник на мощные трансформаторы состоит в циркуляции утроенного тока нулевой последовательности в обмотках, соединенных в треугольник. Это может привести к их перегрузке.

Батареи конденсаторов.

Дополнительные потери в электрических конденсаторах от гармоник определяются по выражению:

$$\delta P = \sum \Delta P_0 \cdot \omega \cdot C \cdot \nu U_\nu, \quad (16.3)$$

где ΔP_0 – удельные потери на основной частоте кВт/квар;

C – емкость конденсатора;

U_ν – напряжение ν -ой гармоники.

Эти потери приводят к перегреву конденсаторов. В общем случае конденсаторы проектируются так, чтобы допускать определенную токовую перегрузку. Конденсаторы, выпускаемые в Великобритании, допускают перегрузку 15 %, в Европе и Австралии – 30 %, в США – 80 %, в СНГ – 30 %. При превышении этих величин, наблюдающихся в условиях повышенных напряжении высших гармоник на вводах конденсаторов, последние перегреваются и выходят из строя.

Влияние на устройства защиты энергосистем. Гармоники могут нарушать работу устройств защиты или ухудшать их характеристики. Характер нарушения зависит от принципа работы устройства. Цифровые реле и алгоритмы, основанные на анализе выборки данных или точки пересечения нуля, особенно чувствительны к гармоникам.

Влияние гармоник на системы защиты в нормальных режимах работы электрических сетей. Низкая чувствительность устройств защиты к параметрам режима в нормальных условиях обуславливает практическое отсутствие проблем, связанных с гармониками в этих режимах. Исключение составляет проблема, связанная с включением в сеть мощных трансформаторов, сопровождающимся броском намагничивающего тока.

Воздействие гармоник на оборудование потребителей

Телевизоры, Гармоники, увеличивающие пик напряжения, могут вызвать искажения изображения и изменение яркости.

Люминесцентные и ртутные лампы. Балластные устройства этих ламп иногда содержат конденсаторы и при определенных условиях может возникнуть резонанс, приводящий к выходу ламп из строя.

Компьютеры. Существуют пределы на допустимые уровни искажений в сетях, питающих компьютеры и системы обработки данных. В некоторых случаях они выражаются в процентах от номинального напряжения (для компьютера IBM – 5 %) либо в виде отношения пика напряжения к действующему значению (CDC устанавливает допустимые его пределы значениями $1,41 \pm 0,1$).

Влияние гармоник на измерение мощности и энергии. Измерительные устройства обычно калибруются при чисто синусоидальном напряжении и увеличивают погрешность при наличии высших гармоник. Величина и направление гармоник являются важными факторами, так как знак погрешности определяется направлением гармоник.

Погрешности измерения, вызываемые гармониками, сильно зависят от типа измерительной аппаратуры. Обычные индукционные счетчики, как правило, завышают показания на несколько процентов (по 6%) при наличии у потребителя источника искажения. Такие потребители оказываются автоматически наказанными за внесение искажений в сеть, поэтому в их собственных интересах установить соответствующие средства для подавления этих искажений.

Точное измерение энергии независимо от формы кривых тока и напряжения обеспечивается электронными счетчиками, имеющими более высокую стоимость.

Гармоники оказывают воздействие и на точность измерения реактивной мощности, которая четко определена лишь для случая синусоидальных токов и напряжения, и на точность измерения коэффициента мощности.

Редко упоминается влияние гармоник на точность поверки и калибровки приборов в лабораториях, хотя эта сторона вопроса также важна.

Влияние гармоник на цепи связи. Гармоники в силовых цепях вызывают шумы в цепях связи. Малый уровень шума приводит к определенному дискомфорту, при его увеличении часть передаваемой информации теряется, в предельных случаях связь становится вообще невозможной. В связи с этим при любых технологических изменениях систем электроснабжения и систем связи необходимо

рассматривать влияние линий электропередачи на линии телефонной связи.

Воздействие гармоник на шумы в телефонных линиях зависит от порядка гармоник.

Колебания и провалы напряжения

Колебания и провалы напряжения в электрической сети приводят к следующим последствиям:

- колебаниям светового потока осветительных приборов (фликер – эффект);
- ухудшению качества работы телевизионных приемников;
- нарушению в работе рентгеновского оборудования;
- ложной работе регулирующих устройств и ЭВМ;
- нарушениям в работе преобразователей;
- колебаниям момента на валу вращающихся машин, вызывающим дополнительные потери электроэнергии и увеличенный износ оборудования, а также нарушения технологических процессов, требующих стабильной скорости вращения.

Степень влияния на работу оборудования определяется амплитудой колебаний и их частотой.

Колебания нагрузки большой мощности, например, прокатных станов, вызывают колебания момента, активной и реактивной мощности генераторов местных электростанций.

Колебания и провалы напряжения с глубиной более 10 % могут привести к погасанию газоразрядных ламп, повторное зажигание которых в зависимости от типа лампы может происходить только через значительный промежуток времени. При глубоких колебаниях и провалах напряжения (более 15 %) могут отпасть контакты магнитных пускателей, вызвав сбои в производстве.

Колебания с размахом в 10-12 % могут привести к выходу из строя конденсаторов, а также вентилях выпрямительных агрегатов.

Резкие колебания напряжения отрицательно сказываются на динамике ведения поездов. Скачки тока и тягового усилия, вызываемые колебаниями напряжения, снижают надежность работы контакторов и опасны с точки зрения возникновения буксования. Для электроподвижного состава опасны колебания порядка 4-5 %.

На качество дуговой электросварки колебания напряжения практически не влияют (в силу инерционности тепловых процессов в металле шва), но заметно влияют на качество точечной сварки.

Увеличение потерь электроэнергии во внутривозводских сетях, вызванное колебаниями напряжения с амплитудой в 3 %, не превышает 2 % от начального значения потерь.

На металлургических заводах колебания напряжения более 3 % приводят к рассогласованию скоростей работы приводов клетей станов непрерывной прокатки металла, что снижает качество (стабильность толщины) прокатываемой ленты.

Заметное влияние оказывают колебания и провалы напряжения на асинхронные двигатели малой мощности. Это представляет опасность для текстильного, бумагоделательного и других производств, предъявляющих высокие требования к стабильности скорости вращения электроприводов. В частности, колебания напряжения на заводах химического волокна приводят к нестабильности вращения намоточных устройств. В результате капроновые нити либо рвутся, либо получаются с неравномерной толщиной.

При производстве хлора и каустической соды колебания напряжений вызывают резкое увеличение износа анодов и снижение производительности.

Провалы напряжения при производстве химического волокна вызывают останов оборудования, на повторный запуск которого затрачивается от 15 мин в случае отказа 10 % оборудования) до 24 ч при отказе 100 % оборудования). Брак продукции составляет от 2,2 до 800 % от тоннажа одного технологического цикла. Время же полного восстановления технологического процесса достигает 3 суток.

Несимметрия напряжений

Несимметрия трехфазной системы напряжений приводит к возникновению токов обратной последовательности, а в 4-проводных сетях дополнительно и токов нулевой последовательности. Токи обратной последовательности вызывают дополнительный нагрев вращающихся машин, появление нехарактерных гармоник при работе многофазных преобразователей и другие явления.

При несимметрии напряжений в 2 % сроки службы асинхронных двигателей сокращаются на 10,8 % синхронных – на 16,2 %; трансформаторов – на 4 %; конденсаторов – на 20 %. Нагрев оборудования осуществляется за счет расхода дополнительной электроэнергии, что снижает к.п.д. электроустановок. Скорость вращения асинхронных двигателей несколько снижается, возрастают вибрация вала и шум.

Для того чтобы избежать перегрева двигателя, его загрузку приходится снижать.

Отклонение напряжения и частоты

Отклонения напряжения в положительную сторону приводят к снижению потерь в сетях, увеличению производительности механизмов приводимых в действие асинхронными двигателями), однако расход энергии увеличивается, сокращаются сроки службы оборудования, особенно ламп накаливания.

Отклонение от номинала в отрицательную область приводит к противоположным явлениям, за исключением того, что сроки службы двигателей тоже сокращаются. Оптимальное напряжение на двигателе (исходя из срока его службы) не всегда равно номинальному, но при отклонении от него срок службы снижается.

Отклонения частоты в еще меньшей степени сказываются на сроках службы оборудования и потерях энергии, чем отклонение напряжения.

Основная составляющая ущерба от отклонений напряжения и частоты определяется некоторым снижением производительности оборудования и аналогична ущербу от ограничений, накладываемых на объем используемой энергии.

На большинстве производств это снижение компенсируется увеличением продолжительности работы механизмов или сверхурочными работами. Экспериментально его можно зафиксировать лишь на автоматических линиях непрерывного производства.

В ряде случаев снижение напряжения в допустимых пределах используют для сокращения потребления энергии, рассматривая это как энергосберегающее мероприятие.

17 КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСНОВЫ И ТЕХНИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ

Существуют три основные группы методов повышения качества электроэнергии. В первую очередь, это рационализация средств электроснабжения. К этой группе относят повышение мощности сети, питание нелинейных потребителей повышенным напряжением и др. Вторая группа предполагает совершенствование самих потребителей: номинальная загрузка двигателей, использование многофазных схем выпрямления, включение в состав потребителя корректирующих устройств и т.д. Третья группа ориентирована на использование устройств коррекции качества или, иначе говоря, регуляторов одного или нескольких показателей качества электроэнергии или связанных с ними параметров потребляемой мощности.

Поддержание частоты в нормируемых пределах производится электростанциями системы. Физически возможно поддерживать ее на номинальном значении только в том случае, если мощность станций превышает мощность потребителей. В противном случае требуется ограничивать потребление.

17.1 Методы и средства регулирования напряжения

Отклонения напряжения являются "медленным" изменением напряжения и вызываются либо изменением уровня напряжения в центре питания, либо потерями напряжения в элементах сети. Рис. 17.1 иллюстрирует, как изменяется уровень отклонения напряжения (в процентах от номинального напряжения) вдоль участка сети от центра питания до электроприемника. Условно нанесены границы допустимых значений. Из этого рисунка видно, что требования по отклонениям напряжения для последних ЭП не выполняются. Это связано со значительными потерями напряжения в кабельной линии и на шинах питания ЭП. Суммарные потери напряжения определяют по выражению

$$\Delta U = \frac{100}{U_{\text{ном}}^2} \sum_{k=1}^{k=n} (P_k Q_k + Q_k X_k), \% , \quad (17.1)$$

где P_k и Q_k – соответственно активная и реактивная мощности, протекающие по k -му участку сети;

R_k и X_k – активное и реактивное сопротивления k -го элемента сети.

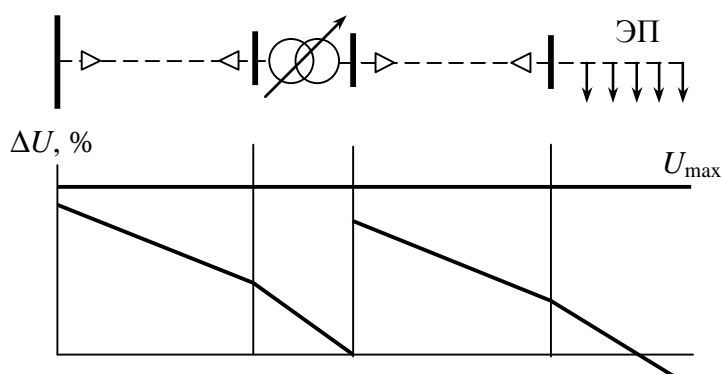


Рис. 17.1 – . Изменение напряжения на участках сети при протекании по ним тока нагрузки

Второй причиной заниженного уровня напряжения на ЭЛ является недостаточный уровень напряжения на вторичной обмотке трансформатора.

Анализируя эпюру напряжения на рис. 17.1 и выражение (17.1), можно сделать вывод: обеспечить требования по отклонениям напряжения на ЭП можно двумя способами:

- за счет регулирования напряжения в центре питания;
- путем снижения потерь напряжения в элементах сети.

Первый способ может быть реализован с помощью изменения коэффициента трансформации питающего трансформатора. Для этого трансформаторы оснащаются средствами регулирования напряжения под нагрузкой (РПН) или имеют возможность переключения отпаяк регулировочных ответвлений без возбуждения (ПБВ), т.е. с отключением их от сети во время переключения ответвлений. Трансформаторы с РПН позволяют регулировать напряжение в диапазоне от ± 10 до ± 16 % с дискретностью 1,25 – 2,5 %. Трансформаторы с ПБВ имеют регулировочный диапазон обычно ± 5 %.

Второй способ, основанный на снижении потерь напряжения в питающих линиях или кабелях, может быть реализован за счет снижения активного и (или) реактивного сопротивления. Снижение сопротивления достигается путем увеличения сечения проводов или применением устройств продольной компенсации (УПК). Продольная емкостная компенсация параметров линии заключается в последовательном включении конденсаторов в расщелку линии, благодаря чему ее реактивное сопротивление уменьшается:

$$X'_{\text{Л}} = X_{\text{Л}} - X_{\text{С}} < X_{\text{Л}}.$$

Сопротивление батарей конденсаторов УПК для снижения потери напряжения от значения ΔU_1 , % до значения ΔU_2 , % рассчитывается по выражению

$$X_{\text{БК}} = \frac{U_{\text{номБК}}(\Delta U_1 - \Delta U_2)}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{ном}} \cdot \sin \varphi}. \quad (17.2)$$

При этом мощность батареи конденсаторов

$$Q_{\text{БК}} = \frac{U_{\text{номБК}}^2}{X_{\text{БК}}}. \quad (17.3)$$

Необходимо отметить, что вышеназванные способы снижения $X_{\text{л}}$ и $Z_{\text{л}}$ приводят к увеличению токов КЗ и требуют проведения специальных расчетов с целью проверки коммутационной аппаратуры, установленной в этой сети, по отключающей способности.

Дополнительная реактивная мощность КБ для повышения напряжения на величину ΔU , % может быть ориентировочно определена по выражению

$$Q_{\text{доп}} \approx \frac{10U_{\text{ном}}^2 \cdot \Delta U}{X_{\text{КЗ}}(1 + 0,01 \cdot \Delta U)} = \frac{10S_{\text{КЗ}} \cdot \Delta U}{1 + 0,01 \Delta U}, \quad (17.4)$$

где $X_{\text{КЗ}}$ – сопротивление КЗ в точке подключения КБ.

Следует отметить, что минимизация параметра ΔU и поддержание необходимых уровней напряжения на отдельных подстанциях с методической точки зрения затруднений не вызывает. Для этого определяются места установки компенсирующих устройств и с учетом условия минимума капиталовложений рассчитывается требуемая мощность таких устройств. На практике для стабилизации уровней напряжения широко используют нерегулируемые шунтирующие реакторы (ШР). Однако в сложных электрических сетях с протяженными структурами использование ШР не всегда дает положительный результат. Установка только нерегулируемых ШР приводит к резким колебаниям напряжения, вызванным избытком или недостатком реактивной мощности при изменениях нагрузки электрической сети. Кроме того, применение большого числа ШР, рассредоточенных вдоль сверхпротяженной ВЛ, и их частая коммутация, вследствие сильной изменчивости нагрузок электрической сети, требует согласования режимов работы ШР 10 кВ. Поэтому естественно, что такие протяженные электрические сети должны быть управляемыми. Достаточно эффективным средством системного регулирования напряжения являются управляемые

или насыщающиеся реакторы (УР), представляющие собой группу из трех однофазных реакторов. Но известно, что такие устройства, имеющие тиристорный преобразователь, генерируют во внешнюю сеть высшие гармоники тока, характеристики которых зависят от схемы сети и режима работы.

17.2 Снижение колебаний напряжения

Колебания напряжения в системе электроснабжения промышленного предприятия вызываются набросами реактивной мощности нагрузки. Размах колебаний напряжения может быть ориентировочно определен по выражению.

$$\delta U_t \approx 10 \frac{\Delta Q_n X_{K3}}{U_n^2} \approx 10 \frac{\Delta Q_n}{S_{K3}}, \quad (17.5)$$

где ΔQ_n – величина наброса реактивной мощности нагрузки;

X_{K3} – сопротивление КЗ в точке подключения нагрузки;

U_n – номинальное напряжение на зажимах нагрузки.

Из выражения (17.5) следует, что для снижения δU_t необходимо уменьшать либо X_{K3} , либо набросы реактивной мощности нагрузки ΔQ_n . Остановимся подробнее на способах снижения ΔQ_n . В отличие от отклонения напряжения, колебания напряжения происходят значительно быстрее. Частоты повторения колебаний напряжения достигают 10 – 15 Гц при скоростях набросов реактивной мощности до десятков и даже сотен Мвар в секунду. Это означает, что для снижения ΔQ_n должны применяться быстродействующие источники реактивной мощности, способные обеспечить скорости набросов реактивной мощности, соизмеримые с характером изменения нагрузки. При этом выполняется следующее условие:

$$\Delta Q_\Sigma = \Delta Q_n - \Delta Q_{ИРМ}, \quad (17.6)$$

где ΔQ_Σ – результирующая реактивная мощность;

$\Delta Q_{ИРМ}$ – наброс реактивной мощности источником реактивной мощности (ИРМ).

Этот способ для дискретного ИРМ иллюстрирует рис.17.2

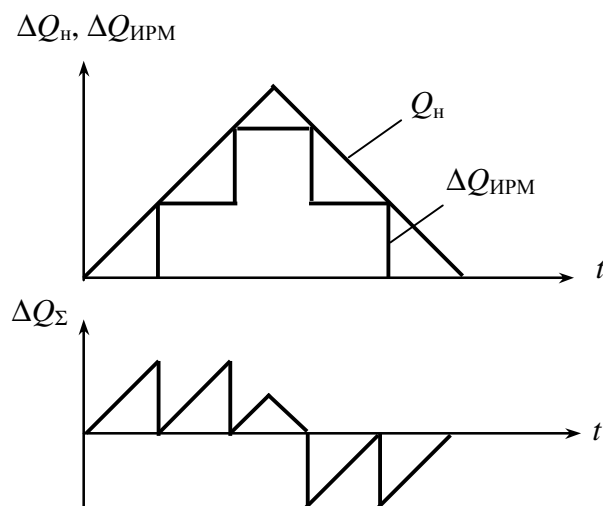


Рис. 17.2 – Быстродействующее регулирование реактивной мощности нагрузки

Как видно из рисунка, подключение ИРМ приводит к снижению амплитуд колебаний результирующей реактивной мощности, но увеличивает их эквивалентную частоту. При недостаточном быстродействии применение ИРМ может привести даже к ухудшению положения.

Для снижения влияния резкопеременной нагрузки на чувствительные ЭП применяют способ разделения нагрузок, при котором наиболее часто применяют сдвоенные реакторы, трансформаторы с расщепленной обмоткой или питают нагрузки от различных трансформаторов

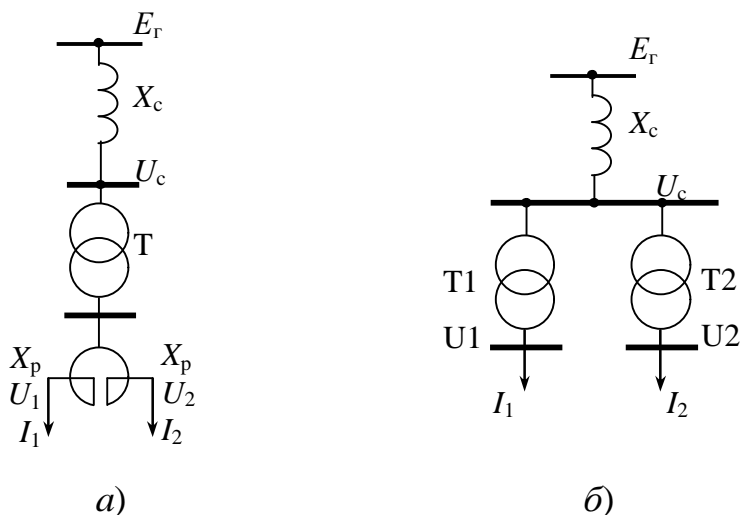


Рис. 17.3 – Разделение нагрузок с помощью сдвоенного реактора (*a*) и различных трансформаторов (*б*)

Эффект использования сдвоенного реактора основан на том, что коэффициент взаимной индукции между обмотками сдвоенного

реактора $K_m \neq 0$, а падение напряжения в каждой секции определяется как

$$\Delta U_1 = jX_L(I_1 - K_m I_2); \Delta U_2 = jX_L(I_2 - K_m I_1), \quad (17.7)$$

где X_L – индуктивное сопротивление секции обмотки реактора;

K_m – коэффициент взаимоиנדукции между обмотками секций реактора.

Падение напряжения за счет магнитной связи обмоток реактора уменьшается на 50 – 60 %.

Трансформаторы с расщепленной обмоткой позволяют подключать к одной ветви обмотки низшего напряжения резкопеременную нагрузку (источник искажений), а к другой – стабильную. Связь между изменениями напряжения в обмотках определяется по выражению

$$\Delta U_1 = \Delta U_2 \frac{4 - K_p}{4 + K_p}, \quad (17.8)$$

где K_p – коэффициент расщепления, принимаемый равным 3,5.

При выделении резкопеременной нагрузки на отдельный трансформатор (рис. 17.3, б) общее сопротивление снижается с величины

$$X = \frac{X_{T1} X_{T2}}{X_{T1} + X_{T2}} + X_C \quad (17.9)$$

до величины X_C .

Размах колебаний напряжения на шинах стабильной нагрузки снижается в X_C/X раз, а на шинах резкопеременной нагрузки увеличивается в $X/(X_C + X_{T2})$ раз.

17.3 Снижение несимметрии напряжения

К снижению несимметрии напряжений приводит как уменьшение сопротивления сети токам обратной и нулевой последовательностей, так и снижение значений самих токов. Учитывая, что сопротивления внешней сети (трансформаторов, кабелей, линий) одинаковы для прямой и обратной последовательностей, снизить эти сопротивления возможно лишь путем подключения несимметричной нагрузки к отдельному трансформатору.

Основным источником несимметрии являются однофазные нагрузки. При соотношении между мощностью короткого замыка-

ния в узле сети $S_{КЗ}$ к мощности однофазной нагрузки $S_{одн}$ ($S_{КЗ}/S_{одн} > 50$) коэффициент обратной последовательности обычно не превышает 2 %, что соответствует требованиям ГОСТ 13109–97. Снизить несимметрию можно с помощью увеличения $S_{КЗ}$ на зажимах нагрузки. Это достигается, например, подключением мощных однофазных нагрузок через собственный трансформатор на шины 110–220 кВ.

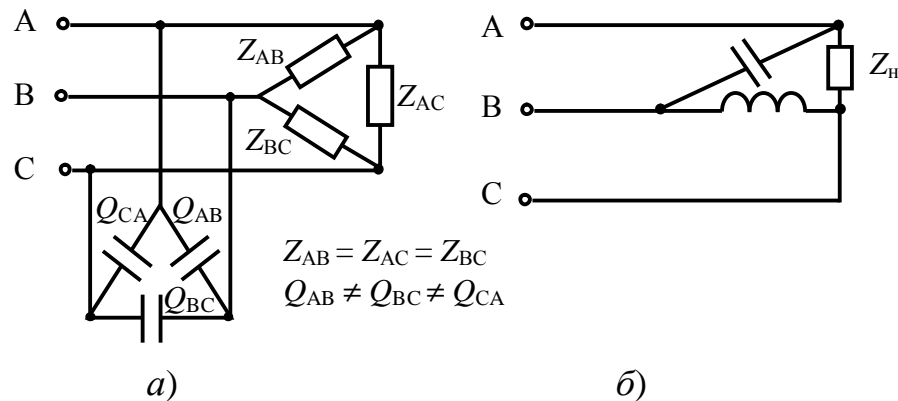


Рис. 17.4 - Симметрирующие устройства с КБ (а) и специальная схема (б)

Снижение систематической несимметрии в сетях низкого напряжения осуществляется рациональным распределением однофазных нагрузок между фазами с таким расчетом, чтобы сопротивления этих нагрузок были примерно равны между собой. Если несимметрию напряжения не удастся снизить с помощью схемных решений, то применяются специальные устройства, называемые *симметрирующими*. В качестве таких устройств применяют несимметричное включение конденсаторных батарей (рис. 17.4, а) или специальные схемы симметрирования (рис. 17.4, б) однофазных нагрузок.

Существует несколько методов расчета симметрирующего эффекта КБ и расчетов параметров симметрирующих устройств однофазных нагрузок, включая номограммы. Если несимметрия меняется по вероятностному закону, то для ее снижения применяются автоматические симметрирующие устройства (СУ). Разработано значительное количество схем СУ и способов управления ими. Одна из наиболее распространенных схем представлена на рис. 17.5. В таких схемах конденсаторы и реакторы набираются из нескольких небольших параллельных групп и подключаются в зависимости от изменения тока или напряжения обратной последовательности. Не-

достатком схемы являются дополнительные потери, возникающие за счет включения реакторов.

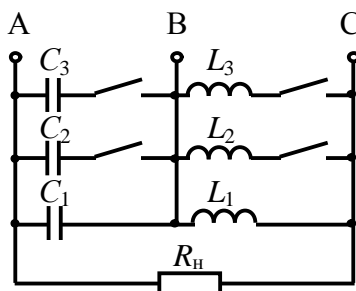


Рис. 17.5 – Типовая схема СУ

Разработан ряд СУ на базе применения трансформаторов, например, трансформаторов с вращающимся магнитным полем, представляющим собой несимметричную нагрузку, или трансформаторов, позволяющих осуществить пофазное регулирование напряжения. Последний позволяет осуществить симметрирование при несимметричной нагрузке и при несимметрии напряжений питающей сети.

Снижение несинусоидальности напряжения

Способы снижения несинусоидальности напряжения можно разделить на три группы:

а) схемные решения:

- выделение нелинейных нагрузок на отдельную систему шин;
- рассредоточение нагрузок по различным узлам СЭС с подключением параллельно им электродвигателей,
- группирование преобразователей по схеме умножения фаз,
- подключение нагрузки к системе с большей мощностью $S_{кз}$,

б) использование фильтровых устройств

- включение параллельно нагрузке узкополосных резонансных фильтров
- включение фильтрокомпенсирующих устройств (ФКУ)
- применение фильтросимметрирующих устройств (ФСУ),
- применение ИРМ, содержащих ФКУ,

в) применение специального оборудования, характеризующегося пониженным уровнем генерации высших гармоник

- использование "ненасыщающихся" трансформаторов,
- применение многофазных преобразователей с улучшенными энергетическими показателями.

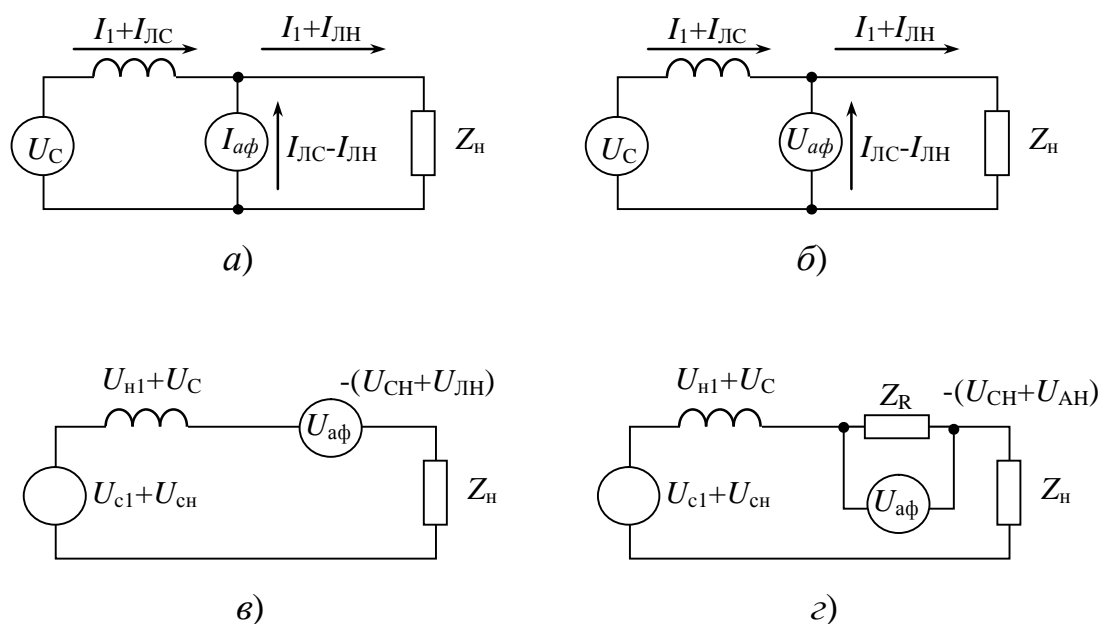


Рис. 17.6 – Основные типы активных фильтров: *а* – параллельный источник тока; *б* – параллельный источник напряжения; *в* – последовательный источник напряжения; *г* – последовательный источник тока

Развитие элементной базы силовой электроники и новых методов высокочастотной модуляции привело к созданию в 70-х годах нового класса устройств, улучшающих качество электроэнергии – *активных фильтров* (АФ). Сразу же возникла классификация активных фильтров на последовательные и параллельные, а также на источники тока и напряжения, что привело к получению четырех базовых схем. Каждая из четырех структур (рис. 17.6) определяет схему фильтра на рабочей частоте: ключей в преобразователе и вид самих ключей (двунаправленный или однонаправленный ключ). В качестве накопителя энергии в преобразователе, служащем источником тока (рис. 17.6, *а*, *г*), используется индуктивность, а в преобразователе, служащем источником напряжения (рис. 17.6, *б*, *в*), используется емкость.

Типовая схема выполнения силового резонансного фильтра приведена на рисунке.

Известно, что сопротивление фильтра Z на частоте ω равно

$$Z = X_L - X_C = j \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right). \quad (17.10)$$

При $X_L = X_C$ или $\omega L = (1/\omega C)$ на частоте ω наступает резонанс напряжений, означающий, что сопротивление фильтра для

гармонической составляющей и составляющей напряжения с частотой ω равно нулю. При этом гармонические составляющие с частотой ω будут поглощаться фильтром и не проникать в сеть. На этом явлении основан принцип построения резонансных фильтров.

В сетях с нелинейными нагрузками возникают, как правило, гармоники канонического ряда, порядковый номер которых $\nu = 3, 5, 7, \dots$

Уровни гармоник с таким порядковым номером, как правило, убывают с увеличением частоты. Поэтому на практике применяют цепочки из параллельно включенных фильтров, настроенных на 3, 5, 7 и 11-ю гармоники. Такие устройства называются *узкополосными резонансными фильтрами*.

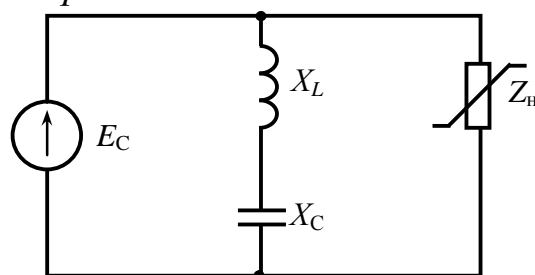


Рис. 17.7 – . Схема замещения силового резонансного фильтра

Учитывая, что $X_{Lv} = X_L$, $X_{Cv} = (X_C/\nu)$, где X_L и X_C – сопротивления реактора и КБ на основной частоте, а также выражение (17.6), получаем

$$X_{\phi} = X_L + X_C = X_C(1 - 1/\nu^2). \quad (17.11)$$

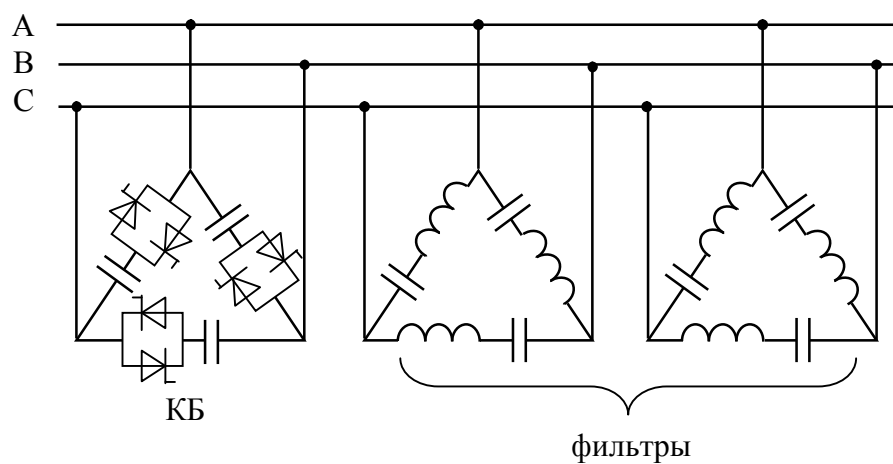
Такой фильтр, который, помимо фильтрации гармоник, будет генерировать реактивную мощность, и компенсировать потери мощности в сети и напряжения, носит название *фильтрокомпенсирующего* (ФКУ).

Если устройство, помимо фильтрации высших гармоник, выполняет функции симметрирования напряжения, то такое устройство называется *фильтросимметрирующим* (ФСУ). Конструктивно ФСУ представляют собой несимметричный фильтр, включенный на линейное напряжение сети. Выбор линейных напряжений, на которые подключаются фильтрующие цепи ФСУ, а также соотношения мощностей конденсаторов, включенных в фазы фильтра, определяются условиями симметрирования напряжения.

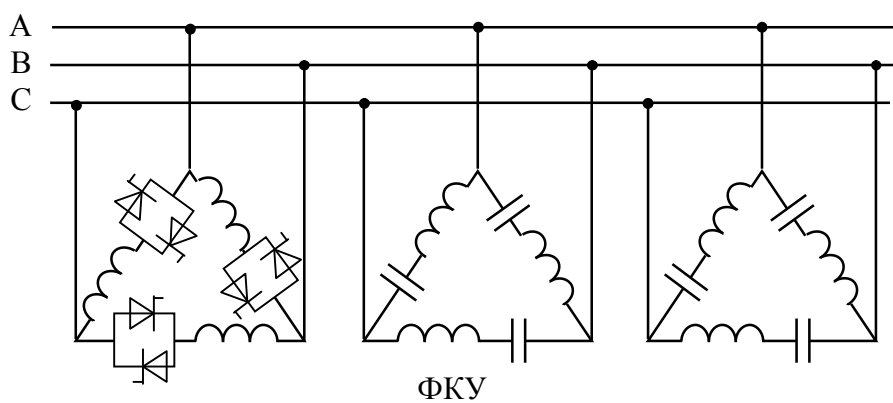
Из вышесказанного следует, что устройства типа ФКУ и ФСУ воздействуют одновременно на несколько показателей качества электрической энергии (несинусоидальность, несимметрия, от-

клонение напряжения). Такие устройства для повышения качества электрической энергии получили название *многофункциональных оптимизирующих устройств* (МОУ). Целесообразность в разработке таких устройств возникла в связи с тем, что резкопеременные нагрузки типа ДСП вызывают одновременное искажение напряжения по ряду показателей. Применение МОУ позволяет комплексно решать проблему обеспечения качества электроэнергии, т.е. одновременно по нескольким показателям. К категории таких устройств относятся *быстродействующие статические источники реактивной мощности* (ИРМ). По принципу регулирования реактивной мощности ИРМ можно разделить на две группы: ИРМ прямой компенсации, ИРМ косвенной компенсации. Структуры ИРМ представлены соответственно на рис. 17.8, *а*, *б*. Такие устройства, обладая высоким быстродействием, позволяют снижать колебания напряжения. Пофазное регулирование и наличие фильтров обеспечивают симметрирование и снижение уровней высших гармоник.

На рис. 17.8 *а* представлена схема прямой компенсации, где "управляемым" источником реактивной мощности является коммутируемая с помощью тиристоров конденсаторная батарея. Батарея имеет несколько секций и позволяет дискретно изменять генерируемую реактивную мощность. На рис. 17.8, *б* мощность ИРМ меняется с помощью регулирования реактора. При таком способе управления реактор потребляет избыток реактивной мощности, генерируемой фильтрами. Поэтому способ носит название *косвенной компенсации*.



а)



б)

Рис. 17.8 - Структурные схемы многофункциональных ИРМ прямой (а) и косвенной (б) компенсации

Косвенная компенсация имеет два основных недостатка: поглощение избытка мощности вызывает дополнительные потери, а изменение мощности реактора с помощью угла управления вентилей приводит к дополнительной генерации высших гармоник.

18 БИОЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ

Биополе человека – это сочетание всех биологических полей человека, начиная от физических и заканчивая тонкими.

18.1 Физические поля человека

Физические поля – это поля, которые возможно измерять специальной аппаратурой для дальнейшего изучения. Это делается для исследования человеческого организма и устранения проблем.

Таких полей насчитывается семь.

1. **Электрическое.** Образуется благодаря электрической активности сердечной мышцы, глазного яблока, головного мозга, с его различными частотами потенциалов и др. Это поле применяется в медицине для проведения электрокардиографии и электроэнцефалографии.

2. **Магнитное.** Образуется вследствие возникновения нервных импульсов, электрической активности в клеточных мембранах, кровотока в сосудах. Это поле имеет связь с магнитным полем нашей планеты. Именно из-за него многие люди, особенно метеочувствительные, испытывают дискомфорт и ухудшение состояния во время магнитных бурь. Зачастую, для лечения многих видов заболеваний используют разные магнитные браслеты или клипсы. Но их следует подбирать каждому человеку индивидуально, так как напряженность их магнитов может не всегда совпадать с показателями магнитного поля пациента. Выбор такого метода лечения осуществляется при помощи биолокационной рамки или маятника.

3. **Сверхвысокочастотное.** Образуется это поле от излучения всех внутренних органов на глубине 10–15 см. При этом каждые органы имеют свои значения показателей СВЧ-поля. И в связи с этим, применяемая для лечения, СВЧ-терапия не всегда дает должный положительный эффект.

4. **Хемилюминесцентное.** Это поле получается при прохождении некоторых химических реакций, вследствие испускания световых квантов с глубины 1–1,5 см. Используется оно для диагностики разных заболеваний кожи.

5. **Акустическое.** Все органы в процессе работы создают свои звуки, образуя акустическое поле вокруг себя. Оно используется для исследования организма методом аускультации или перкуссии.

6. **Инфракрасное.** Оно еще называется просто тепловым полем. В зависимости от состояния, органы имеют разную температуру, которую измеряют специальной аппаратурой, предназначенной для этого – тепловизором.

7. **Химическое.** Поле запахов организма. Запах здорового тела человека отличается от запаха при разных видах заболеваний.

18.2 Тонкие поля человека

Тонких полей или тонких тел также семь (рис. 18.1):

1. **Физическое.** Это грубая материя, которая живет от формирования и до смерти организма.

2. **Эфирное.** Оно невидимо и выступает за пределами физического тела на 5–8 см, над головой до 15–20 см. Но в редких случаях доходит и до 40 см. Его второе название – «эфирный двойник». На нем проводят бесконтактный массаж. Это поле способно жить после смерти физического тела еще 9 дней.

3. **Астральное.** Оно распространяется от поверхности тела на расстояние вытянутой руки. Это грубая энергия. С полем связаны человеческие эмоции. Оно очень сильно развитое у людей творческих профессий, таких как музыканты, художники, писатели, актеры. Астральное тело может покидать физическое неосознанно (во сне) или осознанно (медитация, транс). Оно способно жить еще 40 дней после остановки жизнедеятельности физического тела.

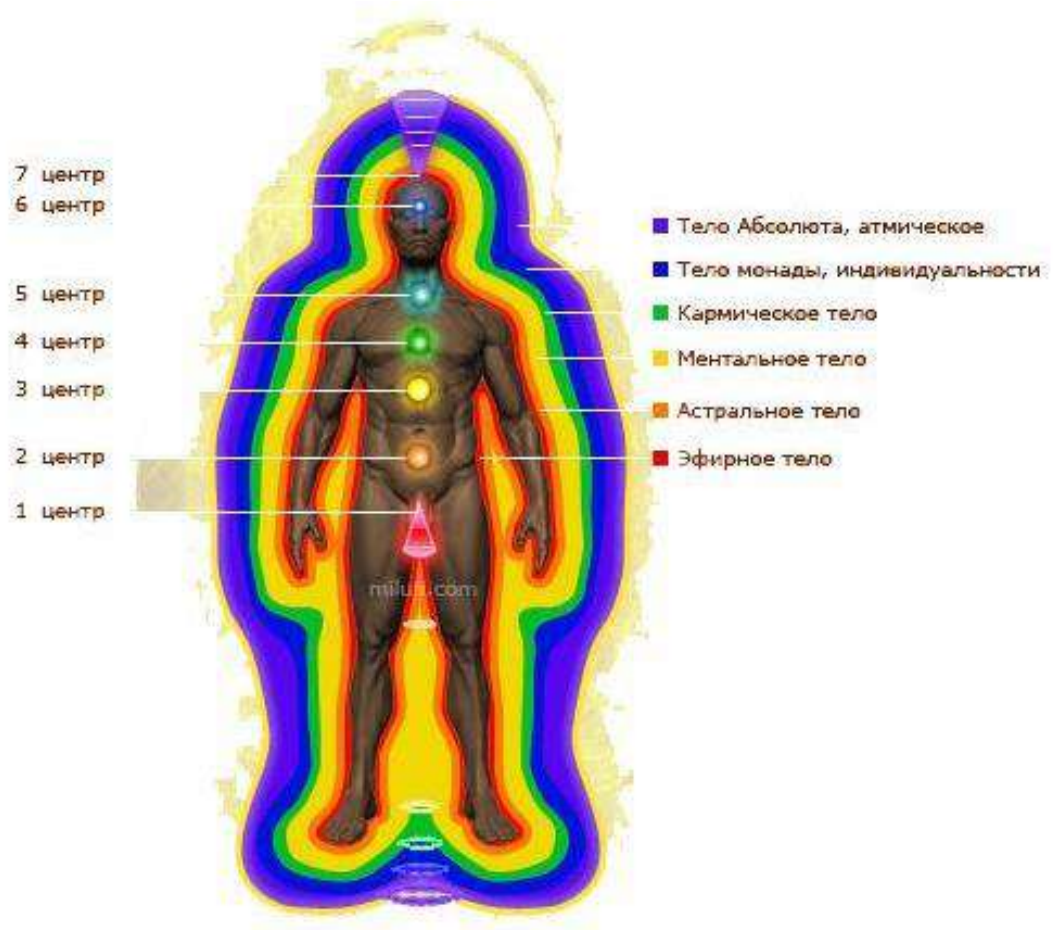


Рис. 18.1 – Биополя человека

4. **Ментальное.** Величина его зависит от интеллекта человека, стремления познавать что-то новое и имеет значение от 5 м до 10 километров. Это тело силы воли, величиной которого и объясняют так называемый феномен лидера. Оно живет еще 1 год после смерти физического тела.

5. **Причинное.** (каузальное, информационное). Оно имеет тесные связи с информационным полем нашей планеты и сохраняет информацию многих поколений. Обученный человек может связываться с информационным полем Земли для считывания необходимой информации. Оно бессмертно. Это грубая информация, существующая отдельно.

6. **Интуитивное.** Его еще называют телом жизнеобеспечения. Оно очень развито у маленьких детей, и при правильном их воспитании увеличивается всю жизнь. А вот жесткие ограничения и навязывание разных идей, наоборот, уменьшают его. Оно также бессмертно. Это тонкая информация.

7. **Высшее.** Также его называют – Атман, Ацилут, Божественный Дух и так далее. Оно характеризуется связью с Высшим Разумом. Это поле также бессмертно.

Насыщение тонких тел человека

На тонкие тела можно оказать положительное воздействие во время приема пищи. Для этого перед началом трапезы надо сделать небольшую медитативную паузу, прийти в равновесие.

Физическое тело насыщается автоматически.

Эфирное – при тщательном пережевывании пищи.

Астральное тело насыщается при концентрации на вкусе пищи.

Для насыщения ментального тела надо сконцентрироваться на качестве и пользе еды.

Для каузального тела – в процессе еды мысленно вспомнить об ушедших близких (помянуть).

Особенности биополя человека

Биополе человека состоит из двух частей – *верхней и нижней*.

Граница проходит на уровне пупка. Половины биополя вращаются вокруг человека, причем вращение может быть как в одну сторону, так и в разные. Если обе половины вращаются по часовой стрелке, то говорят, что поле положительное. Если вращение против часовой стрелки, то поле отрицательное. Если половины вращаются в разные стороны, то в этом случае поле нейтральное. Для определения направления вращения биополя используют биолокационную рамку.

Биополе человека в норме и при патологии

При физическом, психическом и эмоциональном здоровье биополе человека правильной яйцевидной формы. При этом имеет одинаковую величину и плотность (рис. 18.2).

При различных заболеваниях, негативном энергетическом воздействии, усталости и т.д. поле деформируется, может сдвигаться немного в сторону, и плотность становится неравномерной.

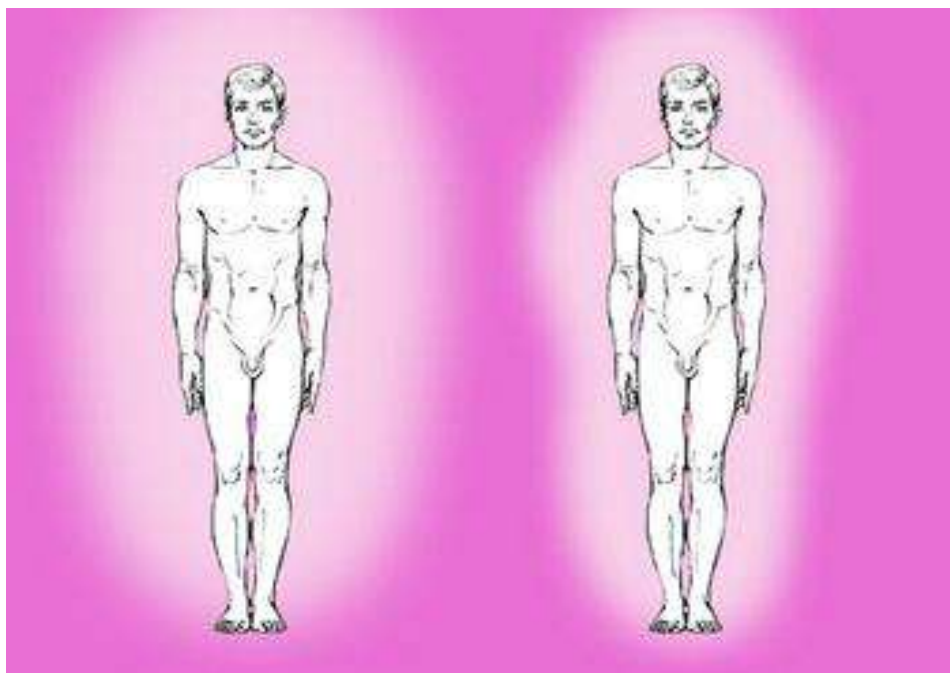


Рис. 18.2 – Форма биополя здорового человека

Существуют методы «скорой самопомощи» при деформации поля вследствие усталости или после свежего негативного воздействия. В таких случаях биополе выравнивается под воздействием движущейся прохлады. Поэтому после неприятного общения желательно постоять на свежем ветре. Вечером – обязательно надо принять прохладный душ.

Чем больше и плотнее биополе, тем больше человек защищен от внешнего негативного воздействия и болезней.

Величина биополя не является постоянной и зависит от многих факторов – от состояния здоровья, чувства усталости, настроения, биоэнергетического потенциала и т.д. На величину биополя влияет даже пища. Так, например, алкоголь, кофе, острые специи снижают плотность и величину поля. Быстро усилить биополе можно [хорошим настроением](#). Не зря древние греки говорили – веселые люди быстрее выздоравливают и дольше живут.

В среднем величина биополя колеблется от 1м до 1,5м. У пожилых людей, больных или недавно переболевших поле меньше. Самое слабое биополе у алкоголиков – бывает до 40см.

18.3 Влияние магнитных бурь на человека

«Что-то голова сегодня болит. Наверное, магнитная буря». Такую фразу часто можно услышать и от пожилой женщины на улице, и даже от врача в поликлинике. Если раньше ученые еще спорили о том, влияют ли бури на самочувствие человека или нет,

то сейчас вопрос практически закрыт, медики и физики в один голос признают: влияют. Правда, на каждого — по-разному.

«Буречувствительность» зависит в первую очередь от состояния здоровья (здоровому бури нипочем) и даже... от года рождения.

Внутри нашей планеты — жидкое ядро. Оно вращается, создает токи, которые порождают магнитное поле Земли и магнитосферу — невидимую защитную оболочку планеты (рис. 18.3). «Если на Солнце происходит выброс и в сторону Земли летит намагниченная плазма (солнечный ветер), то магнитосфера защищает от этих заряженных частиц. Частицы наталкиваются на защитную оболочку Земли, вызывая магнитные возмущения — бури».

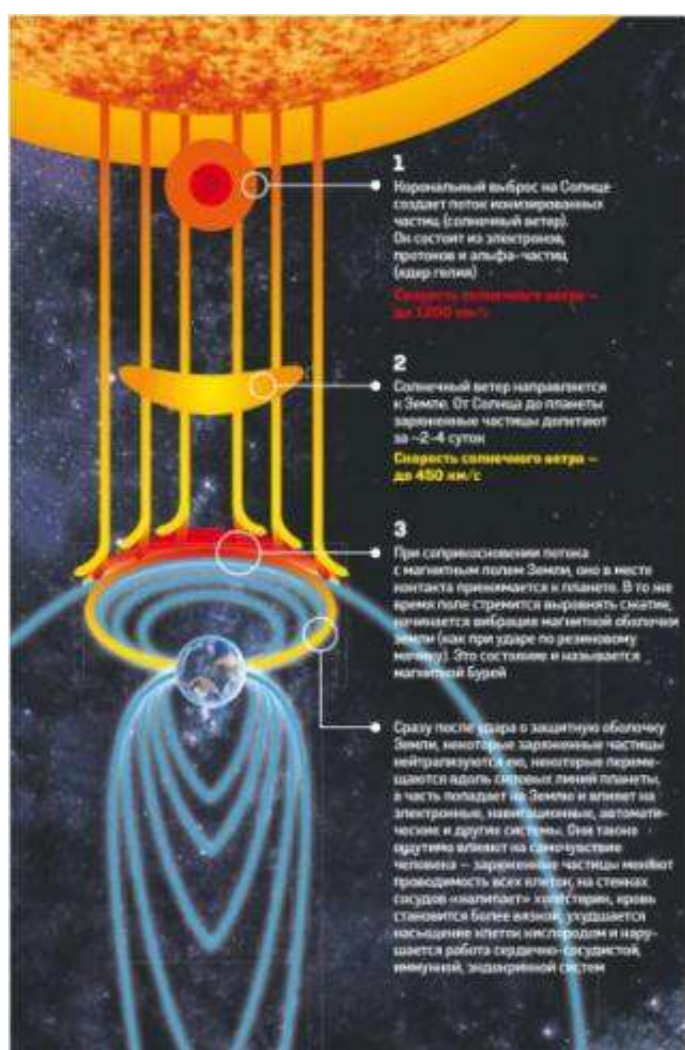


Рис. 18.3 – Влияние магнитной бури на землю

Каждый наш орган тоже обладает своим низкочастотным магнитным полем. Например, у сердца его амплитуда порядка 1 сек., у головного мозга — 7 сек. И стоит магнитной буре войти в

резонанс с одним из органов, его работа нарушается. Это объясняет, почему во время одной магнитной бури может болеть голова, а при другой — беспокоить сердце. Кстати, еще древние египтяне обнаружили, что, воздействуя на человека определенными импульсами магнитного поля, можно вызвать беспричинный страх. Подобные колебания часто возникают во время грозы. Не зря многие ее боятся.

Рукотворные бури

Нарушать магнитный баланс человека могут и другие причины. Например, разгоняющийся поезд создает магнитное поле, превышающее природное в два и более раз. Именно по этой причине многим людям становится плохо в метро. Еще искажают природный магнитный фон железные предметы: кровати, батареи отопления (сведите к минимуму количество железа в доме), металлические украшения (не оставляйте их на себе на ночь). Также избегайте сидеть рядом с высоковольтными линиями электропередач и ретрансляторами мобильной связи.

С другой стороны, железная «оболочка» может послужить защитным экраном для человека. «Если имеете личный железный бункер без окон и дверей и способны просидеть в нем несколько дней, то магнитное возмущение не потревожит ваш организм. Но долго пребывать в таком жилище нельзя. Дело в том, что ритм работы органов человека выработался под влиянием естественного магнитного поля Земли, он поддерживает его. Без этой поддержки нарушается работа сердечно-сосудистой системы, кровь замедляет бег, возникают слабость, апатия — садится внутренний «аккумулятор» человека. Чтобы это не случилось, нужно чаще ходить босиком по земле, гулять в парках и выезжать за город, где минимум техногенного воздействия на человека».

Солнечные циклы

Интенсивность солнечных выбросов повторяется примерно через 11 лет, и недавно как раз мы прошли один из пиков солнечной активности (рис. 18.4). Его оценивают всего в 62 единицы по шкале Вольфа. Это один из самых маленьких подъемов за 100 лет. Существует версия, что эти солнечные спады и подъемы управляют цивилизацией. Когда Солнце максимально активно, то у людей растет интеллект, общество делает скачок в научных достижениях, развитии промышленности и улучшении качества жизни. Но, увы, одновременно возрастает заболеваемость психическими, онкологическими, сердечно-сосудистыми заболеваниями, возникают про-

блемы со щитовидкой. Как только активность солнца снижается, то возрастает рождаемость, отступают болезни, но человечество «глупеет». Точнее, у людей снижается деловая активность. Зато в период минимума солнечной активности растет накал эмоций, и это обеспечивает расцвет культуры и искусства. Кстати, по некоторым исследованиям, те, кто появился на свет в период активного солнца, менее восприимчивы к воздействию магнитных бурь.



Рис. 18.4 – Интенсивность солнечных выбросов за 100 лет

Полностью защититься от магнитной бури нельзя (если только у вас нет железного бункера), но облегчить свое состояние в неблагоприятный период можно. И следовать нехитрым правилам, в основе которых — защита сердечно-сосудистой системы, ведь именно она больше всего страдает от магнитных бурь.

«Гипертоникам накануне магнитной бури нужно принять препарат пролонгированного действия для предупреждения подъема артериального давления (конкор, хемопамид ретард, никардия ретард). Помогут им и травы: настойки пустырника, валерианы, мяты, заманихи, — советует директор клиники альтернативной медицины, д. м. н. Владимир Василевич. — Гипотоникам показаны возбуждающие средства: настойки женьшеня, лимонника, родиолы розовой или препараты: пантакрин, авеол, авиоплан, алфажин. Людям с нарушением ритма сердца — анаприлин и препараты калия (аспаркам, панангин). Если же донимает мигрень, выручат спазмолитики: но-шпа, спазмалгон, баралгин».

ВОДНЫЕ ПРОЦЕДУРЫ

На переносимость магнитных возмущений влияет состояние сосудов. При снижении эластичности их стенок кровь медленнее движается и хуже снабжает кислородом органы. Поэтому сосуды необходимо тренировать. В этом помогут: контрастный душ (два раза в день), плавание в бассейне (два-три раза в неделю), посещение сауны (раз в месяц). «Полезно накануне магнитной бури принять успокаивающую ванну с морской солью, экстрактом хвои, эфирным маслом валерианы, мяты, апельсина, мандарина, розы, иланг-иланга, розмарина, аниса, — и не забывайте о физических нагрузках и дыхательной гимнастике».

Антистрессовое меню

Накануне и во время магнитной бури откажитесь от возбуждающей пищи и напитков: энергетиков, крепкого чая, кофе, специй, лука, чеснока, перца, копченостей, алкоголя. «

За пару дней до бури постарайтесь «придержать» нервы — избегайте ссор и споров. Найдите способ в дни магнитных возмущений максимально оградить себя от психологических проблем и не принимайте важных решений, переключитесь с внутренних переживаний на позитивные эмоции (сходите в театр или просто прогуляйтесь в парке и съешьте мороженое). Кстати, медики утверждают, что у многих людей плохое самочувствие во время магнитной бури провоцирует их настрой.

Точечный массаж

Во время бури часто возникает головная боль в связи с сужением сосудов, поставляющих кислород клеткам мозга. Баланс можно восстановить точечным массажем. Первым делом воздействуйте на точку между большим и указательным пальцами руки (по две минуты на каждой руке).

Физики рекомендуют: если плохо чувствуете себя во время магнитных возмущений, поводите по телу и голове обычным магнитом с холодильника. Механизм действия объясняют просто: эритроциты в крови имеют электростатический заряд, а под действием магнита они принимают овальную форму, это облегчает их задачу «проскочить» по сосудам и автоматически улучшает состояние человека. Кроме того, воздействие магнитом меняет полярность стенок сосудов и от них отлипают холестериновые отложения.

Естественное магнитное поле Земли на разных участках разное. В нашей стране импульсивность магнитного поля Земли — в пределах 45–50 микротесла. Это средние величины, которые обес-

печивают комфортное проживание человека. Повышенный естественный фон — на территории Черниговской, Сумской, Харьковской и Одесской областей. Проведенное украинскими учеными исследование показало, что в этой зоне люди имеют более слабый иммунитет и чаще болеют простудами. А в Закарпатье и Крыму, где фон ниже, население крепче физически. В мире есть зоны, где интенсивность магнитного поля ниже 40 микротесла (Карибский бассейн, Аргентина, Бразилия, Северная Канада, Якутия). И если человек переедет в такой «минимум», то будет хуже реагировать на бури.

Влияние электромагнитного излучения различных бытовых приборов

Влияние электромагнитного излучения различных бытовых приборов приведено на рисунке 18.5.

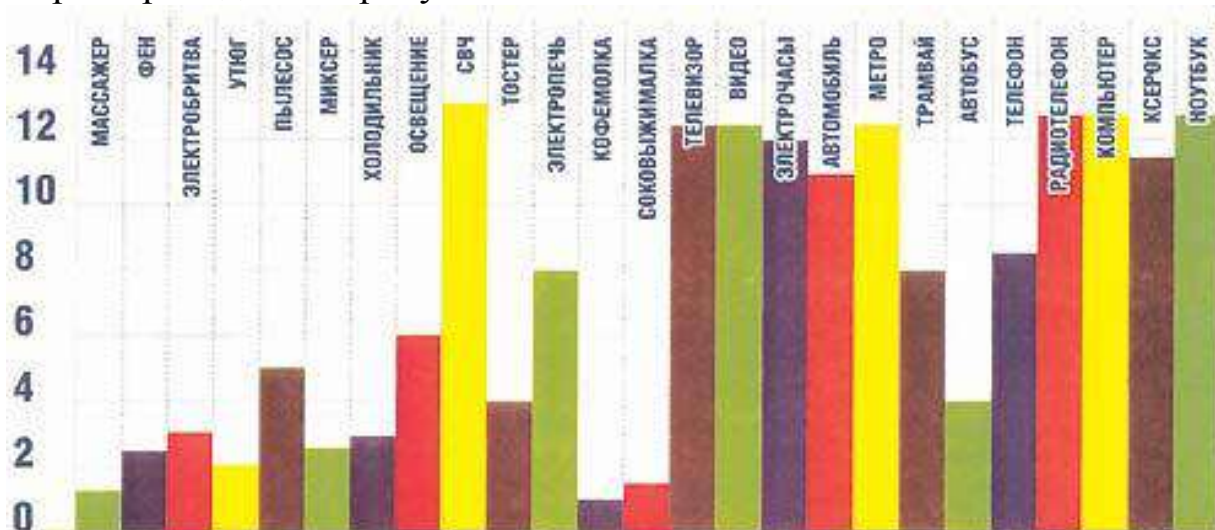


Рис. 18.5 – Влияние электромагнитного излучения различных бытовых приборов, мВт/кв.см (плотность потока мощности)

Источники негативного излучения:

- Геопатогенные зоны
- Социопатогенное излучение: влияние людей друг на друга
- Мобильная связь и сотовые телефоны
- Компьютеры и ноутбуки
- Телевизор
- Микроволновки (СВЧ-печь)
- Транспорт
- ЛЭП

- Психотронное оружие

Проблема в том, что опасность невидима и неосознаема, а проявляться начинает только в виде различных болезней.

Наиболее подвержены влиянию электромагнитных полей кровеносная система, головной мозг, глаза, иммунная и половая системы.

Незаметное влияние электромагнитного излучения ежедневно и ежеминутно оказывается на наши глаза и мозг, желудочно-кишечный тракт и мочеполовую систему, кровеносные органы и иммунную систему. Кто-то скажет: «Ну и что?»

Факты:

Знаете ли Вы, что уже через 15 минут после начала работы на компьютере у 9-10 летнего ребёнка изменения в крови и моче почти совпадают с изменениями крови человека больного раком? Аналогичные изменения проявляются у 16-летнего подростка через полчаса, у взрослого – через 2 часа работы за монитором.

Сигнал от переносного радиотелефона проникает в мозг на 37,5 мм?

Исследователи США установили:

— у большинства женщин, работавших на компьютерах в период беременности, плод развивался аномально, и вероятность выкидышей приближалась к 80%;

— рак мозга у электриков развивается в 13 раз чаще, чем у работников других профессий.

Наиболее существенное влияние на организм человека оказывают мобильные телефоны, СВЧ печи, компьютеры и телевизоры. Микроволновые печи действуют в основном непродолжительное время (в среднем от 1 до 7 минут), телевизоры наносят существенный вред только при расположении на близком расстоянии от зрителей.

Но зачастую источники электромагнитного излучения, с которыми мы взаимодействуем длительное время, являются самыми опасными. На этом фоне проблема электромагнитного излучения ПК, то есть воздействие компьютера на организм человека, встает достаточно остро ввиду нескольких причин:

- компьютер имеет сразу два источника электромагнитного излучения (монитор и системный блок);
- пользователь ПК чаще всего лишен возможности работать на безопасном расстоянии;

- длительное время влияния компьютера (для современных пользователей может составлять более 12 часов, при официальных нормах, запрещающих работать на компьютере более 6 часов в день).

Кроме этого существует несколько вторичных факторов, которые усугубляют ситуацию, к ним можно отнести работу в тесном непроветриваемом помещении и концентрацию множества ПК в одном месте.

При этом не забывайте, что излучение ноутбука или ПК воздействует не только на вас, но и на людей, находящихся рядом с вами!

Кроме сидящего за компьютером самым уязвимым является человек, сидящий/стоящий справа напротив вас (под углом). Конечно, играет роль расстояние. До 1,5 м зона считается опасной.

Но учтите тот факт, что электромагнитное излучение каждой единицы техники повышает общий электромагнитный фон помещения.

В чем состоит негативное влияние ПК?

1. Электромагнитные волны, превышающие допустимые нормы (об этом ниже);
2. Негативная информационная составляющая — Торсионные поля.

Экспериментально установлено, что электромагнитное излучение имеет торсионную (информационную) компоненту. Согласно исследованиям специалистов из Франции, России, Украины и Швейцарии именно торсионные поля, а не электромагнитные, являются основным фактором негативного влияния на здоровье человека. Так как именно торсионное поле передает человеку всю ту негативную информацию, от которой начинаются головные боли, раздражения, бессонница и т.д.

«Как выяснилось, правое по вращению торсионное поле — улучшает жизнедеятельность, а вот левое — ухудшает. Телевизоры и ЭВМ, как мы считаем,— источники сильнейшего левого поля, от него просто необходимо беречься».

3. Психотронное воздействие (в частности это касается пользования интернетом).

К чему приводит вредное воздействие компьютера?

Повышенный электромагнитный фон в значительной степени обеспечивает воздействие компьютера на здоровье людей.

В результате продолжительной работы за компьютером в течение нескольких дней человек чувствует себя уставшим, становится крайне раздражительным, часто отвечает на вопросы однозначными ответами, ему хочется прилечь. Такое явление в современном обществе получило название синдром хронической усталости и согласно сведениям официальной медицины не поддается лечению.

Последствия регулярной работы с компьютером без применения защитных средств:

- 60% пользователей — заболевания органов зрения;
- 60% пользователей — болезни сердечно-сосудистой системы;
- 40% пользователей — заболевания желудочно-кишечного тракта;
- 10% пользователей — кожные заболевания;
- различные опухоли.
- До работы с ноутбуком — площадь 17599, симметрия 98%;
- После работы с ноутбуком — площадь 14604, симметрия 92%.

Таблица 18.1

Воздействие компьютера на организм человека

СИМПТОМЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ КОМПЬЮТЕРА	ПРОЦЕНТ ОПЕРАТОРОВ, СООБЩИВШИХ О СИМПТОМАХ			
	Неполная смена Работа за дисплеями до 1 года	Полная смена Работа за дисплеями до 1 года	Работа за дисплеями более 1 года	Работа за дисплеями более 2-х лет
Головная боль и боль в глазах	8%	35%	51%	76%
Утомление, головокружение	5%	32%	41%	69%
Нарушение ночного сна	—	8%	15%	50%
Сонливость в течение дня	11%	22%	48%	76%
Изменение на-	8%	24%	27%	50%

строения				
Повышенная раздражительность	3%	11%	22%	51%
Депрессия	3%	16%	22%	50%
Снижение интеллектуальных способностей, ухудшение памяти	—	3%	12%	40%
Натяжение кожи лба и головы	3%	5%	13%	19%
Выпадение волос	—	—	3%	5%
Боль в мышцах	11%	14%	21%	32%
Боль в области сердца, неровное сердцебиение, отдышка	—	5%	7%	32%
Снижение половой активности	12%	18%	34%	64%

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ:

Особенно опасно электромагнитное излучение компьютера для детей и беременных женщин.

Установлено, что у беременных женщин, работающих на компьютерах с дисплеями на электронно-лучевых трубках, с 90-процентной вероятностью в 1,5 раза чаще случаются выкидыши и в 2,5 раза чаще появляются на свет дети с врожденными пороками.

Слабые электромагнитные поля (ЭМП) мощностью в сотые и даже тысячные доли Ватт высокой частоты для человека опасны тем, что интенсивность таких полей совпадает с интенсивностью излучений организма человека при обычном функционировании

всех систем и органов в его теле. В результате этого взаимодействия собственное поле человека искажается, провоцируя развитие различных заболеваний, преимущественно в наиболее ослабленных звеньях организма.

Наиболее негативное свойство электромагнитных сигналов в том, что они имеют свойство накапливаться со временем в организме. У людей, по роду деятельности много пользующихся различной оргтехникой – компьютерами, телефонами (в т.ч. мобильными) – обнаружено понижение иммунитета, частые стрессы, понижение сексуальной активности, повышенная утомляемость. И это еще не все негативное влияние электромагнитного излучения!

Влияние электромагнитного излучения на нервную систему:

Уровень электромагнитного излучения, даже не вызывающий теплового воздействия, способен повлиять на важнейшие функциональные системы организма. К наиболее уязвимой из них большинство специалистов относят нервную систему. Механизм воздействия очень прост — установлено, что электромагнитные поля нарушают проницаемость клеточных мембран для ионов кальция. В результате нервная система начинает неправильно функционировать. Кроме того, переменное электромагнитное поле индуцирует слабые токи в электролитах, которыми являются жидкие составляющие тканей. Спектр вызываемых этими процессами отклонений весьма широк — в ходе экспериментов фиксировались изменения ЭЭГ головного мозга, замедление реакции, ухудшение памяти, депрессивные проявления и т.д.

Влияние ЭМИ на иммунную систему:

Иммунная система также подвержена влиянию ЭМИ. Экспериментальные исследования в этом направлении показали, что то у животных, облученных ЭМП, изменяется характер инфекционного процесса — течение инфекционного процесса отягощается. Есть основания считать, что при воздействии ЭМИ нарушаются процессы иммуногенеза, чаще в сторону их угнетения. Этот процесс связывают с возникновением аутоиммунитета. В соответствии с этой концепцией, основу всех аутоиммунных состояний составляет в первую очередь иммунодефицит по тимус-зависимой клеточной популяции лимфоцитов. Влияние ЭМП высоких интенсивностей на иммунную систему организма проявляется в угнетающем эффекте на Т-систему клеточного иммунитета.

Влияние ЭМИ на эндокринную систему:

Эндокринная система тоже является мишенью для ЭМИ. Исследования показали, что при действии ЭМП, как правило, происходила стимуляция гипофизарно-адреналиновой системы, что сопровождалось увеличением содержания адреналина в крови, активацией процессов свертывания крови. Было признано, что одной из систем, рано и закономерно вовлекающей в ответную реакцию организма на воздействие различных факторов внешней среды, является система гипоталамус-гипофиз-кора надпочечников.

Влияние электромагнитного излучения на сердечно-сосудистую систему:

Можно также отметить нарушения со стороны сердечно-сосудистой системы. Они проявляются в форме лабильности пульса и артериального давления. Отмечаются фазовые изменения состава периферической крови.

Влияние электромагнитного излучения на половую систему:

1. Наблюдается угнетение спермакинеза, увеличение рождаемости девочек, повышение числа врожденных пороков и уродств. Яичники более чувствительны к влиянию электромагнитного излучения.

2. Женская половая сфера более восприимчива к воздействию электромагнитных полей, создаваемых компьютерами и другой офисной и бытовой техникой, чем мужская.

3. Сосуды головы, щитовидная железа, печень, половая сфера — это критические зоны воздействия. Это только основные и самые очевидные последствия воздействия ЭМИ. Картина реального воздействия на каждого конкретного человека очень индивидуальна. Но в той или иной степени эти системы поражаются у всех пользователей бытовой техникой в различные сроки.

Влияние электромагнитного излучения на беременных и детей:

Детский организм по сравнению со взрослым имеет некоторые особенности, например, отличается большим соотношением длины головы и тела, большей проводимостью мозгового вещества.

Из-за меньших размеров и объема головы ребенка удельная поглощенная мощность больше, по сравнению со взрослой и излучение проникает глубже в те отделы мозга, которые у взрослых, как правило, не облучаются. С ростом головы и утолщением костей черепа уменьшается содержание воды и ионов, а значит и проводимость.

Доказано, что растущие и развивающиеся ткани наиболее подвержены неблагоприятному влиянию электромагнитного поля, а активный рост человека происходит с момента зачатия примерно до 16 лет.

В эту группу риска попадают также и беременные женщины, поскольку ЭМП биологически активно в отношении эмбрионов. При разговоре беременной женщины по сотовому телефону практически все ее тело подвергается воздействию ЭМП, включая развивающийся плод.

Чувствительность эмбриона к повреждающим факторам значительно выше, чем чувствительность материнского организма. Установлено, что внутриутробное повреждение плода ЭМП может произойти на любом этапе его развития: во время оплодотворения, дробления, имплантации, органогенеза. Однако периодами максимальной к ЭМП чувствительности являются ранние стадии развития зародыша — имплантация и ранний органогенез.

Воздействие ЭМИ приведено в табл.18.2.

Таблица 18.2

Воздействие ЭМИ на разные системы

Система организма	Воздействие
Нервная	Синдром «ослабленного познания» (проблемы с памятью, сложности при восприятии информации, бессонница, депрессия, головные боли)
	Синдром «частичной атаксии» (нарушения работы вестибулярного аппарата: проблемы с равновесием, дезориентация в пространстве, головокружение)
	Синдром «арто-мио-нейропатии» (мышечные боли и мышечная усталость, дискомфорт при подъеме тяжестей)
Сердечно-сосудистая	Нейроциркуляторная дистония, лабильность пульса, лабильность давления
	Склонность к гипотонии, боли в области сердца, лабильность показателей состава крови
Иммунная	ЭМП могут выступать как индуктор аутоиммунизации организма
	ЭМП способствуют угнетению Т-лимфоцитов

Система организма	Воздействие
	Показана зависимость иммунных реакций от вида модуляции ЭМП
Эндокринная	Увеличение адреналина в крови
	Активация процесса свертывания крови
	Декомпенсирующее действие ЭМП на организм через реакции эндокринной системы
Энергетическая	Патогенное изменение энергетики организма
	Дефекты и разбалансировка в энергетике организма
Половая (эмбриогенез)	Снижение функции сперматогенеза
	Замедление эмбрионального развития, уменьшение лактации. Врожденные уродства плода, осложнения беременности и родов

Мы не предлагаем вам отказаться от пользования электроприборами, транспортом и сотовой связью. Сегодня это бессмысленно и никуда не приведет.

Но сегодня существует эффективная защита от электромагнитного излучения, которая помогает тысячам людей оставаться здоровыми. Особенно это касается детей и беременных женщин, на которых ЭМИ производит самое негативное влияние.

Обязательно посмотрите подробную информацию о защите. Это сохранит здоровье и долголетие вас и вашей семьи.

Как оставаться здоровым, работая за компьютером?

За компьютером мы всегда проводим довольно много времени, но редко задумываемся о том, как сидя за компьютером, свести вред здоровью к минимуму.

В наше время все большую популярность набирает удаленная работа, связанная, к примеру, с разработкой сайтов, написанием программ и т.д. Да и офисную работу без компьютера представить сложно. Не говоря уже о том, что часто приходится совмещать работу и учебу, и в результате, работа за компьютером занимает большую часть суток. Поэтому нужно подумать, как правильно организовать свой труд.

Компьютер, безусловно, вреден – с этим сегодня уже никто не спорит. И научно-технический прогресс вместе с разработкой новых операционных систем и улучшением компьютерных уст-

ройств постоянно движется по направлению к медицинской безопасности разумных машин – а значит, признает их нынешнюю опасность.

Осанка

Обратите внимание, как вы обычно сидите за рабочим столом. Следите за тем, чтобы в процессе работы ваше тело занимало комфортное и правильное положение. Обзаведитесь хорошим эргономичным креслом, в идеале – приобретите корсет для поясницы и всегда помните об осанке.

Больше двигайтесь

Очень важно, во время перерывов в работе, двигаться. Особенно полезно делать прогулки на свежем воздухе, и чем больше, тем лучше. Много упражнений легко выполнять даже сидя на стуле. Будьте всегда в тонусе, и производительность от этого будет намного выше.

Рабочее место

Место, где мы проводим большую часть своего времени, должно нравиться нам. Здесь должно быть максимально комфортно. Нужно внимательно относиться к освещению. Лучше чтобы оно было искусственным, поскольку солнечный свет непостоянен и дает блики, поэтому компьютер стоит переместить подальше от окна. Выбор освещения – вопрос сугубо индивидуальный, но вы должны знать, что лишний свет будет полезнее, чем его нехватка. Также избегайте работы за монитором в комнате, где полностью отсутствует свет. Это очень плохо для глаз и зрения. Если есть необходимость работать по ночам – всегда держите включенным свет.

Правильно рассчитывайте время

Жизненно важно учитывать то, сколько времени мы уделяем работе за компьютером. Только так можно следить за здоровьем да и за производительностью своего труда. Для этого уже есть много специальных программ.

На первый взгляд эти советы могут показаться банальными, но поверьте, следуя им, ваше самочувствие во время и после работы за компьютером в разы улучшится.

Для профилактики заболеваний глаз специалисты-офтальмологи советуют следовать рекомендациям:

- при покупке выбирайте качественный монитор, поскольку именно от его характеристик будет зависеть четкость изображения;
- расстояние от глаз пользователя до монитора не должно быть меньше 60 сантиметров;
- рекомендуется перестраивать яркость экрана под разные виды работ. Интенсивность освещения в комнате, где стоит компьютер, должна соответствовать яркости монитора;
- в конце каждого часа работы очень важно делать перерыв на 10 минут. В это время следует сделать гимнастику для глаз или просто посмотреть вдаль;
- во время работы за компьютером надо стараться чаще моргать. Глазам просто необходимо постоянное увлажнение. Изредка можно использовать специальные капли для увлажнения роговицы.

Освещение

Работа с ПК зачастую происходит в помещениях с искусственным освещением, которое должно обеспечивать правильную работу глаз и приближать к оптимальным условиям зрительное восприятие, какое бывает при естественном солнечном освещении.

Недостаточность освещения приводит к напряжению зрения, ослабляет внимание, приводит к наступлению преждевременной утомленности. Чрезмерно яркое освещение вызывает ослепление, раздражение и резь в глазах. Неправильное направление света на рабочем месте может создавать резкие тени, блики, дезориентировать работающего. Самые общие правила организации освещения заключаются в следующем:

1) Следует избегать большого контраста между яркостью экрана и окружающего пространства. Оптимальным считается их выравнивание.

2) Запрещается работа с компьютером в темном или полутемном помещении.

3) Освещение в помещениях с ПК должно быть смешанным: естественным (за счет солнечного света), — и искусственным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ус А. Г., Евминов Л.И. Электроснабжение промышленных предприятий и гражданских зданий. – Мн.: "Пион", 2002.. – 455 с.
2. Б.И. Кудрин. Электроснабжение промышленных предприятий: учебник для вузов/ Б.И.Кудрин.-Москва:Интермет Инжиниринг,2007. – 670с.
3. Б.И. Кудрин. Электроснабжение промышленных предприятий/ Б.И.Кудрин.-Москва:Энергоиздат,1995. – 414с.
- 4.Радкевич В.Н. Проектирование систем электроснабжения: учебное пособие для средних специальных учебных заведений/В.Н. Радкевич.–Минск:Пион,2001.–292с.
5. Правила устройства электроустановок. – М: Главгосэнергонадзор. Россия, 1998. – 549 с.
6. Ермилов А.А. Основы электроснабжения промышленных предприятий. – М.: Энергоатомиздат, 1983.
7. Федоров А.А., Старкова Л.Е. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий: Учебное пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 368 с.
8. Елкин В.Д. Электрические аппараты: Учебное пособие. – Мн.: Дизайн ПРО, 2003.
9. ГОСТ 28249-93 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ. – Мн.: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1993.
10. Справочник по энергоснабжению и электрооборудованию промышленных предприятий и общественных зданий/Т.В.Анчарова [и др.]; под общей ред. С.И. Гамазина, Б.И.Кудрина, С.А. Цырука.–Москва:МЭИ,2010.-745с.
- 11.Электроснабжение промышленных предприятий: практикум/А.Г.Ус [и др.].-Гомель:ГГТУ им. П.О.Сухого, 2015.-410с
12. М/ук. № 3499. Ус А.Г., Бахмутская В.В. Электроснабжение промышленных предприятий. Планы цехов. Практикум к курсовому проекту для студентов специальностей 1-43 01 03 "Электроснабжение" и 1-43 01 07 "Техническая эксплуатация энергооборудования организаций". – Гомель, ГГТУ им. П.О. Сухого. 2007.
13. М/ук. № 3869. Колесник Ю.Н., Рудченко Ю.А. Электроснабжение промышленных предприятий. Лабораторный практикум для студентов специальностей 1-43 01 03 "Электроснабжение", 1-43 01

07 "Техническая эксплуатация энергооборудования организаций" дневной формы обучения. – Гомель, ГГТУ им. П.О. Сухого. 2009.

14. М/ук. № 3985. Ус А.Г., Бахмутская В.В. Электроснабжение промышленных предприятий. Методические указания к выполнению курсового проекта для студентов дневного и заочного отделения специальности 1-43 01 03 "Электроснабжение" и дневного отделения специальности 1-43 01 07 "Техническая эксплуатация энергооборудования организаций". – Гомель, ГГТУ им. П.О. Сухого. 2010.

15. Рудченко Ю.А., Бахмутская В.В. Электроснабжение промышленных предприятий. Пособие к курсовому проектированию по разделу «Расчет токов КЗ в сетях до 1 кВ» для студентов специальностей 1-43 01 03 «Электроснабжение», 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций». – Гомель: электронная библиотека УО ГГТУ им. П.О. Сухого. 2011.

16. Ус А.Г., Колесник Ю.Н., Бахмутская В.В., Елкин В.Д. Электроснабжение промышленных предприятий. Практикум для студентов специальности 1-43 01 03 «Электроснабжение». – Гомель: электронная библиотека УО ГГТУ им. П.О. Сухого. 2011.

17. М/уэ № 423 Электроснабжение промышленных предприятий [электронный ресурс]: лабораторный практикум по одноименному курсу для студентов специальности 1-43 01 03 «Электроснабжение», 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций» дневной и заочной формы обучения: в 2ч Ч1 /А.Г.Ус., В.В. Бахмутская.– Гомель: ГГТУ. режим доступа: elib.gsty.by

18. М/уэ № 483 Электроснабжение промышленных предприятий [электронный ресурс]: лабораторный практикум по одноименному курсу для студентов специальности 1-43 01 03 «Электроснабжение», 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций» дневной и заочной формы обучения: в 2ч Ч2 /А.Г.Ус., В.В. Бахмутская.– Гомель: ГГТУ. режим доступа: elib.gsty.by

19. М/уэ № 563 Электроснабжение промышленных предприятий [электронный ресурс]: методическое пособие к курсовому проектированию для студентов специальности 1-43 01 03 «Электроснабжение», 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций» дневной и заочной формы обучения: /А.Г.Ус., [и др.]– Электронные данные.- Гомель: ГГТУ. режим доступа: elib.gsty.by

СОДЕРЖАНИЕ

	<i>стр</i>
Введение	4
1 Схемы силовых и осветительных цеховых сетей	7
2 Защита электрических сетей	40
3 Расчет сетей до 1 кВ	82
4 Схемы электроснабжения промышленных предприятий	93
5 Схемы электрических сетей внешнего и внутривозвондского электроснабжения	97
6 Цеховые трансформаторные подстанции	107
7 Выбор внешнего напряжения для питания промпредприятий	116
8 Канализация электрической энергии, в сетях выше 1000В	123
9 Картограмма электрических нагрузок	130
10 Реактивная мощность и ее компенсация	137
11 Расчет мощности компенсирующих устройств	147
12 Анализ баланса реактивной мощности на границе раздела сети потребителя и энергосистемы. Размещение конденсаторных установок и управление ими	152
13 Нормирование расхода электрической энергии промышленных потребителей	157
14 Основные пути улучшения использования электроэнергии на промышленных предприятиях	171
15 Технические, экономические и организационные основы электромагнитной совместимости	176
16 Несовместимость и колебания напряжения в электрических сетях, как факторы влияния на электромагнитную несовместимость	200
17 Конструкторские основы и технические мероприятия обеспечения электромагнитной совместимости	214
18 Биэлектромагнитная совместимость	226
Список литературы	246

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

**Пособие
по одноименной дисциплине
для студентов специальности
1-43 01 07 «Техническая эксплуатация
энергооборудования организаций»
дневной и заочной форм обучения**

Составитель Бахмутская Валентина Владимировна

Подписано к размещению в электронную библиотеку
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного
учебно-методического документа 27.02.19.

Рег. № 32Е.
<http://www.gstu.by>