### Федеральное агентство по образованию

Государственное образовательное учреждение

среднего профессионального образования

Каменск – Уральский политехнический колледж

Специальность: 140613

Техническая эксплуатация и

обслуживание электрического и

электромеханического оборудования.

группа Э04 – 32

***Курсовой проект по***

***электроснабжению.***

***Тема: «ЭСН и ЭО механического цеха***

***тяжелого машиностроения».***

Разработал: Стрелов Е.А

Руководитель:ДеминаТ.Л

2007

### **Содержание**

Введение. Краткие сведения систем электроснабжения предприятий.

Категории надежности электроприемников.

Напряжение электросетей, трансформаторов и источников электроснабжения.

Режимы нейтрали сетей.

Расчет электрических нагрузок.

Классификация электроприемников напряжением до 1 кВ.

Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых трансформаторных подстанций (ЦТП).

Расчет освещения.

Картограмма нагрузок.

Устройство и конструктивное исполнение внутрицеховых сетей.

Расчет силовых распределительных сетей.

Расчет питающих линий напряжением до 1кВ.

Расчет заземления.

Расчет токов однофазного короткого замыкания.

Заключение.

Библиография.

**Введение**

*Электроснабжение –* обеспечение потребителей электрической энергией.

*Энергосистема –* совокупность электростанций электрических и тепловых сетей, соединенных между собой и связанных общностью режимов в непрерывном процессе производства преобразования передачи и распределения электрической тепловой энергии при общем управлении этим режимом.

*Электрическая часть энергосистемы* *–* совокупность электроустановок электрических станций и электрических сетей энергосистемы.

# Электроэнергетическая система – электрическая часть энергосистемы и питающиеся от нее приемники электрической энергии, объединенные общностью процесса производства передачи распределения и потребления электрической энергии.

*Система электроснабжения –* совокупность электроустановок, предназначенных для обеспечения потребителей электрической энергии (внешнее электроснабжение, внутризаводское электроснабжение, внутрицеховое электроснабжение).

# Централизованное электроснабжение – это электроснабжение потребителей электрической энергии.

*Электрическая сеть –* совокупность электроустановок, предназначенных для передачи и распределения электрической энергии, состоящих из подстанций, распределительных устройств, токопроводов, воздушных и кабельных линий электропередачи, работающих на определенной территории.

*Приемники электрической энергии –* это аппараты, агрегаты и др., предназначенные для преобразования электрической энергии в другой вид энергии.

*Потребители электрической энергии –* это электроприемник или группа электроприемников, объединенных технологическим процессом и размещающихся на определенной территории.

*Режимы работы электроэнергии.*

1. ***Нормальный режим –*** режим, при котором обеспечиваются заданные значения параметров его работы.
2. ***Подстанцией –*** называетсяэлектроустановка, служащая для преобразования и распределения электроэнергии и состоящая из трансформаторов или других преобразователей энергии, распределительных устройств, устройств управления и вспомогательных сооружений.
3. ***Пристроенной подстанцией –*** (пристроенным РУ) называется подстанция (РУ), непосредственно примыкающая к основному зданию.
4. ***Встроенной подстанцией –*** называется закрытая подстанция, вписанная в контур основного здания.
5. ***Коридором обслуживания –*** коридор вдоль камер или шкафов КРУ, предназначенный для обслуживания аппаратов и шин.
6. ***Взрывным коридором –*** называется коридор, в который выходят двери взрывных камер.

*Узловая распределительная подстанция (УРП) -* называется центральная подстанция одного предприятия или нескольких, получающая энергию от энергосистемы, напряжением 110 – 330 кВ, и распределяющая ее по подстанциям ПГВ35 – 220кВ.

# Главная понизительная подстанция (ГПП) – подстанция, получающая питание 35 – 220 кВ от районной энергосистемы и распределяющая электрическую энергию на более низком напряжении 6 –35 кВ по всему объекту, отдельному району, т.е по трансформаторным подстанциям предприятия и высоковольтным электроприемникам 6, 10, 35,кВ.

ГПП отличается от УРП меньшей мощностью.

*Глубоким вводом –* называется система питания электроэнергии, при которой электрическая линия подводится ближе к электроустановкам потребителей для уменьшения числа степеней трансформации, снижение потерь мощности и электроэнергии.

# Подстанция глубокого ввода (ПГВ) – эта подстанция выполнена по упрощенным схемам коммутации на первичном напряжении, получающая питание 35 – 220 кВ от энергосистемы или УРП, предназначенная для питания объекта или района предприятия со смежением напряжения внутризаводских сетей 6/10 кВ.

На крупных предприятиях ГПП и ПГВ может быть несколько.

Большинство предприятий получают питание по двум воздушным линиям через двух трансформаторную подстанцию ГПП или ПГВ, располагаемую вблизи электроприемных цехов.

*Центральный распределительный пункт (ЦРП)* – пункт, получающий питание отрайонной энергосистемы ГПП и ПГВ при напряжении 6/10 кВ и распределяющий ее на том же уровне напряжения по всему объекту или его части.

Если предприятие имеет собственную ТЭЦ с генератором напряжения 10(6)кВ, то в качестве главного приемного пункта также используют ЦРП.

Для общепромышленных потребителей (компрессорные, насосные) и для цехов, где имеется высокая концентрация высоковольтного оборудования строятся распределительные подстанции 6 (10)кВ.

Если для заводских сетей выбрано напряжение 10 кВ, а на предприятиях имеются приемники на 6 кВ, строят промежуточные подстанции 10/6кВ. Внутризаводские сети выполняют кабельными линиями.

При наличие промежуточных распределительных или трансформаторных подстанций система электроснабжения называется *ступенчатой.*

На ТП (КТП) напряжение снижается до уровня сетей общего пользования 0,69 и 0,4 кВ (0,66 и 0,38 кВ для ЭП).

Со щита или распределительного устройства цеховой трансформаторной подстанции электроэнергия распределяется между отдельными потребителями внутри цехов. Внутрицеховые сети выполняются изолированными проводами или кабелями. Для распределения электроэнергии дополнительно устанавливают силовые распределительные шкафы или распределительные шинопроводы. Внутри цехов возможно распределение электрической энергии по схеме «Блок – трансформатор - магистраль» (БТМ). В этом случае ТП (КТП) отсутствует распределительное устройство 0,4 кВ и электрическая энергия потребителя распределяется через магистраль и шинопровод.

При проектировании систем электроснабжения предприятий, стремятся избегать лишних ступеней трансформации и возвратных перетоков электрической энергии.

**Категории надежности электроприемников**

Категории электроприемников по надежности электроснабжения определяются в процессе проектирования системы электроснабжения на основании нормативной документации, а также технологической части проекта. В отношении обеспечения надежности электроснабжения электроприемники разделяются на 3 следующие категории:

1 категория: электроприемники, перерыв электроснабжения, которое может повлечь за собой опасность для жизни людей, угрозу для безопасности государства, значительный материальный ущерб, расстройство сложного технологического процесса, нарушение функционирования особо важных элементов коммунального хозяйства, объектов связи и телевидения.

Из состава электроприемников 1 категории выделяется особая группа электроприемников, бесперебойная работа которых необходима для безаварийного остального производства с целью предотвращения угрозы жизни людей, взрывов, пожаров.

2 категория: электроприемники перерыв электроснабжения которых приводит к массовому недоотпуску продукции, массовым простоям рабочих, механизмов и промышленного транспорта.

Нарушению нормальной деятельности значительного количества городских и сельских жителей.

3 категория: все остальные электроприемники не попадающие под определение 1 и 2 категории.

Электроприемники 1 категории в нормальных режимах должны обеспечиваться электроэнергией от 2 независимых взаиморезервирующих источников питания и перерыв их электроснабжения от 1 источника питания может быть допущен на время автоматического восстановления питания.

Для электроснабжения особой группы электроприемников 1 категории должно предусматриваться дополнительное питание от 3-го взаиморезервирующего источника питания.

***Независимый источник питания -*** источник питания на котором сохраняется напряжение в послеаварийный период в регламентированных пределах при исчезновении его на другом им других источниках питания. К числу независимых источников питания относятся 2 секции или системы шин 1 и 2 станций и подстанций при одновременном соблюдении следующих условий:

1. каждая секция или система шин в свою очередь имеет питание от независимого источника питания.
2. секции (системы шин), не связанные между собой или имеют связь, автоматически отключается при нарушении нормальной работы 1 из секций (системы шин).

В качестве 3 независимого источника питания для особой группы электроприборов могут использоваться аппараты бесперебойного питания аккумуляторной батареи и т.д.

Электроприемники 2 категории в нормальных режимах должны обеспечиваться электроэнергией от 2 независимых взаиморезервирующих источников питания для электроприемников 2 категории при нарушении электроснабжения от 1-го источника питания допустимы перерывы электроснабжения на время, необходимое для включения резервного питания действиями дежурного персонала или выездной оперативной бригады.

Для электроприемников 3 категории электроснабжение может выполняться от 1 источника питания при условии, что перерывы электроснабжения необходимы для ремонта или замены повторного элемента системы электроснабжения, не превышает 1 суток.

Напряжение электросетей, трансформаторов и источников

электроснабжения

У пониженных трансформаторов первичная обмотка является приемником электроэнергии и ее номинальное напряжение равно напряжению сети.

Номинальное напряжение вторичных обмоток трансформаторов питающих электросети на 5 – 10 % выше номинального напряжения сети, что дает возможность компенсировать потери напряжения в линиях.

Выбор того или иного стандартного напряжения определяет построение всей системы электроснабжения промышленного предприятия.

Для внутрицеховых электросетей самое распространенное 380/220 В.

Основным преимуществом которого является возможность совместного питания силовых осветительных сетей.

Наибольшая единичная мощность 3-ф электроприемников, получающих питание от системы 380/220 В не должна превышать 200-250 кВт, допускающем применение коммутирующей аппаратуры на токи 630 А.

С внедрением напряжения на предприятиях 10 кВ вместо напряжения 6 и 3 кВ нагрузки потребителей и их число, единичная мощность значительно увеличилась, поэтому ввели напряжение 660 В.

Напряжение 660 В целесообразно на технических предприятиях, на которых по ряду причин условий планировки, (технологий, о/ср) трудно приблизить трансформированную подстанцию к электроприемнику, а также напряжение 660 В целесообразно на предприятиях с высокой удельной плотностью электро нагрузок на квадратный метр площади (концентрация мощностей и с большим числом электродвигателей 220-600 кВт).

При напряжении 660 В увеличилось сопротивление действия цеховых подстанций в 2 раза по сравнению с внутрицеховыми сетями на 380 В, появляется возможность повысить единичную мощность трансформатора и тем самым сократить число цеховых трансформаторных подстанций (далее ЦТП), линий и коммутационных аппаратов выше 1 кВ.

Одновременно снижается приблизительно в 2 раза расход цветных металлов. Стоимость электродвигателей трансформатора одной и той же мощности на напряжение 380-220 В и 660-380 В одинаковое. В то же время пропускная способность сетей 660/380 на корень 3 раз выше.

***Недостатки напряжения 660 В.***

1. Необходимость раздельного питания силовых и осветительных установок.
2. Повышенная степень опасности электроустановок напряжением 660 В.
3. Нецелесообразность напряжения 660 В на территории, где много мелких распределительных приемников.

Напряжение не выше 50 В (42; 36; 24) применяется в помещениях с повышенной опасностью и в особо опасных для стационарного местного освещения и ручных переносных ламп.

Напряжение 12 В применяется только при особо неблагоприятных условиях в помещении в отношении опасности поражения электрическим током. *Например:* при работе в металлических котлах и для питания ручных переносных светильников.

Режимы нейтрали сетей.

***Нейтраль сети-*** это соединения точек нулевого потенциала оборудования.

Она может быть:

* Глухозаземленной;
* Изолированной от земли;
* Резонансно-заземленная (соединения с землей через активное или реактивное сопротивление).

***Режимы нейтрали внутрицеховых сетей.***

Глухозаземленная нейтраль.

Внутрицеховые сети в основном выполняются 3-х фазными, 4 проводимые (3 фазных провода + 4-нулевой).

Такая конструкция позволяет по 1 сети запитывать силовое оборудование (3-фазные электродвигатели) и электроосвещение (1-фазные электроприемники). При 1 фазном замыкании на землю (на корпус металла) электрооборудование возникает ток однофазного короткого замыкания, которое быстродействующая защита (автоматический выключатель или предохранитель), установленная в фазу сети отключает электроприемники. В сети глухозаземленной нейтрали для надежного срабатывания защиты, в проводящей части электрооборудования (корпуса), соединяют нулевым проводом с нейтралью трансформатора.

**Зануление –** необходимая и достаточная мера электробезопасности в сетях, напряжением до 1 кВ с глухозаземленной нейтрального источника питания. С помощью нулевого провода образуется короткое замыкание, цепь называется петля «фаза- нуль».

За счет этого тока многократно увеличивается достаточным для срабатывания защиты на время действия защиты до полного отключения поврежденного участка.

Зануление обеспечивает снижение напряжения прикосновения до безопасных значений.

*Выбор способа заземления нейтрали определяется.*

1. Безопасность обслуживания сети.
2. Надежность электроснабжения электроприемника.
3. Экономичность.

На неповрежденных фазах относительно земли напряжение не повышается и изоляция может быть рассчитана на фазное напряжение, а не на междуфазное напряжение (линейное). Однако при частых однофазных коротких замыканиях возникают тяжелые условия для защитных аппаратов при отключении, что может привести к повреждению обмотки трансформатора.

3-фазные 4-проводные сети обладают меньшей надежностью в сравнении с 3-проводными, так как при однофазных коротких замыканиях на землю требуют немедленного отключения и как следствие наступает перерыв электроснабжения.

Экономичность сетей оценивается стоимостью проводников и затрат на дополнительное оборудование. В данном случае 4 провод ведет к удорожанию сети, но экономичность достигается за счет использования 1 сети для силового и осветительного оборудования.

Опасность поражения персонала электричеством током в сетях с глухозаземленной нейтралью источника питания больше, чем в сетях с изолированной нейтралью, так как имеется электрическая связь токоведущих частей с землей.

В условиях повышения требований электробезопасности можно использовать 3-фазные 3-х проводные сети для внутреннего электроснабжения. Такие сети работают с изолированной нейтралью источника питания на напряжение 380 В.

**Расчет электрических нагрузок**

Для расчета электрических нагрузок в узлах электроснабжения используют показатели графиков нагрузок, существующих на предприятиях.

*Pp max-* расчетная максимальная нагрузка*.*

*Pсм-* средняя нагрузка за более нагруженную нагрузку (среднемесячная).

*P уст –* установленная мощность определяется как сумма мощностей всех электроприемников, присоединенных к данному узлу.

Все расчетные нагрузки определяются установленной мощности узла (участка, цеха, предприятия).

*Kи =Pcм /Pуст*

*–* коэффициент испытания всегда меньше 1, так как электроприемники включаются одновременно, время их включения меньше продолжительности рабочей смены.

*Km = Рр max / P см*

*–* коэффициенты максимума устанавливают увеличение расчетной нагрузки по отношению к средней сменной.

*Kс = Рр max / P уст*

*–* коэффициент спроса, так как одновременно в работе находится часть электроприемников расчетной меньше, чем установленной мощности оборудования.

В настоящее время вместо Кm в электроустановках до 1000 В ввели коэффициент K p – коэффициент активной мощности ([3]- Конюхова).

Показатель графиков нагрузок (K*и*, Km, Kc) для существующих предприятий приводится в справочных таблицах для однотипного оборудования или отдельных производств в литературе ([2]- Коновалова, [4]- Ливкин, [9]- Барыгин).

Выбор метода расчета зависит от расположения узла в схеме электроснабжения и от исходных данных на низких уровнях электроснабжения.

Когда имеются сведения о поддельных электроприемниках (мощность, режим работы) используются более точные методы расчета.

*Pc смен = Kи х Pуст*

*Рр max = Km х P см*

На высших и низших уровнях электроснабжения используют те же методы расчетов. При достаточных сведениях используют метод коэффициента спроса (Kс).

На стадии получения технических условий, на электроснабжение предприятий, для определения расчетных ожидаемых нагрузок (требуемой мощности) можно применить методы, основанные на удельных показателях (расходы электроэнергии на единицу производной площади, расходы электроэнергии на 1 работающего).

**Классификация электроприемников напряжением до 1 кВ**

1. По роду тока.
2. По числу фаз.
3. По режиму работы (кратковременный, продолжительный, повторно-кратковременный).
4. По технологическому назначению электроприемники делятся:

* Механическое оборудование (электродвигатели станков и других технологических механизмов).
* Грузоподъемное оборудование (электро краны, кран балки (тельферы), электротали).
* Внутрицеховой транспорт (ленточные, подвесные, цепные, скрепковые и другие транспортные конвейеры).
* Электро - технологические установки (сварочное оборудование, гальванические, электролизные и другие установки). В группе технологических установок отдельно выделяют электронагревательные установки и электропечи.
* Общепромышленные установки (насосы, компрессоры, вентиляторы).

В продолжительном режиме работают: общепромышленные установки, электропечи и механическое оборудование.

Повторно-кратковременный режим является характерным для грузоподъемных механизмов, внутрицехового оборудования и сварочного оборудования.

Электроприемников напряжением до 1 кВ делят на силовые и осветительные. К осветительным относятся также и слаботочные потребители: системы связи и сигнализации, средство обнаружения пожара, в системах автоматической пожарной сигнализации, комплекса охранных систем. Остальное оборудование относится к силовому.

***Рассмотрим на примере РП.***

Порядок расчета.

1. Все электроприемники, подключенные к РП разбиваем на группы по технологическому признаку.

Расчеты нагрузок выполняются в виде таблицы, в которой группы электроприемников записываются с учетом технологического назначения и коэффициента использования (группы однотипного оборудования).

2. Далее в таблицу вносится действительное число электроприемников в группе (п), установленная (номинальная) мощность.

Для электроприемников повторно-кратковременного режима указывается мощность, приведенная к продолжительному режиму.

*P ном. =P пасп. х ПВ* (ПВ в единицах)

Далее определяют отношение номинальной мощности наибольшего электроприемника в группе к наименьшему.

*m = P ном max /P ном min*

При этом учитывают, что если суммарная мощность одинаковых по мощности «маленьких» электроприемников меньше 5 % от номинальной мощности всей группы, то при определении m, а далее при определении n, эти электроприемники не учитывают.

После того, как сформированы группы электроприемников справочных таблиц литературы [2],[4],[9]. Коэффициенты использования и cos , по которому расчитывается соответственно ему tg. Определив среднесменные активные, реактивные нагрузки определили среднюю активную и реактивную нагрузки за наиболее загруженную смену для группы электроприемников и для узла РП-1. Далее определяем средневзвешенный коэффициент узла.

Ки ср взв= Рсм узла / Руст узла = 77,3 / 268 = 0,29

А также средневзвешенный коэффициент мощности по соответствующему средневзвешенному tg.

Tg = Qсм узла / Рсм узла = 91,3 / 77,3 = 1,18

При определении эффективного числа электроприемников учитывают следующее:

1,Если m<=, то n=nэ без “маленьких” (<5 %).

2.Если m> и Ки ср взв> 0,2, то nэ= 2Еn1 Рном / Рном max.

Если nэ > n , то принимают n=nэ без “маленьких” (<5 %).

3. Если m< и Ки ср взв< 0,2, то nэ определяют по таблицам.

Для этого находят Р\* = Еn1Рном1 / Еn1Рном

n\* = n1 / n

Р\* - относительная мощность наиболее мощных электроприемников.

Еn1Рном1 - суммарная номинальная мощность наиболее крупных электроприемников группы n1, номинальная мощность каждого из которых равна или более половины мощности наибольшего электроприемника.

Еn1Рном - суммарная номинальная мощность всех электроприемников группы n.

n\* - относительное число наиболее мощных электроприемников.

Определив Р\* и n\* по таблицам, находят nэ\* .а затем nэ = nэ\* \* n

Рр max = Рсм \* Км

Qp max = Pp max \* tgср вз

Q max = Км \* Qсм

При Ки <= 0,2 и nэ <= 100

При Ки > 0,2 и nэ < 10 имеем Кмах = 1,1.

В остальных случаях Кмах = 1.

Остальные данные приводятся в сводной таблице расчетных нагрузок.

**Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых трансформаторных подстанций (ЦТП)**

В соответствии с требованиями по обеспечению надежности электроснабжения для потребителей 1 категории должно быть 2 источника питания, для второй категории рекомендуется 2 источника питания, но возможно питание и от 1. Потребители 3 категории могут получать питание от 1 источника питания. Цеховые подстанции для электроприемников 1 категории и в большинстве случаев и для 2 категории выполняются 2-х трансформаторными. Однотрансформаторные устанавливаются для потребителей 3 категории и при небольшой мощности 2 категории. Для сокращения номенклатуры складского резерва, мощность трансформатора выбирают из стандартного ряда номинальных мощностей, чтобы на одном предприятии было не более одной, в крайнем случае двух различных мощностей.

Стандартный ряд мощностей, выпускаемых силовых трансформаторов (0,4 кВ), в кВА 100, 160, 250, 400; 630, 1000, 1600, 2500.

Цеховые подстанции размещаются внутри цехов равномерно с максимальным приближением к потребителям, не более 200 метров. Конструктивное исполнение подстанций выбирается с условием окружающей среды, распределения нагрузок и удобства обслуживания. Цеховые подстанции по конструктивному исполнению делятся на:

Встроенные.

Пристроенные.

Отдельно стоящие.

Внутрицеховые.

Конструктивное исполнение подстанций выбирается из условий окружающей среды, с учетом распределения нагрузок и удобства обслуживания.

Резервирование потребителей осуществляется перегрузочной способностью трансформатора при наличие 2 источников и схемы внутризаводских сетей, то есть за счет особенностей присоединения ЦТП к ГПП (10 кВ).

Для использования резервирования по сетям на стороне 10 кВ ЦТП устанавливается распределительное устройство (КРУ – комплектное распределительное устройство), состоящее из выключателя, установленного на выкатной тележке трансформаторов тока, шин, измерительных приборов, изоляторов, устройств релейной защиты, расположенных в шкафу.

Шкаф состоит из 4 отсеков:

1. Отсек высоковольтного выключателя.
2. Отсек релейной защиты и измерительных приборов.
3. Шинный отсек.
4. Кабельных трансформаторов тока и заземляющих ножей.

Также распределительное устройство на ГПП со стороны 10 кВ вместо ячеек КРУ может состоять из ячеек КСО (камера стационарного одностороннего обслуживания), в которой высоковольтный выключатель устанавливается на задней стене шкафа и связан с помощью тяги с приводом, расположенным на внешней стенке шкафа. На внешней стенке шкафа или на противоположной стенке от шкафа размещают устройство релейной защиты и приборы.

Со стороны 10 кВ силового трансформатора устанавливают ЦТП (КТП) устанавливают ВНП (выключатель нагрузки с предохранителями).

Выбор мощности трансформатора осуществляется по расчетной среднемесячной нагрузке. Так как для трансформаторов общего назначения масленых и сухих по ПУЭ допустимы длительные систематические перегрузки в нормальном режиме и длительные перегрузки в послеаварийном режиме.

***Виды перегрузок.***

1. *Суточные* – разрешается перегружать трансформаторы в час пик нагрузки, так как обладает инертностью и не успевает нагреться до критической температуры (950С). За это время не происходит старение изоляции обмоток трансформатора и масла.
2. *Годовые* – разрешается согласно ПУЭ перегружать трансформатор на 1 % за каждый процент недогрузки летом (перегрузка зимой), но не более 15 %. Для суточных и годовых перегрузок составляются графики нагрузок трансформатора, соответственно суточные и годовые, которые прилагаются к паспорту трансформатора для ориентации по возможным перегрузкам.
3. *Аварийная* – при аварии трансформатор на несколько минут могут выдержать без старения изоляции перегрузки до 100 %. В следствии своей инертности.
4. *Послеаварийная* – согласно ПУЭ для масленых трансформаторов в послеаварийном режиме допускается перегрузка на 40 % в течении 6 часов 5 суток подряд.

Требуемая мощность трансформатора определяется из выражения

*Sтр-ра >S см  /N k загр, кВА,* где

*S см , кВА –*средняя нагрузка цеха за наиболее загружаемую смену,

*N –* число трансформаторов,

*k загр –* коэффициент загрузки, принимаемый **0,7**

После выбора трансформатора согласно расчетов из стандартного ряда пересчитывают коэффициент загрузки.

*k загр = S см / N х Sтр-ра*

расчетный коэффициент загрузки должен быть для двух трансформаторной подстанции 1 категории 0,65 – 0,7, для двух трансформаторной подстанции 2 категории 0,7 – 0,85, для одной подстанции 0,85 – 0,9.

Расчет освещения

В курсовом проекте необходимо выбрать питающий силовой трансформатор для заданного оборудования. С учетом, что он будет питать и освещение. Для того, чтобы рассчитать освещение.

1. Выбирают минимальную освещенность для внутреннего или наружного освещения. В зависимости от размера объекта различения (крупный, малый), контраста объекта с фоном и отражающие свойства фона (рабочей поверхности *Pп* потолка*, Pc* стен*, Pp* пол*).* Освещенность энергии измеряется в **ЛК** (люкс) нормирующая освещенность в справочниках связывают с удельной плотностью нагрузки освещения или удельная мощность общего равномерного освещения W [Вт / м2 ].
2. Выбирают тип светильника и тип лампы освещения.
3. Намечают на плане план размещения светильников.

Лампы ДРЛ и ДРИ размещают в помещении на высоте не ниже 6 метров из-за стробоскопического эффекта (мерцания) и в цехах их располагают так, чтобы они были запитаны с разных фаз (желательно по 3 штуки).

После выбора типа ламп их расположение в рассматриваемом помещении необходимо опробовать мощность отдельных ламп и все осветительные установки в целом, имея ввиду, что они однофазные электроприемники.

Существует несколько способов, расчетов освещения: самый простейший метод удельной мощности и самый распространенный. Для того , чтобы найти удельную мощность из таблиц для данного светильника и лампы необходимо знать:

* Расстояние от светильника до освещаемого объекта (например пола);
* Площадь помещения;
* Норма освещенности и коэффициента отражения.

Далее рассчитывают R осветительной установки

*P ном о = W х S, Вт.*

*S – площадь освещения, М2*

*W- удельная мощность, В/м2.*

Если выбрана мощность лампы, можно определить количество светильников*.*

*N = P ном о / P лампы , для ДРЛ*

*N = P ном  / P лампы , для ЛЛ*

Число светильников должно быть кратным числу рядов, в обратном случае их увеличивают в большую сторону.

Если выбрали число светильников, можно подобрать из стандартного ряда мощности для них.

Расчетную мощность освещения определяют с учетом потерь мощности в пускорегулирующей аппаратуре.

*P р.о = Pном о х kПРА*

*kПРА =1,1 для ДРИ и ДРЛ;*

*kПРА =1,2 для ЛЛ со стартерами;*

*kПРА =1,3-1,35 для ЛЛ бесстартерных ламп.*

Для расчета освещения здания, аварийного освещения, а так же наружного освещения определяют с помощью коэффициента спроса равного единице.

***Разновидности схем, питающих осветительные сети.***

1. Радиальные
2. Магистральные

3.Радиально-магистральные

Картограмма нагрузок

Для построения рациональной системы электроснабжения (далее СЭС) цеха или промышленного предприятия важное значение имеет правильное размещение трансформаторных подстанций. Подстанции всех мощностей, напряжений и токов должно быть максимально приближено к центрам подключенных к ним нагрузок (ЦЭН), это обеспечивает наилучшие технико-экономические показатели СЭС по расходу электроэнергии и дефицитных полупроводниковых материалов, т.е минимум приведенных затрат. При проектировании СЭС предприятий и цехов разрабатывается генеральный план объекта, на котором наносятся все производственные цеха и отдельные крупные электроприемники, расположенные на территории предприятия или все электрооборудование, находящееся в цехе. На генплане указываются расчетные мощности цехов всего предприятия, а на ген плане цеха наносится номинальная мощность электрооборудования. Для того, чтобы найти более выгодный вариант расположения понижающих подстанций и источников питания составляют картограммы нагрузок, представляющие собой размещенные на ген плане площади, ограничение кругами, которые в выбранном масштабе соответствуют расчетным нагрузкам цехов.

Центр каждого круга должны совпадать с центром нагрузок. ЦЭН предприятия или цеха является символическим центром потребления электроэнергии предприятием или цехом.

Картограмма нагрузок позволяет установить наиболее выгодное месторасположение распределителей или цеховых трансформаторных подстанций, и максимально сократить протяженность распределительных сетей.

**Устройство и конструктивное исполнение внутрицеховых сетей**

Для выполнения электропроводок внутри цехов применяются изолированные провода и кабели, а также шинопроводы. Их марка выбирается в зависимости от условий прокладки, с учетом характеристики помещения и на основе рекомендаций литературы [3],[8] стр. 141, табл. 2. 40,[10].

Марки кабеля с бумажной пропитанной изоляцией в обозначении последняя буква У показывает улучшенную изоляцию, т.е повышает вязкость пропитывающего масла, т.е канифольного состава.

У проводов всегда в буквенном обозначении присутствует буква П.

Вторая соответственно и 3 буква П. обозначает, что провод плоский. Эти провода используют для неподвижной прокладки и называются они установочными.

ПВГ – буква Г в марке провода обозначает, что провод гибкий и обязательно с медными жилами. При тросовых работах и проводах передвижными механизмам применяется специальные переносные шланговые кабели, шнуры, провода с медными многопроволочными жилами. Маркировку их нужно смотреть в каталогах, т.к. она отличается от общепринятой. Кабели внутри цехов прокладываются открыто по строительным конструкциям с жестким креплением скобами. При большом количестве кабелей прокладываемых в первом направлении предусматривают кабельные конструкции, лотки, стойки, полки, короба.

Участки сетей выполняются кабельными, если они имеют большую протяженность и не имеют ответвлений, в основном это магистральные линии от щита низкого напряжения ЦТП к силовым распределительным шкафам или шинопроводам. Распределительные линии от силовых шкафов к отдельным электроприемникам выполняется в большинстве случаев проводами в стальных трубах или в трубах ПВХ, закладываемых в полу. Такой скрытый способ прокладки позволяет не загромождать территорию цеха и выполнять проводки там, где нет соответствующих строительных условий. Провода в трубах также могут прокладываться по стенам и строительным конструкциям. Такой способ предпочтительней, т.к провода доступны для ремонта и внешнего осмотра. Сети освещения в производственных помещениях в большинстве случаев выполняются кабелями, проложенными на тросе. На тросе также возможно крепление и светильников. Для мощных осветительных установок применяют жесткие комплектные шинопроводы типа ШОС. Магистральные и распределительные участки силовых сетей также могут быть выполнены комплектными шинопроводами. Шинопроводы крепят на подвесах или стойках, у них может быть вертикальное и горизонтальное расположение шин. В шинопроводах предусматриваются специальные коробки, ящики для установки коммутационных и защитных аппаратов на ответвлениях к электроприемникам. Шинопроводы выпускаются на стандартные токи:

Распределительные (ШРА): 63, 80, 100, 160, 250 (А).

Магистральные (ШМА): 160, 250, 400, 630 (А).

Для электропроводок экономичнее использовать пластмассовые, полиэтиленовые трубы по коррозийной стойкости.

По механической прочности они не уступают металлам, но значительно дешевле. Из стальных труб в первую очередь используют тонкостенные, и только в крайних случаях водогазопроводные.

**Расчет силовых распределительных сетей**

Силовые распределительные линии прокладывают от силовых шкафов или шинопроводов к отдельным электроприемникам. В результате расчетов выбирается сечение токоведущих жил проводов или кабелей и выбираются уставки защитных аппаратов в соответствии с ГОСТом 21.613-88 «Силовое оборудование. Рабочие чертежи.». В системах проектной документации для строительства и расчета сетей оформляются в виде схем и таблиц. На них должны быть указаны способы прокладки электрических цепей, марка и сечение жил для проводов и кабелей, длина участка сети.

**Порядок расчета:**

1.Выбирают марку провода или кабеля с учетом условий прокладки.

2.Выбирают сечение токоведущей жилы с двух условий:

* Условие длительно допустимого нагрева максимальным расчетным током.
* Соответствие длительно допустимых токов для выбранного сечения и установки защитных аппаратов.

Также сечение проводов и кабелей должно удовлетворять условию механической прочности, но эти условия не являются расчетными, так как в ПУЭ указываются минимальные сечения, обеспечивающие механическую прочность для силового оборудования, для алюминиевых жил Smin=2.5мм2, для медных жил Smin=1,5 мм2, для кранового оборудования для алюминиевых жил равен 4 мм2, для медных жил равен 2.5мм2.

Условие выбора сечения по длительно допустимому нагреву имеет вид: Ip<=Iдл.доп., где

Ip- расчетный ток, А

Iдл.доп. - длительно допустимый ток для стандартных сечений проводов и кабелей, то есть если в условиях эксплуатации ток в линии не превышает длительно допустимого тока провода или кабеля, то гарантируется нормальный срок службы изоляции и ее сохранность от преждевременного теплового износа.

Систематическое повышение тока в линии над допустимым значением (перегрузка) приводит к нарушению электрической прочности изоляции за счет старения. Длительно допустимые токи приводятся в ПУЭ в таблицах главы 1.3. с учетом материалов токоведущих жил и изоляции. Длительно допустимые токи устанавливаются по длительно допустимой температуре нагрева токоведущих жил с учетом температуры окружающего воздуха (земли). Например, для проводов и кабелей с пластмассовой изоляцией они приняты для температур жил +650С, воздуха +250С, для земли +150С.

Если провода и кабели работают в условиях повышенных температур окружающей среды или других условиях, ухудшающих тепловой режим изоляции ( плохая теплоотдача), то на длительно допустимые токи вводят понижающие коэффициенты. В условиях пониженных температур поправочные коэффициенты больше 1, такие поправочные коэффициенты приводятся в ПУЭ.

Расчетные токовые нагрузки для электроприемников и линий к ним определяют по паспортным данным в зависимости от режима работы. Для одиночных электроприемников максимальным расчетным током будет их номинальный ток при продолжительном режиме.

Для трехфазного электроприемника: Ip= Pном/ 3\*Uном\*cos

Для однофазного электроприемника: Ip= Pном/ Uном\*cos

Для приемников повторно – кратковременного режима работы номинальная мощность приводится к продолжительному режиму. Sном=Sпасп\* ПВ (кВА), ПВ в относительных единицах (40%) (0,4).

Рном=Sпасп\*ПВ\*cos

Коэффициент мощности для отдельных видов электроприемников при отсутствии паспортных данных можно определить по справочным данным литературы  [2], [3], [5] , [8].

При определении числа проводов, проложенных в одной трубе, нулевые защитные проводники не учитываются. Выбираем диаметр условного прохода трубы для электропроводок в зависимости от числа и сечения жил по справочным таблицам. Для выполнения второго условия выбора сечения необходимо определить ток срабатывания защитных аппаратов.

Для защиты распределительных линий и электроприемников, подключенных к ним, используются автоматические выключатели и плавкие предохранители. Эти аппараты устанавливаются в силовых распределительных шкафах или в распределительных шинопроводах.

В настоящее время электротехнической промышленностью выцпускаются шкафы с автоматическими выключателями серии ПР 8501 и ПР 8701.

Эти шкафы укомплектовываются выключателями ВА 51 с токовыми уставками 16, 25, 31,5, 40, 50, 63, 80, 100, 250 (А).

Шкафы с предохранителями выпускаются серии ШРС и могут быть укомплектованными предохранителями типа ПН 2, НПН 2. В качестве вводного аппарата в шкафах с предохранителями используются трехполюсные рубилники.

Шинопроводы позволяют установку и автоматов, и предохранителей. Автоматический выключатель имеет тепловой, электромагнитный и комбинированнный расцепители.

При наличии теплового расцепителя автомат осуществляет защиту от перегрузки. Электромагнитный расцепитель обеспечивает защиту от короткого замыкания. Комбинированный расцепитель выполняет защиту в линиии и электроприемниках от перегрузки и короткого замыкания. Предохранители предназначены для только от короткого замыкания.

Для надежного срабатывания защиты в условиях однофазного короткого замыкания в четырех проводных сетях напряжением до тысячи вольт должно соблюдаться условие IK(1)>=KIз.

**Расчет питающих линий напряжением до 1 кВ**

Для выбора сечения проводов или кабелей должны быть известны нагрузки в узлах (силовых шкафов, шинопроводов). Для примера рассмотрим расчет линий проложенных от ЦТП до ШР - 1 и ШР – 2. Распределительные шкафы от ЦТП могут быть запитаны по магистральной или радиальной схемам.

Магистральная схема – питающая сеть, проложенная в одном направлении по сопутствующим строительным конструкциям.

Радиальная схема – распределительные шкафы от ЦТП запитаны по отдельным линиям.

Радиальные схемы обладают повышенной надежностью по сравнению с магистральными, так как при повреждении одной линии вторая линия остается в работе. При магистральной схеме при повреждении магистрали в начале линии обе сборки остаются без напряжения, но магистральные схемы более экономичны за счет меньшего расхода проводов и кабелей. По магистральной схеме рекомендуется запитывать электроприемники одного технологического потока.

Сечение линий выбирают из следующих условий:

**1.** Длительно допустимый нагрев максимальным расчетным током. На участке от ЦТП до ШР – 1 расчетная нагрузка 236,7 кВт.

Iрасч. = Smax/( 3\*Uном)=320,3/0,66=485,8 А.

По справочным таблицам ПУЭ в приложении 7 выбираем сечение провода S=240мм2, Iдл.доп=276 А. В качестве нулевых защитных проводов а ПУЭ разрешается использовать стальные трубы электропроводок, если нагрузка симметрична. В данном случае к ШР – 1 и ШР – 2 подключены только трехфазные электроприемники, и нулевой провод в этом случае является только защитным. При наличии однофазных приемников схема будет с несимметричной нагрузкой, в нулевом проводе будет протекать ток, и в этом случае нулевой провод будет рабочим и защитным, а питающая сеть должна быть четырехпроводной. Для обеспечения надежной защиты от короткого замыкания допускается на всех участках магистрали применять одинарное сечение, соответствующее нагрузке всей магистрали, то есть такой же, как в начале линии

**2.**  Условия надежного срабатывания защиты при однофазном коротком замыкании.

Для проверки выбранного сечения на надежное срабатывание защиты необходимо определить уставки защитных аппаратов. Для ШР –1 на вводе предусматривается автоматический выключатель с номинальным током 500 А.

Согласно таблице 3.9 [2,160] для линий к группам электроприемников.

Iср.тепл.расц = 1,1\* Iр.

1,1\* - повышающий коэффициент, если защитный аппарат установлен вне шкафа.

Выбираем защитные аппараты.

ВА 51-37 630/500

Iном>=Iр

500>=485.8 - условие выполняется.

Под перегрузкой понимают увеличение тока в линии свыше длительно допустимого.

Если линии неответственные и небольшой протяженности, от для проверки условия достаточно сравнить длительно допустимый ток с током срабатывания защиты и не рассчитывать ток короткого замыкания.

**3.** Условия нормативных отключения напряжения потребителя.

Отключение напряжения потребителей не должно превышать допустимых значений и расчетная потеря напряжения в линии не должна превышать допустимую.

Потеря напряжения в линии определяется как разность действующих значений напряжения в линии в начале и в конце.

U= U1-U2 (В).

Относительная потеря напряжения U%= ((U1-U2)/ U1)\*100%.

Для компенсации потерь напряжения в линии рядом стандартных номинальных напряжений предусматривается превышение напряжения источника питания на 5%, в сравнений с номинальным напряжением потребителя. Поэтому допустимую потерю напряжения питающих сетей принимают равной 5%.

Uдоп=5%.

В общем ГОСТом предусматривается, что отклонение напряжения потребителей в меньшую сторону от допустимой потери напряжения.

Наибольшие располагаемые потери напряжения от шин трансформаторных подстанции до наиболее удаленных электроприемников силовой сети с учетом потерь в трансформаторе можно определить по справочным таблицам литературы [2] и [8].

Расчетные потери напряжения в сетях напряжением до 1 кВ определяются по формуле:

Uрасч.%=(Рр\*l)/(С\*F), в (%), где

Рр- максимальная расчетная нагрузка в линии (кВт).

l - длина линии (м).

F- сечение токоведущих жил (мм2).

С – коэффициент, учитывающий конструкцию сетей, приводится в справочной литературе таблиц [2], [8], [4].

Произведение расчетной нагрузки на длину линии называют *моментом нагрузки.*

Мр=Рр\*l, кВт\*м.

Значение расчетных моментов может проставляться на расчетных схемах. В справочных таблицах литературы [2], [4], [8] приводятся расчетные потери напряжения в зависимости от момента нагрузки. Для питающих линий нагрузка в основном бывает сосредоточено в конце линии или участка. Поэтому для линий с распределенной нагрузкой шинопроводов расчет потери напряжения рассмотрен в литературе [2, стр.170], [4], [8].

**4.** Проверка на термическую стойкость при сквозных однофазных коротких замыканий.

Проверку выполняют для питающих линий, выполненных проводами и кабелями с пластмассовой изоляцией.

Минимальное сечение, удовлетворяющее условию термической стойкости.

Fmin= Bк/Ст=Iк.з(1)\* t расч.к.з./Ст, мм2.

Вк – тепловой импульс, А2\*с.

Вк=I2\*t.

Iк.з – ток однофазного короткого замыкания,

tрасч.к.з. – расчетное время короткого замыкания в секундах, зависит от времени срабатывания защитного аппарата.

Время срабатывания в зависимости от тока короткого замыкания определяют по время - токовой характеристике защитного аппарата.

Ст - термический коэффициент, считывающий разность температур нагрева токоведущих жил при нормальном режиме и в условиях короткого замыкания. Этот коэффициент приводится в таблице литературы [2] и [9].

Ток однофазного короткого замыкания определяется при коротком замыкании в конце линии после расчета однофазного короткого замыкания.

Выбранное сечение проводов или кабелей должно быть больше, чем сечение минимально допустимое по условию термической стойкости

**Расчет заземления**

В сетях напряжением до 1000 В, работающих с изолированной нейтралью, а также в сетях выше 1 кВ, обязательной защитной мерой является заземление металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением при пробое изоляции, такое заземление называется защитным.

В сетях напряжением до 1000 В заземление нейтралей источника питания называется рабочим, так как с землей соединяются токоведущие части, находящиеся под напряжением в нормальном режиме. Рабочее заземление обеспечивает возможность выполнения трехфазных четырех проводных сетей (с глухозаземленной нейтралью). Сопротивление глухозаземляющих устройств (рабочего напряжения защитного заземления) нормируется в ПУЭ. Так при линейном напряжении 380 В сопротивление нейтрали трансформатора в трехфазных четырех проводных сетях должно быть не больше 4 Ом. В сетях с изолированной нейтралью напряжением до 1000 В при линейном напряжении 380

В сопротивление заземляющего устройства не должно превышать 4 Ом.

Rз<=125/Iз не > 4 Ом.

Допускается сопротивление заземляющего устройства в таких сетях до 10 Ом если мощность трансформатора или трансформаторов, работающих параллельно, не превышает 100 кВА. В сетях напряжением больше 1кВ с изолированной нейтралью сопротивление заземляющего устройства с учетом сопротивления естественного заземлителя должно быть не больше 10 Ом.

Rз <= 250/Iз.

Iз – расчетный ток замыкания на землю или измерений тока в режиме короткого замыкания на землю.

Iз берется минимальным из всех замеров и измеряется в то время года, при котором сопротивление будет иметь максимальное значение.

Для обеспечения надежной связи с землей в конструкции заземляющих устройств используются вертикальные электроды из круглой, прямоугольной, угловой стали, а также применяется сталецинковая. Вид заземлителя, то есть профиль поперечного сечения выбирается в зависимости от приспособлений, которые располагаются в организации. Длина заземлителя должна быть не меньше 3-5м, расстояние между вертикальными электродами должно быть не менее их длины.

Для установки вертикальных электродов сначала копают ров на глубине 0,7м и вкручивают вертикальные электроды так, чтобы верхний конец оставался под дном рва 0,2м. После этого вертикальные электроды соединяют между собой горизонтальными электродами (заземлителями). Горизонтальные электроды соединяют с магистралью заземления внутри здания не менее, чем в двух местах и тем же профилем которым выполнен горизонтальный электрод.

Наружное заземляющее устройства бывают контурные и выносные.

Контурные размещаются вокруг производственного здания. Для здания заземления часто размещают в котловане вдоль фундамента при его установке.

Выносные заземляющие устройства могут выполняться в ряд или по контуру.

Количество вертикальных электродов определяется при расчете заземляющего устройства так, чтобы расчетное сопротивление заземлителя было меньше нормируемого. При проектировании электроустановок необходимо в первую очередь рассматривать возможность использование естественных заземлителей. Внутри здания прокладываются магистральные заземления, от которых выполняют ответвления к отдельным электроприемникам и электрооборудованию сетей.

## Расчет токов однофазного короткого замыкания

Определение однофазного тока короткого замыкания необходимо для проверки надежного срабатывания защиты и термической стойкости питающей линии выполненных кабелем с пластмассовой изоляцией. Ток однофазного короткого замыкания протекает в короткозамкнутой петле « фаза – нуль » и называется расчетным занулением.

Согласно ПУЭ 1.7.79 в электроустановках до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью с целью обеспечения надежного автоматического отключения аварийного участка проводимость фазных и нулевых защитных проводников должна быть выбрана такой, чтобы при замыкании на корпус или на нулевой защитный проводник возникал ток короткого замыкания, превышал не менее, чем в 3 раза номинальный ток плавкой вставки предохранителя, в 3 раза номинальный ток теплового расцепителя автоматического выключателя.

Iкз(1) >=1.4 Iэл.расц.

Автоматический выключатель свыше 100 А.

Iкз(1) >=1.25 Iэл.расц.

Iкз(1)= U/Z «ф-0», где

Z «ф-0» - сопротивление петли « фаза – нуль », в которую входит полное сопротивление одной обмотки трансформатора фазного и нулевого провода, сопротивление контактов защитного аппарата, контактных соединений, сопротивление корпуса оборудования.

При расчетах, согласно руководящих указаний, по расчету короткого замыкания и выбору проверки аппаратов и проводников, по условиям короткого замыкания учитывают только сопротивление проводов и обмотки трансформатора.

Iкз(1)= Uф/(Zп+Zт/3).

Для расчета применяют упрощенную методику определения тока однофазного короткого замыкания, она основана на использовании потери напряжения и расчетного тока нагрузки. При этом допущение составляет +- 5% как в сторону снижения, так и увеличения тока короткого замыкания. Поэтому используемые выражения являются достаточно точными без технических расчетов в проектной практике. В результате преобразований получается расчетная формула:

Iкз(1) =1/(К Ua/100Imax)+(Zт’/3Uф), А

Для сети, состоящей из участков n, формула имеет вид

Iкз(1) =1/ (К ’ Ua/100Imax)+(Zт’/3Uф), А ,где

Ua= (Umax\*rф.о. \*L\*cos \*100)/Uф –активная составляющая потери напряжения %.

Umax – максимальный расчетный ток(А).

rф.о - активное сопротивление 1 км провода (Ом/км).

L – длина участка (км).

Uф- фазное напряжение (В).

K' – коэффициент, учитывающий сечение проводов, способ их прокладки, cos .

Zт’/3Uф – для силовых трансформаторов приводится в таблице 15.3 [11,246].

Расчитаем ток однофазного короткого замыкания в нашем примере считая, что в ЦТП установлен трансформатор ТМ – 400, то есть 400 кВА с группой соединения Y/Yн.

U=0,06%, S=150мм2

Iмах=Iр=207,1 А.

Iк.з(1)=1/((5,1\*0,06)/(100\*207,1)+(0,29\*10-3))=3278,7 А.

Проверяем второе условие выбора питающих проводов.

Iк.з(1) >=3\*Iпл.вст.

3278,7>=3\*250 – условие выплоняется.

По четвертому условию расчитываем минимальное сечение или проверяем сечение на термическую стойкость

Fmin= (Вк/Ст)= (Iк.з(1) \* tрасч.)/Ст =(3278,7\* 1,22)/62=64,8мм2 – оставляем сечение 150мм2. Определили из рисунка 31.4 [2,140] tрасч.=1,5сек.

Ст=62 [2,280].

**Заключение**

Вданном курсовом проекте был рассмотрен расчет сети электроснабжения на примере ЭСН и ЭО механического цеха тяжелого машиностроения. Были рассмотрены основные вопросы электрического снабжения.

Для правильного расчета необходимо было определить назначение проектируемого объекта, характер его нагрузки, количество электроприемников и их категория для правильного выбора количества трансформаторов на ЦТП, охарактеризовать помещение по категориям безопасности.

Также была рассмотрена система электрического освещения. Вся осветительная система запитана от щита ЩО, который получает питание от ЦТП.

Была построена картограмма нагрузок и определен центр нагрузок, характеризующийся тем, что при максимальном приближении ЦТП к нему нагрузки будут наименьшими.

В соответствии с нагрузкой цеха была выбрана мощность трансформатора.

В заключении был произведен расчет заземление нейтрали обмотки низшего напряжения трансформаторов ЦТП.

Все расчитанные параметры системы электроснабжения удовлетворяют всем требованиям, поэтому система может считаться пригодной для применения на производстве с высокой гибкостью, экономичностью и надежностью.

**Библиография**