|  |
| --- |
| ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО |
| ПРЕДПРИЯТИЯ |
| (АВТОМАТИЗАЦИЯ УЧЁТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ) |

Содержание

Введение

1 Реконструкция электроснабжение железнодорожного

1.1 Расчёт электрических нагрузок предприятия

Общая характеристика локомотивного депо

Расчёт осветительной нагрузки

Расчёт электрических нагрузок локомотивного депо

Рассчитанные средние нагрузки заносятся в графы 6 и 7 таблицы 1.2.

Расчёт однофазных нагрузок

1.2 Расчёт сети электроснабжения локомотивного депо

1.3 Расчёт токов аварийных режимов

Заключение

Список использованных источников

## Введение

Важнейшей задачей всех служб железнодорожного транспорта являются:

- повышение уровня электрификации, механизации и автоматизации технологических процессов;

- существенный подъём производительности и энерговооружённости труда;

- обеспечение более экономичного использования электрической энергии путём внедрения новой техники и усовершенствования оборудования;

- усовершенствование и автоматизация учёта и контроля за использованием энергоресурсов [1].

Несмотря на некоторые особенности, электроснабжение нетяговых потребителей железнодорожного транспорта осуществляется по тем же принципам, что и промышленное электроснабжение. При реконструкции, модернизации или новом строительстве основной проблемой промышленного электроснабжения является рациональный выбор:

- источника питания;

- места размещения понизительных подстанций и силовых пунктов;

- числа и мощности трансформаторов;

- сечения проводов и жил кабелей;

- устройств защиты от аварийных режимов.

В общем балансе электроэнергии, потребляемой предприятиями железнодорожного транспорта нетяговые потребители занимают около 30 %. Наиболее крупные нетяговые потребители железнодорожного транспорта сосредоточены на сортировочных и участковых станциях и на железнодорожных узлах. Электроснабжение этих потребителей выполняется, как правило, с использованием схем, принятых для электроснабжения промышленных предприятий. За последнее десятилетие созданы новые конструкции и виды электротехнического оборудования силовых и измерительных трансформаторов, реакторов, ячеек типа КСО, коммутационных аппаратов, устройств защиты от перенапряжений.

Правильное проектирование системы электроснабжения депо, рациональное размещение подстанций в центре электрических нагрузок и равномерное распределение электрических нагрузок, уменьшит потери электроэнергии, повысит уровень надежности электроснабжения, приведет к уменьшению приведенных затрат и снижению удельных норм расхода электроэнергии [1].

Общая цель обновления устройств электроснабжения нетяговых потребителей заключается в сочетании качественного повышения технико-эксплуатационных, энергетических, экономических показателей работы системы электроснабжения с минимизацией затрат на проведение модернизации при учете реальных или планируемых объемов грузопотока.

В связи со значительным моральным и физическим износом основного производственного оборудования и питающих его электрических сетей и систем на ряде предприятий проводится комплексная реконструкция всего производственного процесса. При этом появляется возможность по-новому пересмотреть систему электроснабжения, заново оптимизировать конфигурацию питающей и распределительной сети и применить современные образцы электротехнического оборудования.

Наряду с этим при переходе на рыночные отношения в электроэнергетике возникла необходимость внедрения новых счётчиков электроэнергии и создания каналов связи для её автоматизированного учёта.

Целью дипломного проекта является проведение расчётов рабочего режима, а также расчётов аварийных режимов для выбора силового электрооборудования и уставок токовых защит при реконструкции электроснабжения локомотивного депо «Отрожка» по ремонту и техническому обслуживанию локомотивов и электропоездов расположенного на Лискинском отделении Юго-Восточной железной дороги.

Целью специального вопроса является совершенствование и автоматизация учёта электроэнергии.

Целью экономического раздела является расчёт реконструкции электроснабжения локомотивного депо.

Целью раздела охрана труда и экология является разработка технологической карты по безопасному выполнению работ при замене КТП 6 кВ, а также расчёт выбросов от осуществляемых в депо технологических процессов.

В связи с большим объемом выполняемых расчетов задание на проектирование разделено на две технологические части, поэтому расчет нагрузок в данном дипломном проекте выполнен совместно со студентом Свиридовым Павлом Михайловичем. Расчет нагрузок, в части, соответствующей заданию на проектирование, выполнен самостоятельно, а для выбора подстанции, источников питания и схемы распределительной сети учтено все электрооборудование, установленное в депо (вся нагрузка депо).

## 1 Реконструкция электроснабжение железнодорожного

предприятия

## 1.1 Расчёт электрических нагрузок предприятия

## Общая характеристика локомотивного депо

Локомотивное депо «Отрожка» Лискинского отделения Юго – Восточной железной дороги занимается техническим обслуживанием и ремонтом дизель-поездов и электропоездов и по надежности электроснабжения относится к потребителям третьей категории. Приведём общую характеристику локомотивного депо.

Год пуска в эксплуатацию – 1870 г., разрядность депо – внеклассное.

Площадь территории – 58600 м2, в том числе застроенная – 41170 м2.

Общая полезная длина путей – 4260 м, из них 2924 м– на открытой территории и 1336 м– в зданиях депо.

Электрифицировано – 1274 м путей.

Общая полезная площадь цехов – 16142,6 м2, в том числе:

- стойловой части – 6728,4 м2

- мастерских и подсобных цехов – 5549,4 м2

- служебно–бытовых помещений – 3864,8 м2

В депо имеется:

- цех для капитального ремонта КР – 1 и текущего ремонта ТР – 3 электропоездов с прилегающими вспомогательными цехами и отделениями;

- цех текущего ремонта ТР-2, ТР-1 и ТО-3 дизель - поездов;

- пункт технического обслуживания электропоездов открытого типа без смотровой канавы на одно стойло (пять секций);

- пункт технического обслуживания дизель – поездов открытого типа, совмещённый с экипировкой на одно стойло (четыре секции);

- пункт обмывки электропоездов и дизель – поездов открытого типа.

Имеются также экипировочные и другие устройства, в том числе:

- база запаса топлива;

- склад сырого песка на 1000 м3 с пескосушилкой;

- пункт экипировки тепловозов типа ЧМЭ-3 и путевой техники.

Электропоезда работают на полигонах Мичуринск – Воронеж – Россошь протяжённостью 440 км, Валуйки – Воронеж протяжённостью 260 км, Воронеж – Поворино протяжённостью 320 км.

В депо решаются вопросы реконструкции и расширения производства, внедрения новых технологических процессов. Своими силами в депо построены цеха: нестандартного оборудования, станция испытания дизелей, кузовной цех, помещение машиной химчистки «Орбита».

Внедрение системы диагностики подшипников качения, зубчатых передач, тяговых двигателей моторных вагонов электропоездов с применением вибродиагностического комплекса «Вектор – 2000» позволяет своевременно оценивать техническое состояние этих узлов и снизить количество случаев неисправности мотор-вагонного подвижного состава (МВПС) в эксплуатации.

Восстанавливаются изношенные и изготавливаются новые узлы и детали МВПС. Всего восстанавливается 21 наименований узлов и деталей, изготавливается 65 наименований изделий из капрона и резины, ежемесячно восстанавливается от 150 до 200 банок аккумуляторных батарей ПК – 55.

Режим работы основных цехов депо – односменный. Для отдельных участков, занятых подготовкой локомотивов в рейс применяется трёхсменный график работы.

План депо с расположением технологического оборудования представлен в исходных данных. Основное производственное здание депо состоит из 15 отделений и участков, расположенных в общем корпусе в отдельных помещениях. Возле склада агрегатов имеется открытая площадка для хранения громоздких деталей и тележек подвижного состава оборудованная рельсовыми путями. Административные и бытовые помещения расположены в отдельном здании на втором этаже над пантографным отделением.

Электропитание цехов и отдельных электроустановок осуществляется низковольтными кабельными линиями с напряжением 380/220 В. В основном срок эксплуатации кабельных линий (КЛ) депо составляет более 15…20 лет, в результате чего наблюдается их частый выход из работы. Система электроснабжения локомотивного депо сложилась за предыдущие годы, постоянно изменяясь для выполнения новых производственных задач и в результате устранения последствий обрывов и аварий.

Изношенность всей сети электроснабжения и оборудования депо привела к постепенной замене ранее проложенных кабелей подземной или внутренней прокладки в наружном исполнении и изменениям схемы, которые зачастую не отражались в технической документации. Это может создать множество трудностей при организации работ и обеспечении безопасности выполнения работ.

## Расчёт осветительной нагрузки

В общем балансе потреблённой энергии значительную часть составляет электрическое освещение. Для экономии топливно-энергетических ресурсов необходимо добиваться увеличения естественного освещения помещений предприятия и применять новые типы светотехнических установок и светильников.

В большинстве помещений депо применяется общее электрическое освещение от сети с фазным напряжением 220 В. Освещение смотровых канав в ряде цехов по обслуживанию и ремонту подвижного состава осуществляется с применением напряжения 12 В. От освещённости производственного помещения и конкретного рабочего места зависит безопасность производительность труда на предприятии. Осветительные нагрузки для отдельных цехов и участков могут составлять значительную часть в электропотреблении [1]. Для освещения производственных помещений железнодорожного транспорта применяются следующие виды освещения:

- общее, при котором светильники размещают в верхней зоне помещения равномерно (общее равномерное освещение) или применительно к располагаемому оборудованию (общее локализованное освещение);

- местное, дополняемое к общему, создаваемое светильниками концентрирующими световой поток непосредственно на рабочем месте;

- комбинированное;

- дежурное в нерабочее время;

- эвакуационное;

- аварийное, для продолжения работы при аварийном отключении рабочего освещения.

От выбора светильников зависит расход электроэнергии на осветительные цели. Выбор типа освещения определяется конкретными условиями цеха и участка [2]. Общее освещение производственных помещений железнодорожного транспорта следует осуществлять светильниками с газоразрядными источниками света (лампы ДРЛ, ДРИ, ДНаТ) применять и люминесцентные лампы. При повышенных требованиях к цветопередаче следует применять люминесцентные лампы типов ЛДЦ, ЛХБ, ЛХЕ и ЛЕ. Лампы типа ДНаТ необходимо применять для освещения зрительных работ средней и малой точности [2]. Из-за высокой пульсации светового потока их можно применять только при наличии равномерного распределения по всем трём фазам питающей сети.

Лампы накаливания следует использовать:

- для местного освещения;

- для освещения помещений с временным пребыванием людей;

- во взрыво – и пожароопасных помещениях и в помещениях с тяжёлыми условиями среды;

- для аварийного и эвакуационного освещения [2].

Общее освещение помещений проектируется, как правило, равномерным.

Существует несколько методов расчета освещения:

* метод прямых нормативов. Применяется для освещения помещений площадью до 10 м2, таких как лестницы, коридоры, проходы;
* метод удельной установленной мощности;
* метод коэффициента использования;
* точечный метод.

На всех стадиях проектирования для общего равномерного освещения допускается взамен полного светотехнического расчёта определять мощность и число ламп по таблицам удельной мощности и по коэффициенту спроса. По упрощённой форме этого метода применяются таблицы удельной мощности [2].

Для предприятий железнодорожного транспорта удельная мощность нагрузки освещения *pУД* принимается равной:

- цеха подъёмочного ремонта, *pУД*.= 0,017 кВт/ м2;

- служебно-бытовые помещения, *pУД*.= 0,016 кВт/ м2;

- механическая мастерская, *pУД*.= 0,013 кВт/ м2;

- склад местных грузов, *pУД*.= 0,006 кВт/ м2;

- грузовые дворы, *pУД*.= 0,0005 кВт/ м2;

- улицы, проезды, открытые проходы, *pУД*.= 0,006 кВт/ пог. м.

Расчет освещения в цехах и отделениях депо выполним методом удельной установленной мощности. Установленная мощность зависит от нормы освещенности, типа светильника, высоты подвеса светильника и площади помещения. В качестве источника света принимается лампа с напряжением 220 В. В качестве источника света в основных производственных цехах депо выбираем светильники с металлогалогенными лампами. По нормируемой общей освещенности для производственных цехов принимаем нормативную освещенность 100 лк [2]. Точность работ в цехах средняя, контраст средний, фон темный. Площадь помещения, *F ПОМ*, м2, определяется по формуле (1.1)

*FПОМ = А · В*, (1.1)

где *А* и *В* – длина и ширина помещения, м. Например, площадь электромашинного отделения определится

*FПОМ* = 22,0 · 20,0 = 440,0 м2.

По справочнику [2] определяем удельную установленную мощность осветительных приборов *pУД,* Вт/м2, в зависимости от площади помещения и высоты подвеса. Коэффициент спроса для освещения *kС* можно принять равным:

- 1,0, для небольших производственных зданий;

- 0.95, для производственных зданий из крупных пролётов;

- 0.85, для производственных зданий из отдельных помещений;

- 0.8, для административно-бытовых корпусов;

- 0.6, для складских помещений.

Определяем мощность, необходимую для освещения цеха, Росв, кВт

*Росв = kС · pУД · FПОМ*, (1.2)

Для электромашинного отделения:

*Росв* = 0,95 · 0,013 · 480 = 5,9 кВт.

Мощность установленных светильников можно определить по формуле (1.2) при *kС* = 1,0, тогда

*Рсв* = 0,013 · 440 = 5.7 кВт.

Локализованное размещение светильников общего освещения необходимо предусматривать в помещениях со стационарным громоздким оборудованием, с неравномерным размещением и малой плотностью оборудования и при наличии зрительных работ разной точности. Для местного освещения должны применяться светильники с непросвечивающими отражателями.

Световыми указателями должны быть оборудованы входы и выходы из цехов, места расположения медпунктов и средств пожаротушения, пути эвакуации людей. Мостовые краны следует оборудовать подкрановым освещением с освещённостью не менее 50 лк [2].

Типы светильников следует выбирать с учётом условий окружающей среды, светотехнических требований, строительных требований и технико-экономических показателей. Освещение административных, бытовых и большинства производственных помещений выполнено люминесцентными лампами. Внутреннее освещение цехов и пролетов секционировано.

Для наружного освещения применяются прожекторные светильники с газоразрядными лампами расположенные по периметру фасада здания и на железобетонных выносных опорах.

Определим мощность, необходимую на прожекторное освещение. Площадь открытой площадки составляет *FПл* = 750,0 м2, следовательно

*P О. Пл* = 0,4 кВт.

Длина освещаемого фасада здания депо составляет 400 м, следовательно

*P О. Ф* = 2,4 кВт.

Определим мощность, необходимую на освещение других цехов и административных помещений. Данные результаты расчёта мощности на освещение предприятия приведены в таблице 1.1 и на рисунке 1.1.

В таблице 1.1 и на рисунке 1.1 приняты следующие обозначения типов ламп: Л - люминесцентные, ЛН – лампы накаливания, DNT – натриевые, металлогалогенные и ртутные лампы.

Для освещения смотровых канав в цехе текущего ремонта применяются лампы накаливания напряжением 12 В, питаемые от понижающих трансформаторов.

Таблица 1.1 – Освещение помещений и территории депо

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование цехов иотделов | Площадь помещения, м2 | Удельня мощность*pУД,* Вт/м2 | Коэффициент спроса *kС* | Мощность светильников *P СВ,* кВт. | Расчётная мощность на освещение *P О О*, кВт. | Тип ламп |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Механическое отделение | 270 | 0,013 | 0,85 | 3,4 | 3,2 | DNT |
| Кузнечное отделение | 200 | 0,013 | 0,85 | 2,6 | 2,1 | DNT |
| Прачечная | 170 | 0,013 | 0,85 | 2,2 | 1,9 | Л |
| Моечное отделение | 260 | 0,013 | 0,85 | 3,4 | 3,2 | ЛН |
| Роликовое отделение | 200 | 0,013 | 0,85 | 2,6 | 2,1 | DNT |
| Колёсно-токарное отделение | 430 | 0,013 | 0,95 | 5,6 | 5,3 | DNT |
| Склад агрегатов | 400 | 0,006 | 0,60 | 2,4 | 1,4 | Л.ЛН |
| Пантографное отделение | 420 | 0,013 | 0,85 | 5,4 | 4,6 | DNT |
| Цех подъёмного ремонта | 1650 | 0,013 | 0,95 | 21,4 | 20,3 | DNT |
| Испытательная станция | 260 | 0,013 | 0,85 | 3,3 | 2,8 | DNT |
| Электромашинное отделение  | 440 | 0,013 | 0,95 | 5,7 | 5,4 | DNT |
| Пропиточное отделение | 260 | 0,013 | 0,85 | 3,4 | 3,2 | ЛН |
| Кузовное отделение  | 260 | 0,013 | 0,85 | 3,4 | 3,2 | DNT |
| Столярное отделение | 130 | 0,013 | 0,85 | 1,7 | 1,5 | DNT |
| Малярное отделение | 260 | 0,013 | 0,85 | 3,4 | 3,2 | Л.ЛН |
| Отделение очистки масла | 130 | 0,013 | 0,85 | 1,7 | 1,5 | ЛН |
| Керновый участок | 130 | 0,013 | 0,85 | 1,7 | 1,5 | DNT |
| Администрация | 420 | 0,016 | 0,80 | 6,6 | 5,3 | Л. ЛН |
| Бытовки | 420 | 0,016 | 0,80 | 6,6 | 5,3 | Л. ЛН |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Прожекторное освещение | - | - | - | 2,8 | 2,8 | DNT |

Расчётная мощность на освещение депо составит *P О О* = 78,6 кВт. Общая мощность установленных светильников рабочего освещения помещений и территории депо составляет *P СВ* = 86,6 кВт, (100%), в т.ч.:

- лампы накаливания – 16,7 кВт (19,3 %);

- люминесцентные лампы 10,4 кВт (12,0 %);

- лампы ДРИ и DNT – 56,7 кВт (65,5 %);

- прожекторные лампы 2,8 кВт (3,2 %).

Отклонения напряжения для осветительной сети допускается не более чем на 2,5 % от номинального фазного напряжения. Питающая осветительная сеть выполнена линиями, отдельными от силовой сети. Для выполнения условий по допустимым отклонения напряжения линии, питающие освещение не подключены к силовым пунктам (СП) питающим группы электроприёмников (ЭП). Управление внутренним освещением осуществляется вручную*.* Для управления уличным освещением установлены автоматы с фотоэлементами.

## Расчёт электрических нагрузок локомотивного депо

Расчет электрических нагрузок депо необходимо выполнить для выбора питающих силовых понижающих трансформаторов, выбора и проверки токоведущих элементов по пропускной способности (нагреву), определения потерь и показателей качества электроэнергии, выбора защитной аппаратуры и устройств компенсации реактивной мощности [3].

В проектируемой части локомотивного депо установлено 110 единицы оборудования, в том числе 75 единиц стационарного технологического оборудования и 35 единиц офисной и бытовой техники.

Рисунок 1.1 Структура установленной мощности осветительных приборов

Расчёт нагрузок проводится с применением метода упорядоченных диаграмм (метод коэффициента максимума) [3]. Расчет силовых электрических нагрузок производится по всему предприятию (депо) по характеристикам режима работы электроприемников.

Различаются три основных режима работы электрических установок: продолжительный, кратковременный и повторно-кратковременный [3].

В длительном режиме машины рассчитаны работать без повышения температуры отдельных частей выше допустимых пределов (вентиляторы, насосы). В длительном режиме, но с переменной нагрузкой работают различные обрабатывающие станки, прессы, молоты.

При кратковременном режиме за период включения температура отдельных частей не успевает достичь недопустимых значений, а период остановки достаточен для остывания. В этом режиме работают вспомогательные механизмы станков, различные заслонки и затворы.

При повторно-кратковременном режиме длительность циклов работы и останова не превышает 10 мин. В этом режиме работают краны и сварочные трансформаторы, создающие также значительные пиковые токи.

Для выполнения проекта электроснабжения депо необходимо определить следующие значения электрических нагрузок: средние нагрузки за максимально загруженную смену, максимальные кратковременные (пиковые) нагрузки, максимальные нагрузки различной продолжительности. В настоящее время принят получасовой расчётный максимум нагрузки (*РMAX = Р30*) [3].

В начальной стадии расчёта паспортные номинальные мощности ЭП приводятся к установленной мощности с учётом продолжительности включения (*ПВ*, %) равной единице и коэффициента мощности по формуле (1.3)

, (1.3)

где *рН* – установленная номинальная мощность электроприёмника, кВт;

*Sпасп* – паспортная номинальная мощность электроприёмника, кВ·А;

*ПВ* - продолжительность включения характеризует время работы электроустановки под нагрузкой в течение часа, относительных единиц;

*сos φ* – коэффициент мощности, определяющий соотношение активной и реактивной составляющих потреблённой электроэнергии (в некоторых случаях удобнее пользоваться *tg ϕ*).

Установленная мощность электроприёмников принимается равной:

- для электродвигателей длительного режима работы, силовых и электропечных трансформаторов, электроосветительных и электроотопительных приборов – паспортной мощности;

- для электродвигателей повторно-кратковременного режима работы, сварочных трансформаторов - паспортной мощности, приведённой к относительной продолжительности включения.

Далее определяется суммарная средняя нагрузка электроприёмников, которая даёт возможность оценить нижний предел возможных значений расчётной нагрузки за максимально загруженную смену характерных суток.

При определении электрических нагрузок величины и коэффициенты, относящиеся к одному электроприёмнику, обозначаются строчными, а к группе электроприёмников – прописными буквами.

Средние активные и реактивные нагрузки *рСМ*, кВт и *qСМ*, квар, за максимально загруженную смену необходимые для определения расчётного максимума нагрузки определяются

*рСМ = kи · РН* ; (1.4)

*qСМ = РСМ · tgϕ,* (1.5)

где *kи* – коэффициент использования (определяется по справочникам);

*tgϕ* - коэффициент мощности, определяется по *сos φ* по таблицам.

В начале расчета электроприёмники (ЭП) разбиваются на группы, по месту установки и технологическому процессу, производится систематизация электрических нагрузок и составляется таблица, в которой перечислены все электроприемники предприятия с указанием выбранного режима их работы (коэффициента использования и коэффициента мощности, продолжительности включения, отличающегося от 100%) [3].

Коэффициентом использования называется отношение средней активной мощности электроприёмника (или группы) за максимально загруженную смену, к её номинальному значению.

Данные о режимах работы оборудования принимаются по справочникам [2]. Все электроприемники повторно – кратковременного режима необходимо привести к *ПВ* = 100 %, или 1,00 Для кранов *ПВ* = 25 %. Для сварочного оборудования *ПВ* = 65 % [3].

Для сварочных трансформаторов и сварочных машин, задается номинальная полная мощность в кВ·А, и для расчета ее необходимо привести к активной по формуле (1.3).

Приведённая мощность мостового крана (ЭП 51) составит:

*рН* = = 10,0 кВт.

Приведённая мощность сварочного преобразователя (ЭП11) составит:

*рН* = = 22,4 кВт.

Результаты определения показателей режима работы электроприемников депо сведены в таблицу 1.2.

Перед расчётом нагрузок, проведём предварительное исследование конфигурации электрической сети и определим группы электроприёмников. При определении группы необходимо учесть, чтобы количество ЭП было не больше чем число отходящих фидеров в серийно выпускаемых распределительных шкафах [3].

Всего по цехам и производственным участкам депо определилось 14 групп ЭП получающих электроэнергию от силовых пунктов (СП). Из них в данной части дипломного проекта расчёт ведётся для восьми групп подключённых от СП – 1 до СП – 8. Мощные ЭП создающие большие пиковые нагрузки, например колёсно-токарные станки (ЭП 45 и ЭП 62), стенд для обкатки колёсных пар (ЭП 20) и мостовые краны (ЭП 51, ЭП 53) не подключаются к СП и получают питание по отдельным кабельным линиям от шин низкого напряжения подстанции.

По территории депо нагрузки распределены в каждом цехе отдельными группами, поэтому будет предпочтительна радиально – магистральная схема их подключения от распределительных шкафов. В связи с этим будем выполнять расчет отдельно по каждому цеху, объединяя данные расчетов в таблице для выбора трансформатора комплектной трансформаторной подстанции (КТП) и оборудования сети внешнего электроснабжения.

Произведем расчет электрических нагрузок цеха по методу упорядоченных диаграмм. По режиму работы делим электроприемники на две группы:

**-** электроприемники с переменным графиком нагрузки (*kИ* < 0.6);

- электроприемники с постоянным графиком нагрузки (*kИ* ≥ 0,6).

Определим средние нагрузки за максимально загруженную смену по группам электроприемников одного режима работы и занесём в таблицу 1.2.

Проведём расчет для группы состоящей из 14 ЭП расположенных в помещении механической мастерской, состоящей из металлообрабатывающих станков с переменным графиком нагрузки, и вентиляторов, питаемой от силового пункта СП – 1.

В графу 2 записываем количество электроприемников одного режима работы (с одинаковым *kИ* и *сos φ*). Для СП – 1, электроприёмников с переменным графиком нагрузки *n* = 12 шт. с постоянным графиком *n* = 2 шт.

В графу 3 записывается суммарная установленная мощность электроприемников всей группы, *РН*= 57,4 кВт.

В графу 4 и 5 записываются коэффициенты использования и *сos φ* групп одного режима работы выбранных по справочнику [3].

Определим средние нагрузки по группам электроприемников, например для токарного станка (ЭП 27) с *рН*= 12,7 кВт, при:

*kИ* = 0,12 и *сos φ* = 0,78( *tg φ* = 0,79):

*рСМ* = 0.12 ·⋅12,7 = 1,50 кВт;

*QСМ*= 0,79 · 0,50 = 1,2 квар.

Рассчитанные средние нагрузки заносятся в графы 6 и 7 таблицы 1.2.

## Расчёт однофазных нагрузок

Особым образом определяется приведённая мощность для однофазных нагрузок, к которым относится однофазные сварочные трансформаторы, офисная и бытовая техника. Если расчетная номинальная мощность однофазных электроприемников больше 15% мощности трехфазной группы электроприемников, то эквивалентная трехфазная мощность (*РНЭ* ) определяется в зависимости от количества и схемы включения однофазных электроприемников в трехфазную сеть [3].

Бытовая и офисная техника входит в состав группы СП-8 и равномерно включается по фазам трёхфазной сети. Следовательно, её можно учитывать как трёхфазные нагрузки. При включении крупных однофазных электроприёмников на линейное напряжение эквивалентная трехфазная номинальная мощность *РНЭ*, при количестве электроприёмников 1…3 единиц, включенных возможно равномерно в разные плечи трехфазной системы определяется по формуле (1.6):

*РНЭ =РНМФ*. (1.6)

Для электроприемников с постоянным графиком нагрузки расчет ведется аналогично как с переменным графиком до графы 6, но при определении максимальных нагрузок для них, а также для осветительных нагрузок

*PМ = PСМ;*

*QМ = QСМ*..

Рассчитаем итоговую строчку таблицы 1.2 по группам ЭП. Для группы СП – 1 с переменным графиком нагрузки: *PСМ* = 9,4 кВт, *QСМ*. = 15,5 квар.

По результатам граф 6 и 3 определяется групповой коэффициент использования *КИ* для электроприёмников с переменным графиком нагрузки по формуле (1.7):

*КИ = ΣРСМ /ΣРН*. (1.7)

Для группы с переменным графиком нагрузки питаемой от СП-1:

*КИ*= 9,4/54,0 = 0.17.

Далее для определения максимальной расчётной мощности необходимо определить коэффициент максимума *КМ* и эффективное число ЭП *nЭ,* шт.

Под *nЭ* понимается такое число одинаковых по режиму электроприёмников одинаковой мощности, которое создаёт такой же расчётный максимум, что и группа различных электроприёмников. Определяется *nЭ*, шт, по формуле:

. (1.8)

При этом, мощность многодвигательных станков и механизмов (кранов)

суммируется и не учитываются мелкие электроприёмники с суммарной мощность менее 5 % от мощности группы. Многодвигательными механизмами можно считать электродомкраты, которые работают по четыре одновременно [3].

В графу 9 записываем коэффициент максимума *Км*. или коэффициент загрузки *kЗ*. Если *nЭ* > 4, то коэффициент максимума по активной мощности определяем по кривым и заносится в графу 9.

Если число электроприёмников в группе равно четырём и более, то эффективное число ЭП допускается принимать равным фактическому при условии:

*m ≤*  ≤ 3, (1.9)

где РНMAX – номинальная мощность максимального электроприёмника, кВт;

РНMIN – номинальная мощность минимального электроприёмника, кВт.

При определении m исключаются мелкие электроприёмники с суммарной мощностью менее 5%.

Если *m* > 3, то *nЭ* можно определить по формуле

, (1.10)

где *ΣРН* – суммарная мощность ЭП группы, кВт.

Реактивная мощность, необходимая для создания магнитного потока электрических машин, изменяется в получасовой максимум не столь значительно и определяется:

- при *nЭ* ≤ 10, *Q М*= 1,1 *Q СМ*;

- при *nЭ* > 10, *Q М = Q СМ*

Таким способом в данном примере рассчитываются максимальные нагрузки, питаемые от СП – 1. Для ЭП повторно-кратковременного режима наибольшим ЭП является токарный станок (ЭП 27) с *рН* = 12,4 кВт, а наименьшим можно считать точило (ЭП 2) с *рН* = 224 кВт, и по формуле (1.9):

*m =12,4/2,2* = 5,6.

Поскольку *m* > 3, то *nЭ* можно определить по формуле (1.10), тогда:

*nЭ =* 2 · 54,0/12,4 = 8,7 шт.

По кривым справочника [3] определяем, что: *Км*. = 2,10, тогда:

*PМ* = 9,4 · 2,10 = 19,7 кВт; *QМ* = 1,1 · 15,5 = 17,0 квар.

Для ЭП длительного режима работы:

*PМ* = *PСМ* = 2,9 кВт; *QМ* = *QСМ* = 3,0 квар.

Если число электроприемников больше 3, а *nЭ* меньше четырёх, то расчет максимальной нагрузки ведется по коэффициенту загрузки *kЗ*, который для электроприемников:

- длительного режима работы, *kЗ* = 0,90 при *cosφ* = 0,90, тогда:

*PМ*= 0,90 · *PН; QМ*= 0,75 · *PМ*;

- повторно-кратковременного режима работы *kЗ* = 0,75; *cos ϕ* = 0,70; тогда:

*PМ*= 0,75 · *PН; QМ = PН*.

Таким способом рассчитываются максимальные нагрузки, питаемые от СП – 7. Подсчитываем итог по всем силовым нагрузкам группы ЭП питаемых от СП – 1, складывая итоги соответствующих граф (*n, PН, PСМ, QСМ, PМ, QМ*).

*PСМ* = 12,3 кВт; *QСМ* = 18,5 квар;

*PМ* = 22,6 кВт; *QМ* = 20,0 кВ·Ар.

Для выбора силового шкафа питающего группу подсчитаем среднюю мощность *SСМ* за максимально загруженную смену, кВ·А

*SСМ* =. (1.11)

Для группы СП-1:

*SСМ* = = 22,2 кВ·А.

Определим максимальную мощность группы:

*SМ* = = 30,2 кВ·А.

Для выбора сечения и марки питающих кабелей при напряжении питания *UН* =380 В определим ток питающей линии группы (графа 13), А

. (1.12)

Для группы питаемой от СП-1

*IМ*= = 45,9 А = 46,0 А.

Проведём расчёт для всех групп ЭП. Результаты расчета нагрузок приведены в таблице 1.2.

## 1.2 Расчёт сети электроснабжения локомотивного депо

Реконструкцию системы электроснабжения данного локомотивного депо необходимо проводить по следующим причинам:

- высоковольтное и низковольтное распределительное устройство ТП Депо прошло нормативный срок эксплуатации;

- низковольтная распределительная сеть перегружена и находится в неудовлетворительном техническом состояние.

Понижающая подстанция, питающая данное депо (ТП Депо), включена в кольцевую схему железнодорожного узла и получает питание на напряжении

6 кВ по двум кабельным линиям от независимых источников. Распределительное устройство высокого напряжения ТП Депо секционировано. В качестве коммутационного аппарата установлен высоковольтный выключатель.

Первый питающий фидер подстанции выполнен кабелем 6 кВ марки ААШВ 3×120, длина 0,90 км. На первой секции шин установлен понижающий трансформатор типа ТМ-630/6/0,4.

Второй питающий фидер подстанции выполнен кабелем 6 кВ марки

АСБ 3×70, длина 0,70 км. Понижающий трансформатор второй секции шин типа ТМ-320/6/0,4. Системы шин высокого и низкого напряжения секционированы.

Подстанции депо (ТП Депо) имеет следующие посторонние низковольтные потребители: пост электрической централизации (ЭЦ) на 120 стрелок, заявленная мощность *Р* = 72,4 кВт, *cos φ* = 0,85 и станцию перекачки мазута, заявленная мощность *Р* = 50,0 кВт, *cos φ* = 0,85.

Также от первой секции шин 6 кВ подстанции депо отходит кабельная линия для питания комплектной трансформаторной подстанции (КТП) дистанции пути.

В распределительном устройстве высокого напряжения на существующей ТП Депо установлены комплектные камеры типа КСО 366. Приходящие и отходящие высоковольтные фидеры оснащены масляными выключателями типа ВМГ – 10 выработавшими нормативный ресурс.

При реконструкции ТП Депо необходимо:

- определить необходимость увеличения мощности или замены силовых понижающих трансформаторов;

- в высоковольтных камерах заменить масляные выключатели на вакуумные стационарного исполнения;

- оснастить распределительное устройство низкого напряжения современными типами панелей с новой коммутационной и защитной аппаратурой.

Трансформаторы питающей подстанции выбираются по условиям окружающей среды. Номинальная мощность трансформатора должна соответствовать средней нагрузке за максимально загруженную смену. Для потребителей первой категории нагрузка трансформатора должна быть не более 70 % от номинальной мощности, для второй – до 80 %, третьей до 90 % [4].

Проведём сравнение вариантов выбора трансформаторов.

Суммарная рассчитанная мощность нагрузки наиболее нагруженной смены депо составляет: *SСМ* = 895,8 кВ·А. В настоящее время на ТП-Депо установлены трансформаторы с суммарной номинальной мощностью

*SН.Т* = 950 кВ·А. Следовательно, нагрузка за максимально нагруженную смену для них составляет 94,3 %, что превышает норму для потребителей третьей категории. Также трансформатор типа ТМ-320/6/0,4 находится в эксплуатации более 40 лет, выработал нормативный ресурс и по техническому состоянию нуждается в замене. При реконструкции ТП Депо трансформатор типа ТМ-320/6/0,4 может быть заменён на :

- трансформатор типа ТМ-400/6/0,4 мощностью 400 кВ·А;

- трансформаторами типа ТМ-630/6/0,4 мощностью 630 кВ·А.

В первом случае рассчитанная нагрузка потребителей за максимально загруженную смену составит 87,0 % от мощности трансформаторов типа ТМ-630/6/0,4 и ТМ-400/6/0,4 соответствует нормам для потребителей третьей категории.

Во втором случае рассчитанная нагрузка потребителей за максимально загруженную смену составит 71,1 % от мощности двух трансформаторов типа ТМ-630/6/0,4. Поскольку среди нагрузок от ТП Депо имеется потребитель первой категории (пост ЭЦ), а также в связи с тем, что энерговооружённость депо и электропотребление будет всё более возрастать, принимаем решение об установке второго трансформатора типа ТМ-630/6/0,4.

Главный распределительный щит (ГРЩ) распределительного устройства низкого напряжения выполним с применением типовых шкафов выпускаемых в настоящее время промышленностью. Поскольку применяется двухтрансформаторная ТП, система шин напряжением 0,4 кВ секционирована. В качестве коммутационного аппарата на вводе от трансформатора на каждую секцию шин применяется автоматический выключатель. Защита отходящих низковольтных линий выполняется с применением автоматических выключателей стационарного или выдвижного типа или предохранителями-разъединителями на номинальный ток до 630 А [3].

Для организации учёта электроэнергии и измерений на ТП по заявке заказчика устанавливаются:

- вольтметр с переключателем на вводе РУ низкого напряжения;

- амперметры в каждой фазе на вводе;

- трансформаторы тока в РУ высокого и низкого напряжения;

- счётчики активной и реактивной электроэнергии на стороне низкого напряжения;

- другие приборы.

Наличие расчётных счётчиков на ТП позволяет организовать коммерческий учёт электроэнергии на предприятии. Подключение счётчиков к сети производится через измерительные трансформаторы тока с классом точности не более 0,5. Присоединение токовых обмоток счётчиков необходимо производить к к вторичным обмоткам трансформаторов тока отдельно отцепей защиты и совместно с электроизмерительными приборами. Расчётные счётчики должны быть опломбированы [4].

Счётчиками реактивной электроэнергии должны оснащаться потребители с установленной мощностью более 100 кВт [4]. Счётчиками технического учёта могут оснащаться силовые пункты питания отдельных цехов.

Схема первой секции шин ТП Депо приведена на рисунке 1.2.

При электроснабжении от источников энергосистемы потребитель должен принимать меры по соблюдению допустимых показателей качества электроэнергии в точке общего присоединения. В данном случае необходимо принимать меры по уменьшению реактивной электроэнергии забираемой от энергосистемы. наиболее простым вариантом является установка автоматических низковольтных компенсирующих устройств.

Одним из основных направлений сокращения потерь электроэнергии и повышения эффективности электроустановок промышленных предприятий является компенсация реактивной мощности с одновременным повышением качества электроэнергии непосредственно в сетях предприятий.

Чем ниже коэффициент мощности *cos φ* при одной и той же активной нагрузке электроприемников, тем больше потери мощности и падение напряжения в элементах систем электроснабжения. Поэтому следует всегда стремиться к получению наибольшего значения коэффициента мощности [3].

Правильная компенсация реактивной мощности (КРМ) позволяет:

- разгрузить передающие установки: подводящие линии, трансформаторы и распределительные устройства;

- 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.

Для решения этих задач применяются компенсирующие устройства, называемые установками компенсации реактивной мощности, основными элементами которых являются конденсаторы.

Применение установок КРМ позволяет исключить оплату за потребление из сети и генерацию в сеть реактивной мощности, при этом суммы платежа за потребляемую энергию, определяемые тарифами энергосистемы, значительно сокращаются.

Рисунок 1.2 – Схема первой секции шин 380/220 В трансформаторной подстанции депо

При электроснабжении от источников энергосистемы потребитель должен принимать меры по соблюдению допустимых показателей качества электроэнергии в точке общего присоединения. В данном случае необходимо принимать меры по уменьшению реактивной электроэнергии забираемой от энергосистемы. наиболее простым вариантом является установка автоматических низковольтных компенсирующих устройств.

Одним из основных направлений сокращения потерь электроэнергии и повышения эффективности электроустановок промышленных предприятий является компенсация реактивной мощности с одновременным повышением качества электроэнергии непосредственно в сетях предприятий.

Чем ниже коэффициент мощности *cos φ* при одной и той же активной нагрузке электроприемников, тем больше потери мощности и падение напряжения в элементах систем электроснабжения. Поэтому следует всегда стремиться к получению наибольшего значения коэффициента мощности [3].

Правильная компенсация реактивной мощности (КРМ) позволяет:

- разгрузить передающие установки: подводящие линии, трансформаторы и распределительные устройства;

- 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.

Для решения этих задач применяются компенсирующие устройства, называемые установками компенсации реактивной мощности, основными элементами которых являются конденсаторы.

Применение установок КРМ позволяет исключить оплату за потребление из сети и генерацию в сеть реактивной мощности, при этом суммы платежа за потребляемую энергию, определяемые тарифами энергосистемы, значительно сокращаются.

Выбор мощности их конденсаторных батарей осуществляют по расчетам электрических нагрузок подстанции и заданному входному *tg φВХ*, с помощью которого определяется входная мощность, компенсацию которой берет на себя энергетическая система. Из расчета электрических нагрузок определяется средняя активная мощность за наиболее загруженную смену *PСМ* и вычисляется реактивная мощность *QК*, квар которую необходимо компенсировать по формуле:

*QК =PСМ ⋅ ( tg φ - tg φ вх )*. (1.13)

где *tg φ* – фактическое значение коэффициента мощности предприятия;

*tg φ вх* = 0,33, нормированное значение коэффициента мощности [3].

Для выбора мощности конденсаторной батареи на ТП Депо *QК*определяем *PСМ* из расчета нагрузок выполненного студентом Свиридовым П.М. На данном уровне распределения электроэнергии (подстанция железнодорожного депо) в нормированный показатель качества электроэнергии, *tg φВХ* = 0.33. Следовательно:

*QК* = 650,6 ⋅ (615,8/650,6 - 0.33) = 401,1 квар.

В качестве компенсирующего устройства в распределительном устройстве низкого напряжения выбираем ближайшую по мощности автоматическую низковольтную конденсаторную установку типа УКЛН – 0.38 – 400 – 50 У3 [3].

Далее необходимо определить наиболее оптимальную схему низковольтной распределительной сети. При выборе вариантов реконструкции электроснабжения предприятия наиболее целесообразно выполнить «глубокий ввод» высокого напряжения и расположить понизительную подстанцию как можно ближе к центру электрических нагрузок. Это приведёт к снижению потерь при передаче электроэнергии.

Для расчёта низковольтной питающей сети на схематический генплан предприятия наносится картограмма нагрузок [3]. План предприятия необходимо поместить в прямоугольную систему координат с осями *Х* и *Y*. При этом каждый ЭП (или распределительный шкаф) с нагрузкой *P*i, будет иметь координаты *Xi, Yi*. При таком способе можно по аналогии с центром тяжести материальных точек определить центр электрических нагрузок группы ЭП или всего предприятия, координаты которого (*X0, Y0*) могут определиться по формулам (1.14):

; , (1.14)

где *Pi* – мощность ЭП, кВт;

*Xi, Yi* - координаты ЭП, м.

На предприятии выявляются сосредоточенные нагрузки и определяются центры групп распределённых нагрузок. Далее центры нагрузок групп ЭП определяются по формуле (1.14). Цеховые силовые пункты (СП) или распределительные шкафы должны быть приближены к колоннам и стенам цеха как естественным опорам для выходящих и подходящих к ним участков сети. Сеть, питающая шкафы, также должна быть приближена к кратчайшей [3].

Координаты ЭП на территории депо *Х* и *Y* примем в метрах.

Например, по формуле (1.14) определим координаты центра нагрузок группы ЭП роликового отделения, питаемой от СП-5:

 = 52,3 м;

 = 62,9 м.

Для выбора места расположения силового шкафа питания нагрузок столовой выберем точку с координатами *ХСП-13* = 57,0 м и *YСП-5* = 63,0 м возле стены помещения роликового отделения. Место фактического расположения питающего СП-5 смещено от центра электрических нагрузок на 4,7 м.

Затем также определим координаты центра нагрузок других групп ЭП. Центр нагрузок мелких нестационарных ЭП, например бытовой или офисной техники можно принять в середине занимаемого помещения. Данные расчёта занесём в таблицу 1.3

Таблица 1.3 – Координаты центра нагрузок групп ЭП

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Координаты | СП-1 | СП-2 | СП-3 | СП-4 | СП-5 | СП-6 | СП-7 | СП-8 |
| *ХЦН*,м | 10,1 | 18,5 | 29,4 | 41,0 | 52,3 | 69,2 | 93,5 | 119,8 |
| *YЦН*, м | 61,7 | 59,5 | 57,5 | 57,0 | 62,9 | 57,4 | 55,0 | 44,0 |

При определении места расположении силового пункта необходимо руководствоваться удобством его обслуживания и наличием свободной площадки. Координаты фактически установленных силовых пунктов и распределительных шкафов приведены в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Координаты мест расположения силовых пунктов

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Координаты | СП-1 | СП-2 | СП-3 | СП-4 | СП-5 | СП-6 | СП-7 | СП-8 |
| *ХСП*, м | 12,0 | 19,0 | 29,0 | 34,0 | 57,0 | 77,5 | 95,0 | 117,0 |
| *YСП*, м | 47,5 | 47,5 | 47,5 | 47,5 | 63,0 | 47,5 | 53,0 | 44,0 |

В некоторых случаях силовой пункт удобнее располагать на свободной от оборудования площади возле входа в помещение. Например, в механическом отделении СП-1 отдалён от центра нагрузок на 13,0 м.

Координаты центра тяжести всех нагрузок депо рассчитаны с учётом расчётов по другим цехам и участкам. С учётом расчётов выполненными студентом Свиридовым П.М. определим координаты центра тяжести всех нагрузок депо, который оказался в точке с координатами:

*ХД* = 50,5 м и *YД* =37,5 м.

Для уменьшения потерь электроэнергии в низковольтной сети питающая подстанция должна быть максимально приближена к центру нагрузок, однако для удешевления проекта реконструкции системы электроснабжения сохраним существующую подстанцию в отдельном кирпичном строении на расстоянии 0,1 км от ввода низковольтных кабелей в помещения депо со стороны кернового отделения. Следовательно, место расположения ТП Депо оказывается смещено от центра нагрузок депо на 138,0 м.

Схема питающей низковольтной сети депо приведена на рисунке 1.3.

Электрические аппараты и проводники выбираются по уровню изоляции, допустимому нагреву токоведущих частей в продолжительных режимах, а проводники, за исключением проводников сборных шин электроустановок, также по экономически целесообразной нагрузке [3]. Для электрических аппаратов используются следующие соотношения

*UНОМ ≥ UСЕТИ НОМ.*  (1.15)

*IНОМ ≥ IНРМ. РАСЧ*.  (1.16)

где *UНОМ* - номинальное напряжение аппарата, кВ;

*UСЕТИ НОМ* - номинальное напряжение сети, кВ;

*IНОМ* - номинальный ток аппарата; А;

*IНРМ. РАСЧ* - расчетные токи нормального, послеаварийного и ремонтного режимов, А.

Для проводников используются соотношения:

*UНОМ ≥ UСЕТИ НОМ.* (1.17)

Для неизолированных проводников *UНОМ* определяется уровнем опорной изоляции. Сечение проводника определится по формуле (1.18):

*S = IНОРМ. РАСЧ. /JЭКН,* (1.18)

где *S* - сечение проводника, мм2;

*JЭКН* - нормируемая экономическая плотность тока, А/мм2 [4].

Проверке по экономической плотности тока не подлежат сети напряжением до 1 кВ при числе часов использования максимума нагрузки до 4000…5000 в год [4]. Большинство цехов депо работают по односменному графику и число часов максимума нагрузки достигает не более 2100 часов в год.

Номинальный ток электрического аппарата и продолжительно допустимый ток проводника устанавливаются при определенной нормированной температуре окружающей среды.

Для электрических аппаратов нормированная температура окружающей среды *tОКР. НОМ* = 35 0С; для проводников, проложенных на воздухе и в кабельных каналах, *tОКР. НОМ* = 25 0С; для проводников, проложенных в земле или в воде, *tОКР. НОМ* = 15 0С [4].

Питающая низковольтная сеть соединяет распределительные и силовые пункты с КТП и источником питания предприятия. В депо она выполняется кабелями в кабельных каналах и по стенам помещений в коробах. Сечения проводников, питающих группы ЭП, выбираем по длительно – допустимому току

*IРАСЧ ≤ IДЛ. ДОП*., (1.19)

где *IРАСЧ* – расчетный ток, за который принимается *IМАХ* группы ЭП, А;

*IДЛ. ДОП* – длительно – допустимый ток по нагреву для проводника данного сечения, определяемый по таблицам ПУЭ [4] в зависимости от конструкции и условий прокладки, А.

Рисунок 1.3 – Схема магистральной сети депо 380/220 В

При прокладке кабелей в зависимости от условия прокладки по данным приведённые в таблицах ПУЭ [4] в расчёт вводятся коэффициенты. Так, для четырёхжильных кабелей вводится коэффициент 0,92 для длительно допустимого тока для трёхжильных кабелей.

Например, максимальный ток нагрузки группы ЭП пантографного отделения и административно-бытового корпуса, питаемой от СП-8 в разделе 1.1 по таблице 1.2 определён как:

*IM* = 144,0 А.

По таблицам ПУЭ [4] определяем, что при прокладке в воздухе для кабеля марки АВВГ – 3×95 + 1×50 длительно допустимый ток *IДЛ. ДОП* = 170 А.

С учётом коэффициента 0,92 для этого кабеля *IДЛ. ДОП* = 156 А.

Данные по результатам расчёта магистральных низковольтных кабелей приведены в таблице 1.5.

Таблица 1.5 – Данные по кабелям магистральной низковольтной сети

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Путь питающей сети | Ток группы ЭП, *IМ,* А | Марка кабеля | Сечениекабеля, мм2 | Допустимый ток, *IДЛ. ДОП*, А |
| ТП – СП-1 | 46,0 | АВВГ | 4×16 | 55,0 |
| ТП – СП 2 | 130,0 | АВВГ | 3×95 + 1×50 | 156,0 |
| ТП – СП-3 | 35,0 | АВВГ | 4×10 | 39,0 |
| ТП – СП-4 | 29,0 | АВВГ | 4×10 | 39,0 |
| ТП – СП-5 | 17,0 | АВВГ | 4×6 | 29,0 |
| ТП – СП-6 | 46,0 | АВВГ | 4×16 | 55,0 |
| ТП – СП-7 | 52,0 | АВВГ | 4×16 | 55,0 |
| ТП – СП-8 | 144,0 | АВВГ | 3×95 + 1×50 | 156,0 |

Распределительная низковольтная сеть состоит из присоединений отдельных электроприемников к силовым пунктам (СП). Она выполняется в виде электропроводок в пластмассовых или тонкостенных водо-газопроводных стальных трубах изолированными одножильными проводами или четырёхжильными кабелями [3]. Для электрических приемников повторно – кратковременного режима сечение питающих проводов должно выбираться по таблицам ПУЭ [4].

Если в результате выбора сечение алюминиевых проводов получается *S* ≤ 10 мм2, то провод выбирают по номинальному току электроприемника, *IРАСЧ = IПАСП* (к *ПВ* = 100% не приводится), а если *S* ≥ 16 мм2 то расчетный ток определяется, А

. (1.20)

Этим учитывается тепловая инерция проводников больших сечений.

Для асинхронных двигателей, генераторов, А

. (1.21)

Сечение проводников отдельных ЭП выбирается по условию

, (1.22)

где *IДОП.ПР* - длительно-допустимый ток проводника, А.

Например, определим сечение проводов необходимых для электроснабжения шлифовального станка (ЭП 37) с *рН* = 7,6 кВт. По формуле (1.20) определяем: *IДЛ. ДОП* = 15,2 А. Следовательно питающую сеть для ЭП 37 необходимо выполнить четырьмя алюминиевыми одножильными проводами марки АПРТО проложенными в трубе с сечением жил по 2,5 мм. Длительно допустимый ток для таких проводов составляет *IДОП.ПР* = 19 А [4].

Для генератора токов высокой чатоты с *рН* = 60,0 кВт и ПВ = 0,25, установленного в кузнечном отделении (ЭП №56) расчётный ток определится по формуле (1.20)

 = 69,0 А.

Следовательно, от СП-2 к этому электроприёмнику необходимо проложить четыре одножильных алюминиевых провода сечением жил 25 мм2 и с длительно-допустимым током *IДОП.ПР* = 70 А [4].

## 1.3 Расчёт токов аварийных режимов

При расчетах токов короткого замыкания (КЗ) в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ допускается:

- использовать упрощенные методы расчетов, если их погрешность не превышает 10 %;

- максимально упрощать и эквивалентировать всю внешнюю сеть;

- не учитывать ток намагничивания трансформаторов;

- не учитывать насыщение магнитных систем электрических машин;

- принимать коэффициенты трансформации трансформаторов равными отношению средних номинальных напряжений тех ступеней напряжения, которые связывают трансформаторы. При этом следует использовать следующую шкалу средних номинальных напряжений: 37,0; 20,0; 10,5; 6,3; 3,15; 0,69; 0,40; 0,23 кВ;

- не учитывать влияние синхронных и асинхронных электродвигателей или комплексной нагрузки [3].

На выбор расчетного вида КЗ оказывает влияние схема соединения обмоток силового трансформатора. При использовании трансформаторов, у которых обмотка высшего напряжения соединена в треугольник, ток однофазного металлического КЗ на шинах низшего напряжения может оказаться больше тока трехфазного металлического КЗ.

Токи КЗ в электроустановках напряжением до 1 кВ рекомендуется рассчитывать в именованных единицах. При составлении эквивалентных схем замещения параметры элементов исходной расчетной схемы следует приводить к ступени напряжения сети, на которой находится точка КЗ, а активные и индуктивные сопротивления всех элементов схемы замещения выражать в мил-лиомах [3].

Методика расчета начального действующего значения периодической составляющей тока КЗ в электроустановках до 1 кВ зависит от способа электроснабжения - от энергосистемы или автономного источника.

При расчете токов КЗ в электроустановках, получающих питание непосредственно от сети энергосистемы, допускается считать, что понижающие трансформаторы подключены к источнику неизменного по амплитуде напряжения через эквивалентное индуктивное сопротивление.

Расчеты должны производиться по режимам, соответствующим прохождению по рассматриваемому участку и наибольшего или наименьшего тока КЗ. Так, например, проверка электротехнического оборудования на термическое и электродинамическое действие токов КЗ должна производиться по наиболее тяжелому режиму, когда по рассматриваемому элементу проходит максимальный ток. Напротив, проверка чувствительности релейной защиты производится по наименьшему току соответствующему минимальному режиму.

Стойкость оборудования к термическому (тепловому) действию сверхтока также проверяется по трехфазному КЗ [4].

Местоположение точек короткого замыкания. При проверке электрооборудования на электродинамическую или термическую стойкость точки КЗ следует располагать таким образом, чтобы при этом проверяемое оборудование находилось в наиболее неблагоприятных условиях.

При выборе уставок релейной защиты точка КЗ принимается, в зависимости от назначения выполняемого расчета, в конце или в начале защищаемого участка.

При проверке кабелей на термическую стойкость расчетной точкой КЗ является:

- точка КЗ в начале кабеля (для одиночных кабелей одной строительной длины);

- точка КЗ в начале каждого участка нового сечения (для одиночных кабелей со ступенчатым сечением по длине);

- точка КЗ в начале каждого кабеля (для двух и более параллельно включенных кабелей одной кабельной линии) [3].

Токовую защиту отдельных ЭП депо выполним с применением низковольтных автоматических выключателей установленных на силовых пунктах и распределительных щитках. Схемы для расчёта КЗ приведена на рисунке 1.4.

Для обеспечения электробезопасности применяются различные системы нулевых и заземляющих проводников в сетях с напряжением менее 1 кВ. Для электроснабжения промышленных предприятий и в хозяйстве нетяговых потребителей железнодорожного транспорта наиболее широко применяется система TN-C-S с глухозаземлённой нейтралью источника питания и повторными заземлениями у потребителей [5]. При этом от нулевой точки трёхфазной обмотки с напряжением 380/220 В объединенный нулевой и защитный проводник РЕN силового кабеля соединяется со всеми распределительными шкафами и присоединяется к заземляющей магистрали.

По всем помещениям и цехам депо устраивается магистраль заземления, выполненная стальной шиной. Открытые проводящие части каждого электроприёмника в депо должны присоединяться к магистрали заземления металлическим заземляющим РЕ-проводником. Четвёртая жила низковольтных кабелей является объединенным РЕN-проводником. На силовых пунктах групп электроприёмников РЕ-проводники и N-проводники разъединяются и идут к нагрузкам отдельно. При этом N-проводники должны иметь изоляцию наравне с фазными проводами [5].

* 1. расчётная схема электроустановки;
	2. схема замещения цепи КЗ;
	3. эквивалентная схема замещения цепи КЗ в точке КЗ.

Рисунок 1.4 - Схемы расчета сверхтока

Аппараты защиты должны быть отстроены от нормальных кратковременных режимов работы (пусковой ток электрических двигателей,) – пиковых токов *IПИК* защищаемых участков сети. Например, для плавких вставок предохранителей и тепловых элементов расцепителей автоматических выключателей должно соблюдаться условие

, (1.23)

где *к* – коэффициент тяжести пуска;

*к* = 5 – для асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором;

*к* = 3 – для асинхронных двигателей с фазным ротором;

*к* = 1 – для сварочных трансформаторов;

*α* – коэффициент тепловой инерции плавкой вставки.

*α* = 2.5 – для нормальных условий пуска (станки, трансформаторы, вентиляторы), то есть при небольшой частоте включений;

*α* =1.6 – для кранов, сварочных аппаратов;

*IН* – номинальный ток электроприёмника, А.

Для одного двигателя *IПИК* - его пусковой ток, а для группы электродвигателей пиковый ток определяют по формуле

 (1.24)

где *iН..МАКС* – номинальный ток наибольшего ЭП из данной группы, определяемый по паспортным данным, А;

*IР* – расчетный ток группы приемников, А;

*kИ* - коэффициент использования, характерный для двигателя, имеющего наибольший пусковой ток.

Например, определим пиковый ток группы СП-2 кузнечного отделения. В составе группы из девяти ЭП с максимальным током *IМ* = 130,0 А самым крупным является сварочный преобразователь (ЭП №) с номинальной паспортной мощностью *рН.П* = 28,0 кВт и *кИ* = 0,40 и ПВ = 0,65 %. По формуле (1.21) для сварочного преобразователя определяем *iН..МАКС* = 56,0 А. По формуле (1.24) пиковый ток группы СП-2 определится

*IПИК* = 56,0 + 130,0 – 0,40 · 56,0 = 164 А.

Защиты в цепях 380/220 В наиболее целесообразно выполнять на автоматических выключателях, (автоматах), которые предназначены для нечастых оперативных отключений и защиты электрических цепей от перегрузок и сверхтоков. К достоинствам автоматов следует отнести то, что они при аварии отключают сразу все фазы сети и позволяют максимально безопасно производить оперативные действия при ручном отключении.

В зависимости от назначения автоматы оснащаются различными комбинациями расцепителей, среди которых наиболее распространены электромагнитные, для срабатывания на ток короткого замыкания (КЗ) и тепловые для защиты от перегрузки. Тепловые расцепители отключают автомат с выдержкой времени обратно зависимой от величины протекающего тока.

Автоматические выключатели выбираются по следующим условиям.

Номинальный ток расцепителя должен быть не меньше наибольшего расчетного тока нагрузки, длительно протекающего по защищаемому элементу

*IН. РАСЦ ≥ IР*. (1.25)

Автоматический выключатель не должен отключаться в нормальном режиме работы защищаемого элемента, поэтому ток уставки теплового расцепителя должен выбираться из условия

*IН. РАСЦ. Т ≥ (1.1 – 1.3) IР*. (1.26)

Автоматический выключатель не должен отключаться при кратковременных перегрузках, поэтому ток уставки электромагнитного расцепителя должен выбираться из условия

*IН. РАСЦ. Э ≥ (1.25 – 1.35) IПИК*. (1.27)

Характеристики срабатывания автоматических выключателей выбираются в зависимости от пиковых токов электроустановок [3].

Тип А мгновенный расцепитель срабатывает в диапазоне значений от двух до трёх номинальных токов. Применяется в электроустановках с большой протяжённостью электропроводок, а также для защиты полупроводниковых устройств;

Тип В мгновенный расцепитель срабатывает в диапазоне значений от трёх до пяти номинальных токов. Применяется для защиты групп электроприёмников (в жилых зданиях, малых производственных предприятиях);

Тип С мгновенный расцепитель срабатывает в диапазоне значений от пяти до десяти номинальных токов. Применяется для защиты электроприёмников с небольшими пусковыми токами;

Тип D мгновенный расцепитель срабатывает в диапазоне значений от 10 до 20 номинальных токов. Применяется для защиты электроприёмников с большими пусковыми токами.

При выполнении реконструкции электроустановок и при новом строительстве защиты от сверхтока должны соответствовать новым требованиям ПУЭ [5]. При этом характеристики защитных аппаратов и параметры защитных проводников должны быть согласованы, чтобы обеспечивалось нормированное время отключения поврежденной цепи защитно-коммутационным аппаратом. Для автоматического отключения питания могут быть применены защитно-коммутационные аппараты, реагирующие на сверхтоки или на дифференциальный ток.

При выполнении реконструкции электроустановок и при новом строительстве защиты от сверхтока должны соответствовать новым требованиям седьмой редакции ПУЭ [5]. При этом характеристики защитных аппаратов и параметры защитных проводников должны быть согласованы, чтобы обеспечивалось нормированное время отключения поврежденной цепи защитно-коммутационным аппаратом. Для проверки действия защиты от замыкания на землю выполняется расчет зануления в следующем порядке.

Рассчитываются полные сопротивления от трансформатора КТП до наиболее удаленного электроприемника (с учетом выбранных сечений сети по нагрузкам и сопротивления трансформатора). По рассчитанному сопротивлению петли фаза – нуль определяется ток однофазного короткого замыкания *IОКЗ*, А, который определится по формуле

, (1.28)

где *UФ* = 220 В - фазное напряжение сети, В;

*Z∑* - суммарное полное сопротивление цепи КЗ, Ом.

Суммарное полное сопротивление кабельной линии составит, Ом

*ZWK = z0 ∙ L,* (1.29)

где *z0* – удельное сопротивление кабеля, Ом/км;

*L –* длина кабельной линии, км.

Выбранный защитный аппарат проверяется по времени отключения поврежденной цепи. Допустимое время автоматического отключения для системы TN при фазном напряжении *UФ* = 220 В составляет 0,4 с [5]. В цепях, питающих распределительные, групповые, этажные и др. щиты и щитки, время отключения не должно превышать пять секунд [5].

Для проверки действия защиты от замыкания на землю выполняем расчет зануления для группы из девяти ЭП кузнечного отделения, питаемых от силового пункта СП-2. Открытые проводящие части присоединяются к глухозаземленной нейтрали источника питания. В этом случае нарушение изоляции фазных проводников должно вызвать протекание сверхтока и аварийное отключение повреждённой части электроустановки. Для обеспечения нормированного времени отключения поврежденной цепи защитно-коммутационным аппаратом проверим, как согласованы характеристики защитных аппаратов и параметры защитных проводников.

Подсчитываем полное сопротивление однофазного КЗ от трансформатора ТП Депо до наиболее удаленного электроприемника (с учетом выбранных сечений сети по нагрузкам и сопротивления трансформатора).

Например, по плану силовой сети депо определяем, что наиболее удалённым ЭП является вентилятор (ЭП 2), *рН* = 2,7 кВт. По формуле (1.21) определяем, что *IРАСЧ* = 5,4 А. По формуле (1.23) определим, что *IПИК* = 27,0 А. Защита от сверхтока для этого ЭП необходимо выполнить автоматическим выключателем с номинальным током на 10 А.

По плану помещений депо на рисунке 1.3 и по таблице 1.5 определяем, что от ТП Депо до СП №2 проложен кабель марки АВВГ 3×95 + 1×50 длиной *L1* = 190 м. По ПУЭ [4] и схеме сети определяем, что далее от СП-2 к вентилятору необходимо проложить в стальной трубе четыре одножильных алюминиевых провода марки АПРТО длиной *L2* = 25 м с сечением жил 2,5 мм2 с длительно допустимым током *I ДОП*.= 19 А.

По справочной литературе [3] определим полное сопротивление току однофазного короткого замыкания:

- трансформатора КТП-Депо типа ТМ–630/6/,4 с группой соединения обмоток Δ/Y0 - *zТ* = 0, 014 Ом. По формуле (1.29) определяем сопротивление кабеля *z1* = 0,215 Ом; провода *z2* = 0,741Ом.

Сложив сопротивления всех составляющих цепи КЗ определим, что полное сопротивление цепи однофазного КЗ составляет:

- в точке К-1 на шинах о,4 кВ трансформатора, *ZК-1* = 0,014 Ом;

- в точке К-2 на шинах СП-2, *ZК-2* = 0,229 Ом;

- в точке К-3 на открытые проводящие части ЭП №2 *ZК-3* = 0,970 Ом.

По формуле (1.28) определяем ток однофазного короткого замыкания:

- в точке К-1, *IОКЗ* = 220/0,014 = 15714 А;

- в точке К-2, *IОКЗ* = 220/0,229 = 960 А;

- в точке К-3, *IОКЗ* = 220/0,970 = 227 А.

На вводе в СП-2 с максимальным током нагрузки *IМ* = 130 А согласно условиям (1,26), (1,27) выберем автоматический выключатель типа АВМ 4С с *IН.З* = 200 А с тепловым и электромагнитным расцепителем типа «В». Результаты расчёта защит групп ЭП занесём в таблицу 1.6.

Таблица 1.6 - Расчет уставок аппаратов токовой защиты

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Путь питающей сети | Ток группы ЭП *IМ*, А | Ток однофазного КЗ, *IОКЗ*, А | Сечениекабеля, мм2 | Номинальный ток автомата, *IН.З*, А |
| *ТП – СП-1* | 46,0 | 244,0 | 4×16 | 63,0 |
| ТП – СП2 | 130,0 | 960,0 | 3×95 + 1×50 | 200,0 |
| ТП – СП-3 | 35,0 | 163,0 | 4×10 | 50,0 |
| ТП – СП-4 | 29,0 | 160,0 | 4×10 | 50,0 |
| ТП – СП-5 | 17,0 | 104,0 | 4×6 | 32,0 |
| ТП – СП-6 | 46,0 | 314,0 | 4×16 | 80,0 |
| ТП – СП-7 | 52,0 | 272,0 | 4×16 | 100,0 |
| ТП - СП-8 | 144,0 | 955,0 | 3×95 + 1×50 | 200,0 |

Для распределения электрической энергии в депо применим силовые пункты (шкафы) типа ПР 8703. Они комплектуются автоматическими выключателями [3].

Далее необходимо выбрать номинальные токи автоматических выключателей установленных в пунктах распределительных типа ПР-8703 для защиты электроприёмников.

По результатам расчетов составляется таблица 1.7.

Таблица 1.7 – Параметры токовых защит электроприёмников группы питаемой от СП – 2

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ЭП | Наименование | *рН.*,кВт | *I НОМ*,А | Сечениепровода, мм2 | *I ДОП*.провода, А | *IН*. ЗАЩ., А |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 2 | Вентилятор | 2,7 | 5,4 | 2,5 | 19,0 | 10,0 |
| 12 | Вентилятор | 2,2 | 4,4 | 2,5 | 19,0 | 10,0 |
| 11 | Сварочный преобразователь | 28,0 | 54,0 | 16,0 | 55,0 | 63,0 |
| 30 | Пресс | 2,2 | 4,4 | 2,5 | 19,0 | 10,0 |
| 31 | Пресс | 7,8 | 15,6 | 2,5 | 19,0 | 25,0 |
| 55 | Пресс | 20,0 | 40,0 | 16,0 | 55,0 | 63,0 |
| 39 | Молот | 28,0 | 54,0 | 16,0 | 55,0 | 63,0 |
| 40 | Молот | 6,8 | 13,6 | 2,5 | 19,0 | 25,0 |
| 46 | Таль | 5,5 | 11,0 | 2,5 | 19,0 | 16,0 |

## Заключение

В результате расчётов пришли к выводу, что один из трансформаторов питающей подстанции ТП Депо подлежит замене на более мощный. Была определена нагрузкаТП Депо за максимально загруженную смену *Sсм*. В соответствии с полученными данными был выбран трансформатор типа ТМ-630/6/0,4У2. Также по этим данным было выбрано компенсирующее устройство типа УКЛН-0,38-400-50-У3.

Для определения сечения кабелей, питающих силовые пункты, определели максимальную нагрузку ТП Депо. Она составила

1083,7 кВ·А. Для прокладки сети от подстанции ТП – Депо к силовым пунктам внутри депо выбраны кабели типа АВВГ с требуемым для каждого пункта сечением.

Реконструкцию системы электроснабжения локомотивного депо предлагается выполнить:

- с максимальным сохранением оборудования, не выработавшего нормативный срок эксплуатации;

- с применением новых современных электротехнических устройств.

В соответствии с этим положением, питание основной части нагрузок сохраняем от существующей двухтрансформаторной подстанции.

Силовые пункты и распределительные шкафы располагаем в центре электрических нагрузок групп электроприёмников, что позволяет выполнить оптимальную распределительную сеть предприятия. Принято решение заменить распределительные шкафы только пяти силовых пунктов. Выбраны распределительные шкафы типа ПР 8703 – 1064 – УХЛ2.

Токовые защиты низковольтных фидеров выбраны в соответствие с действующими нормативами по условиям электробезопасности и селективности на новой элементной базе.

105

Для совершенствования учёта электроэнергии необходимо проведение комплексной автоматизации с применением компьютерной техники, новых линий передачи данных и электронных многофункциональных счётчиков.В процессе проектирования был осуществлён расчет стоимости реконструкции системы электроснабжения локомотивного депо. В данном расчёте учитывалась стоимость кабеля, необходимого для прокладки сети от подстанции ТП Депо к силовым пунктам внутри депо, а также стоимость распределительных шкафов подлежащих замене. Затраты на реконструкцию составили 913,8563 тысяч рублей.При электроснабжении нетяговых потребителей требуется соблюдение правил электробезопасности, сформированных на базе действующих нормативных документов. В частности в проекте разработана технологическая карта безопасного производства работ при замене комплектной трансформаторной подстанции 6 кВ.Рассмотрены вопросы экологической безопасности в локомотивном депо, мероприятия по снижению вредных выбросов в атмосферу, мероприятия по утилизации отходов депо. Произведён расчёт выбросов оксида олова, свинца и трихлорэтилена, вызванных технологическими процессами в депо.

## Список использованных источников

***106***

1. Поплавский А. Н., Краснов Б. Д., Недачин В. В. Стационарная электроэнергетика железнодорожного узла. – М.: Транспорт, 1986. 279 с.
2. 2 Сборник технических указаний, информационных материалов и руководящих указаний по хозяйству электроснабжения железных дорог, разработанных в 2000 - 2004 годах. ОАО РЖД, - М., "ТРАНСИЗДАТ", 2006 г. –512 с.
3. 3 Справочник по проектированию электроснабжения промышленных предприятий / Под ред. Ю. Г .Барыбина, Л. Е. Федорова, М. Г. Зименкова и др. М.: Энергоатомиздат, 1990. 576 с.
4. 4 Правила устройства электроустановок. 6-е издание. М.: Главгосэнергонадзор России, 1998. 607 с.
5. 5 Правила устройства электроустановок. Седьмое издание. Санкт Петербург.: Издательство ДЕАН, 2002. 176 с.
6. 6 Федеральный закон «Об электроэнергетике» от 26 марта 2003 года
7. № 35 ФЗ.
8. 7 В.К. Чирков Автоматизация учёта электрической энергии в России и за рубежом: Лекции. – РГУПС, - 24 с.
9. 8 Энергетическая стратегия ОАО «РЖД» на период до 2010 года и на перспективу до 2020 года. М. – 2004 г. 77 с., приложения 100 с.
10. Сборник технических указаний, информационных материалов и руководящих документов по хозяйству электроснабжения железных дорог, разработанных в 2004 году / ОАО РЖД. Департамент электрификации и электроснабжения. - М.: Трансиздат, 2005. - 183 с.: ил., табл., прил.
11. Экономика железнодорожного транспорта. Под общ.ред. В.А. Дмитриева. – М.: Транспорт. 1997.
12. Экономика предприятий по ремонту электроподвижного состава и устройств электроснабжения/Под ред. В.А. Дмитриева. - М.: Транспорт, 1983.
13. Прайс – листы фирм, производящих электротехническую продукцию.
14. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках: Учебное пособие для вузов. – 2-еизд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984;
15. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок. – М.: Издательство НЦ ЭНАС, 2001.
16. Сборник материалов по охране труда в хозяйстве электроснабжения железных дорог РФ/Департамент электрификации и электроснабжения МПС РФ. М.: ТРАНСИЗДАТ, 1998.
17. Технологические карты на работы по содержанию и ремонту устройств контактной сети электрифицированных железных дорог. Книга 3. Техническое обслуживание, текущий и капитальный ремонт линейных устройств нетягового энергоснабжения на опорах контактной сети и самостоятельных опорах на обходах. М.: Трансиздат, 2000.
18. Охрана атмосферы и предложения по предельно допустимым выбросам и временно-согласованным выбросам для локомотивного депо на станции Отрожка ЮВЖД.
19. Проект нормативов ПДВ локомотивного депо «Отрожка» ЮВЖД г. Воронеж – 1993 год.
20. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03.
21. Закон РФ «Об охране окружающей среды» №7 ФЗ.
22. Сборник методик по расчёту различными производствами выбросов в атмосферу загрязняющих веществ. Госкомгидромет, 1986 г. 186 с.
23. Методические указания проведения инвентаризации выбросов загрязняющих веществ для автомобильных предприятий. М. 1991 г.