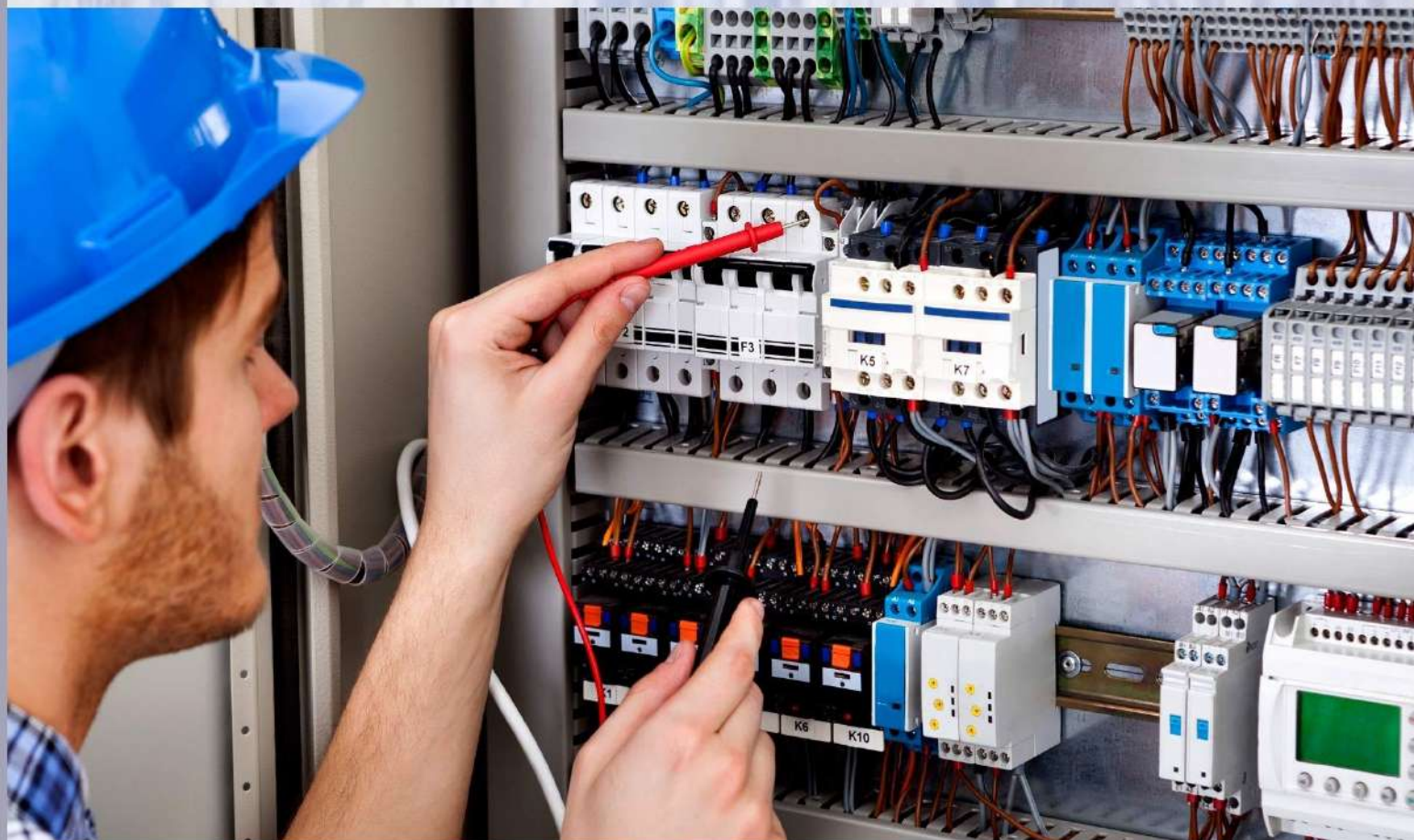


ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ



А.М. Королев
А.А. Таран

ВНУТРЕННЕЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ И ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ

Учебное пособие



ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

А.М. Королев, А.А. Таран

**ВНУТРЕННЕЕ
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ
ПРОМЫШЛЕННЫХ И
ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ**



Учебное пособие

Зерноград
Азово-Черноморский инженерный институт
ФГБОУ ВО Донской ГАУ
2017

УДК 621.311(075.32)

*Издается по решению методической комиссии
по специальностям 08.02.09 Монтаж, наладка и эксплуатация
электрооборудования промышленных и гражданских зданий
Азово-Черноморского инженерного института
ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет»
в г. Зернограде*

Рецензент

д.т.н., профессор кафедры теплоэнергетики и
информационно – управляющих систем Воронин С.М.

Королев, А.М. Внутреннее электроснабжение промышленных и гражданских зданий [Электронный ресурс]: учебное пособие к курсовой работе/ А.М. Королев, А.А. Таран. – Электрон. дан. – Зерноград: Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 2017. – 149 с. – Режим доступа: Локальная сеть Библиотеки Азово-Черноморского инженерного института ФГБОУ ВО Донской ГАУ.

В учебном пособии изложены основные принципы внутреннего электроснабжения промышленных и гражданских зданий и основные методы расчета, приведены примеры и рекомендации по различным схемным и конструктивным решениям системы электроснабжения. В пособии имеются ссылки на литературу, а также приложения со справочными материалами.

Учебное пособие предназначено для обучающихся по специальности 08.02.09 «Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования промышленных и гражданских зданий».

Рассмотрено и одобрено на заседании кафедры
«Электроэнергетика и электротехника».
Протокол № 10 от 06 марта 2017 г.

© Королев А.М., Таран А.А., 2017
© Азово-Черноморский
инженерный институт
ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 2017

СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
<u>ВВЕДЕНИЕ</u>	4
<u>1 ОБЩИЕ ВОПРОСЫ</u>	6
<u>2 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ</u>	8
<u>3 РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ</u> <u>ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ</u>	10
<u>4 РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК</u>	21
<u>5 РАСЧЕТ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ</u> ..	45
<u>6 ПРОВЕРКА СЕТИ НА ЗАПУСК МОЩНОГО</u> <u>ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ</u>	67
<u>7 РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ. ПРОВЕРКА ЗА-</u> <u>ЩИТНОЙ АППАРАТУРЫ НА БЫСТРОДЕЙСТВИЕ И</u> <u>СЕЛЕКТИВНОСТЬ</u>	72
<u>8 ЗАЗЕМЛЕНИЕ ПОДСТАНЦИЙ 10/0,4 кВ И ПОВТОРНОЕ ЗА-</u> <u>ЗЕМЛЕНИЕ НУЛЕВОГО ПРОВОДА СЕТИ 0,38 кВ</u>	82
<u>ЛИТЕРАТУРА</u>	88
<u>ПРИЛОЖЕНИЯ</u>	90

ВВЕДЕНИЕ

Современная система электроснабжения промышленного предприятия должна удовлетворять ряду требований: экономичности и надежности, безопасности и удобству эксплуатации, обеспечению надлежащего качества электроэнергии, уровней напряжения, стабильности частоты и т.п. Должны также предусматриваться кратчайшие сроки выполнения строительно-монтажных работ и необходимая гибкость системы, обеспечивающая возможность расширения при развитии предприятия без существенного усложнения и удорожания первоначального варианта. При этом должны по возможности применяться решения, требующие минимальных расходов цветных металлов и электроэнергии.

Учебное пособие разработано в соответствии с рабочей программой дисциплины «Внутреннее электроснабжение промышленных и гражданских зданий». В соответствии с требованиями ФГОС СПО по специальности 08.02.09 «Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования промышленных и гражданских зданий», выполнение лабораторных работ по данной дисциплине направлено на получение следующих **знаний**:

- номенклатуры наиболее распространенного электрооборудования, кабельной продукции и электромонтажных изделий;
- перечень документов, входящих в проектную документацию;
- основные методы расчета и условия выбора электрооборудования;
- правила оформления текстовых и графических документов.

И формирование следующих **умений**:

- выполнять расчет электрических нагрузок;
- осуществлять выбор электрооборудования на разных уровнях напряжения;
- подготавливать проектную документацию на объект с использованием персонального компьютера;

Получение вышеперечисленных знаний и умений, позволит сформировать у обучающихся следующие **компетенции**:

- ОК 2. Организовывать собственную деятельность, выбирать типовые методы и способы выполнения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество.
- ОК 3. Принимать решения в стандартных и нестандартных ситуациях и нести за них ответственность.
- ОК 4. Осуществлять поиск и использование информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и личностного развития.
- ОК 5. Использовать информационно-коммуникационные технологии в профессиональной деятельности.

- ОК 9. Ориентироваться в условиях частой смены технологий в профессиональной деятельности.
- ПК 2.4. Участвовать в проектировании силового и осветительного электрооборудования.

1 ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

1.1. Цели и задачи

В курсовой работе по «Внутреннее электроснабжение промышленных и гражданских зданий» ставятся следующие цели: закрепление и расширение теоретических знаний и применение их при решении конкретных инженерно-технических задач в практике проектирования внутреннего электроснабжения промышленных и гражданских зданий; развитие творческого мышления студентов и навыков их самостоятельной работы; овладение методикой инженерно-технических расчетов при проектировании внутреннего электроснабжения промышленных и гражданских зданий, а также конкретных машин и установок, применяемых на промышленных предприятиях и предприятиях.

Основной задачей выполнения курсовой работы является разработка рациональной схемы внутреннего электроснабжения объекта, расчет электрических нагрузок на разных уровнях системы электроснабжения, выбор элементов электрической сети, защитной и коммутационной аппаратуры, заземляющих устройств.

1.2. Тематика курсовой работы и исходные данные

В курсовой работе проектируется система электроснабжения цеха общепромышленного назначения.

Исходными данными являются: план цеха с расстановкой технологического оборудования, установленная мощность электроприемников.

1.3. Содержание пояснительной записки курсовой работы

Введение

1 Характеристика объекта электроснабжения.

1.1 Характеристика помещения по условиям окружающей среды

1.2 Классификация электроприемников

2 Разработка принципиальной схемы электроснабжения.

3 Расчет электрических нагрузок.

3.1 Расчет электрических нагрузок отдельных электроприемников

3.2 Расчет электрических нагрузок для группы электроприемников

3.3 Расчет электрической нагрузки освещения

3.4 Расчёт электрических нагрузок на шинах ТП 10/0,4 кВ

3.5 Расчет пиковых нагрузок

4 Расчет распределительной электрической сети

4.1 Выбор типа распределительных устройств и осветительных щитков

4.2 Выбор защитных аппаратов.

4.3 Выбор марок кабелей и шинопроводов. Расчет площади

сечения кабелей и шинопроводов

5 Проверка сети на запуск мощного электродвигателя.

6 Расчет токов короткого замыкания. Проверка защитной аппаратуры на быстродействие и селективность.

7 Расчет защитного заземления.

Литература

1.4. Требования к оформлению расчетно-пояснительной записки и графической части курсовой работы

Расчетно-пояснительная записка курсовой работы, объемом 40-45 страниц быть выполнена в рукописном или машинописном вариантах на листах формата А4 и оформлена в соответствии с существующей ЕСКД.

Текст записки должен быть написан кратко, ясно, грамотно, с соблюдением научно-технической терминологии. Следует избегать повторения однотипных расчетов, описательных материалов, длинных математических выкладок. При многократно повторяющихся однотипных вычислениях можно приводить один полный пример расчета, а остальные расчеты сводить в таблицы.

Графическая часть курсовой работы содержит два листа формата А2, где размещаются план цеха с размещением электроприемников и нанесением силовых сетей, карта селективности, схемы электрические принципиальные ТП 10/0,4 кВ (по заданию).

Все элементы системы электроснабжения выполняются в соответствии с действующими ГОСТами ЕСКД.

2 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

В характеристике объекта электроснабжения приводятся следующие сведения:

- класс производственных помещений в зависимости от характера окружающей среды (табл.п.1.1); характеристика отражающей поверхности стен, потолка, рабочей поверхности или пола: побеленный потолок, стены с окнами, бетонный пол;

- классификация электроприемников:

- а) по общности технологического процесса;

- б) по электротехническим показателям (напряжению, току);

- в) по режиму работы (продолжительный, кратковременный, повторно-кратковременный);

- г) по надежности электроснабжения (первая, вторая, третья категории);

- сведения об источнике электроснабжения промышленного предприятия или сельскохозяйственного объекта.

По общности технологического процесса электроприемники делятся на производственные механизмы (различные металлообрабатывающие, деревообрабатывающие станки, общепромышленные установки (вентиляторы, компрессоры, насосы); подъемнотранспортное оборудование; преобразовательные установки (установки для преобразования трехфазного переменного тока в постоянный, преобразования промышленной частоты 50 Гц в токи частоты отличающейся от 50 Гц; сварочные установки, электронагревательные установки, электролизные установки.

По напряжению электроприемники классифицируют на две группы:

- электроприемники, которые могут получать питание непосредственно от сети 6 и 10 кВ. К этой группе относят крупные электродвигатели, мощные печи сопротивления и дуговые печи для плавки черных и цветных металлов, питаемые через собственные трансформаторы. Следует отметить, что при 10 кВ могут быть изготовлены двигатели мощностью 315 кВт и выше;

- электроприемники, питание которых экономически целесообразно на напряжении 380 - 660 В.

По роду тока различают электроприемники, работающие:

- от сети переменного тока нормальной промышленной частоты (50 Гц);

- от сети переменного тока повышенной или пониженной частоты;

- от сети постоянного тока.

По режиму работы электроприемники делят на три группы, для которых предусматривают три режима работы:

- продолжительный, в котором электроприемники работают в номинальном режиме с продолжительно неизменной или малоизменяющейся нагрузкой. В этом режиме электрический аппарат (машина) может работать длительное время, температура его частей может достигать установившихся значений, без превышения температуры свыше допустимой. Длительно, с неизменной или

маломеняющейся нагрузкой работают электроприводы вентиляторов, насосов, компрессоров, преобразователей, механизмов непрерывного транспорта и т. п. Длительно, но с переменной нагрузкой и кратковременными отключениями, за время которых электродвигатель не успевает охладиться до температуры окружающей среды, а длительность циклов превышает 10 мин, работают электродвигатели, обслуживающие станки холодной обработки металлов и деревообрабатывающие, специальные механизмы литейных цехов, молоты, прессы, ковочные машины кузнечно-прессовых цехов.

– кратковременный режим работы электроприемника (электродвигателя) характеризуется тем, что ЭП работает при номинальной мощности в течение времени, когда его температура не успевает достичь установившегося значения. При отключении (ЭП не работает) его температура успевает снижаться до температуры окружающей среды. В кратковременном режиме работает подавляющее большинство электроприводов вспомогательных механизмов металлорежущих станков, а также механизмов для открывания фрамуг, гидравлических затворов, заслонок и т. п.

– при повторно-кратковременном режиме работы (ПКР) электроприемника кратковременные рабочие периоды с определенной нагрузкой чередуются с паузами (ЭП отключен). Продолжительность рабочих периодов и пауз не настолько велика, чтобы нагрев отдельных частей ЭП при неизменной температуре окружающей среды могли достигнуть установившихся значений. В повторно-кратковременном режиме работают электродвигатели мостовых кранов, тельферов, подъемников и аналогичных им установок, а также сварочные аппараты, для которых характерны постоянные большие броски мощности.

По надежности электроснабжения электроприемники подразделяются на три категории /1/ (таблицы п.1.2, п.1.3, п.1.4):

Электроприемники I категории – электроприемники, перерыв электроснабжения которых может повлечь за собой: опасность для жизни людей, значительный ущерб народному хозяйству, повреждение дорогостоящего основного оборудования; массовый брак продукции, расстройство сложного технологического процесса, нарушение функционирования особо важных элементов коммунального хозяйства.

Из состава электроприемников I категории выделяется особая группа электроприемников – бесперебойная работа которых необходима для предотвращения угрозы жизни людей, взрывов, пожаров и повреждения дорогостоящего основного оборудования.

Электроприемники II категории – электроприемники, перерыв электроснабжения которых приводит к массовому недоотпуску продукции, массовым простоям рабочих, механизмов и промышленного транспорта, нарушению нормальной деятельности значительного количества городских и сельских жителей.

Электроприемники III категории – все остальные электроприемники, не подпадающие под определения I и II категорий.

3 РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ

3.1 Схемы внутреннего электроснабжения предприятия

Системы электроснабжения разделяют на систему внешнего электроснабжения (воздушные линии от подстанции энергосистемы до главной понижающей подстанции ГПП или распределительного пункта ЦРП) и систему внутреннего электроснабжения (распределительные линии от ГПП или ЦРП до цеховых трансформаторных подстанций). Схемы внешнего или внутреннего электроснабжения выполняют с учетом категорий надежности электроприемников, их территориальным размещением, особенностей режима работы потребителей, возможностей дальнейшего расширения производства, удобства обслуживания и т. д.

Электроприемники первой категории должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых источников питания, причем перерыв в электроснабжении допускается только на время автоматического ввода резервного питания, но не более чем на 1 мин /1/.

Независимыми источниками питания являются такие, на которых сохраняется напряжение при исчезновении его на других источниках, питающих эти электроприемники. Согласно /1/ к независимым источникам могут быть отнесены две секции или системы шин одной или двух электростанций или подстанций при соблюдении следующих условий:

- каждая из этих секций или систем шин питается от независимых источников;
- секции шин не связаны между собой или же имеют связь, автоматически отключающуюся при нарушении нормальной работы одной из секций шин.

Для электроприемников, так называемой «особой группы первой категории» кроме двух основных источников питания должен предусматриваться третий независимый источник, достаточный для безаварийной остановки производства. В качестве таких источников могут быть использованы небольшие дизельные электростанции, аккумуляторные батареи и т.п.

Схема электроснабжения электроприемников особой группы первой категории должна обеспечивать /1/:

- постоянную готовность третьего независимого источника и автоматическое его включение при исчезновении напряжения на обоих основных источниках питания;
- перевод независимого источника в режим горячего резерва при выходе из работы одного из двух основных источников питания.

Мощность третьего независимого источника должна быть минимальной, обеспечивающей питание только электроприемников особой группы, необходимой для безаварийной остановки производства. К этим источникам не должны подключаться другие электроприемники.

Электроприемники второй категории рекомендуется обеспечивать от двух независимых источников питания, переключения можно осуществлять не автоматически /1/.

Электроснабжение электропрнемников третьей категории может выполняться от одного источника при условии, что перерывы электроснабжения, необходимые для ремонта и замены поврежденного оборудования, не превышают одних суток /1/.

Большинство промышленных предприятий имеет потребителей первой и второй категорий, поэтому их электроснабжение осуществляется не менее чем по двум линиям электропередачи. Наиболее целесообразны следующие две схемы:

- линии питания закреплены на отдельных опорах и идут по разным трассам;
- каждая подстанция питается от двух цепей линий, подвешенных на разных опорах.

Как исключение питание потребителей первой категории по одной двух-цепной ЛЭП допускается только при отсутствии потребителей, бесперебойная работа которых необходима для безаварийного останова предприятия. Пропускную способность линий выбирают так, чтобы при выходе из строя одной из них оставшиеся обеспечивали бы питание потребителей первой и второй категорий, необходимых для работы основных цехов предприятия. При отсутствии точных данных о мощности потребителей первой и второй категорий пропускную способность линий, остающихся в работе при аварийном режиме, рекомендуется выбирать с обеспечением 60... 80 % всей расчетной нагрузки.

Электрические сети внутри объекта выполняются по магистральным, радиальным или смешанным схемам /2,3,4,5/.

Радиальные схемы распределения электроэнергии применяются в тех случаях, когда пункты приема расположены в различных направлениях от центра питания. Они могут быть двух- или одноступенчатыми. На небольших объектах и для питания крупных сосредоточенных потребителей используются одноступенчатые схемы. Двухступенчатые радиальные схемы с промежуточными РП выполняются для крупных и средних объектов с подразделениями, расположенными на большой территории. При наличии потребителей первой и второй категории РП и ТП питаются не менее чем по двум раздельно работающим линиям. Допускается питание электроприемников второй категории по одной линии, состоящей не менее чем из двух кабелей.

При двухтрансформаторных подстанциях каждый трансформатор питается отдельной линией по блочной схеме линия - трансформатор.

При однотрансформаторных подстанциях взаимное резервирование питания небольших групп приемников первой категории осуществляется при помощи кабельных или шинных перемычек на вторичном напряжении между соседними подстанциями.

Радиальная схема с промежуточным РП. в которой выполнены указанные выше условия, приведена на рисунке 3.1.

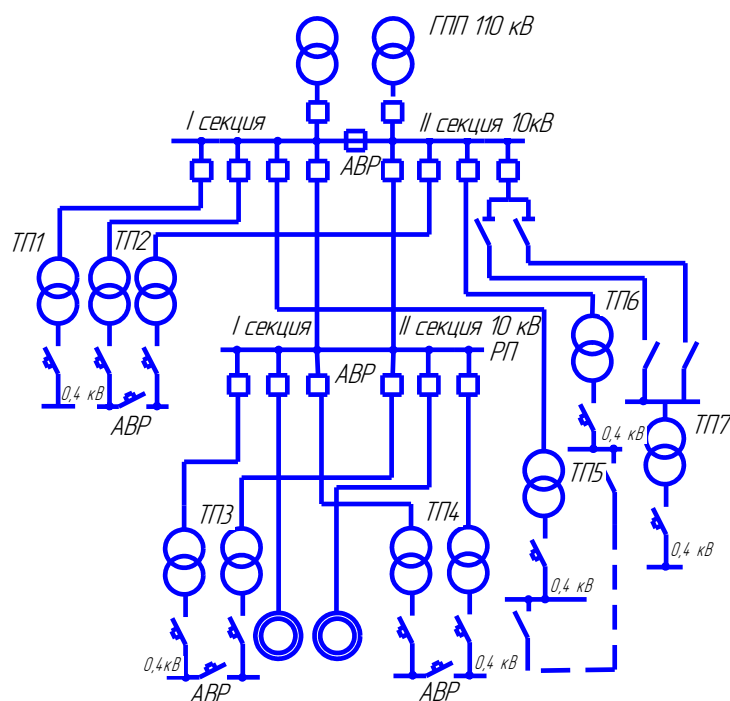


Рисунок 3.1 – Радиальная схема электроснабжения предприятия

Радиальная схема питания обладает большой гибкостью и удобствами в эксплуатации, так как повреждение или ремонт одной линии отражается на работе только одного потребителя.

При радиальной схеме питания глухое присоединение к линии 6-10 кВ идет от распределительной подстанции 4УР (к глухим присоединениям относят и применение штепсельного кабельного разъема) (рисунок 3.5 а). Коммутационный аппарат (разъединитель или выключатель нагрузки в сочетании с предохранителем) перед цеховым трансформатором применяется в следующих случаях: источник питания находится в ведении другой эксплуатирующей организации, подстанция значительно (более 3 м) удалена от источника питания. На стороне 6-10 кВ коммутационный аппарат устанавливают и для создания видимого разрыва (при осмотрах и ремонтных работах).

Подключение через разъединитель с плавкими предохранителями – наиболее дешевый вариант защиты трансформатора 3УР) по сравнению с отдельным выключателем на подстанции 4УР). Эту схему применяют в следующих случаях: ток нагрузки трансформатора отключается аппаратами НН, разъединитель ВН способен отключить ток холостого хода трансформатора: номенклатура плавких предохранителей позволяет выбрать подходящие по номинальному току трансформатора предохранители с требуемой отключающей

способностью токов короткого замыкания; включение и отключение трансформатора производится относительно редко (например, не более нескольких раз в месяц); не требуется дистанционное управление или телеуправление подстанцией, у трансформатора нет защит, требующих в цепи ВН выключателя. Когда необходимо выключение тока нагрузки со стороны ВН вместо разъединителя применяют выключатель нагрузки (в случае частых, например ежедневных коммутаций в цепи трансформатора и при применении сложных защит со стороны ВН трансформатора).

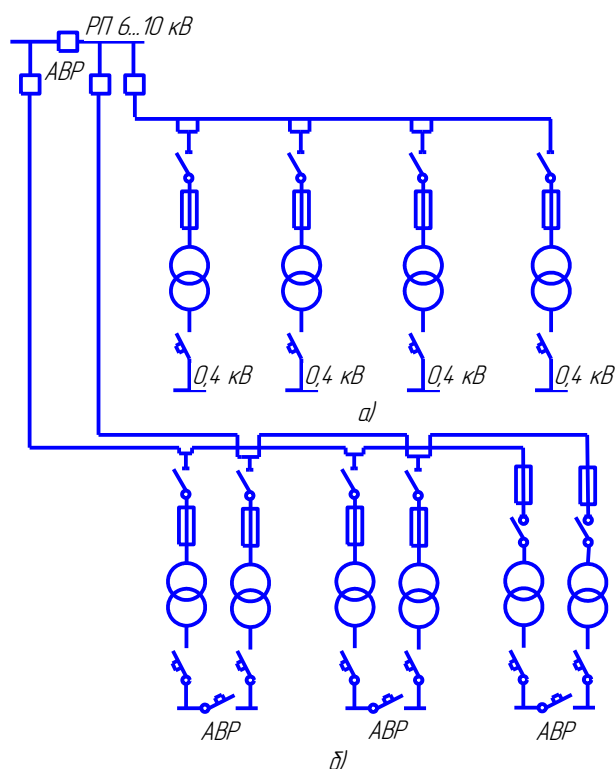
Магистральные схемы напряжением 6... 10 кВ применяются при линейном («упорядоченном») размещении подстанций на территории объекта, когда линии от центра питания до пунктов приема могут быть проложены без значительных обратных направлений. Магистральные схемы имеют следующие преимущества: лучшую загрузку кабелей при нормальном режиме, меньшее число камер на РП. К недостаткам магистральных схем следует отнести усложнение схем коммутации при присоединении ТП и одновременное отключение нескольких потребителей, питающихся от магистрали, при ее повреждении.

Число трансформаторов, присоединяемых к одной магистрали, обычно не превышает двух, -трех при мощности трансформаторов 1000...2500 кВА и четырех, -пяти при мощности 250...630 кВА.

Магистральные схемы выполняются одиночными и двойными, с односторонним и двухсторонним питанием.

Одиночные магистрали без резервирования (рисунок 3.2 а) применяются в тех случаях, когда отключение одного потребителя вызывает необходимость по условиям технологии производства отключения всех остальных потребителей (например, непрерывные технологические линии). При кабельных магистралях их трасса должна быть доступна для ремонта в любое время года, что возможно при прокладке в каналах, туннелях и т.п. Надежность схемы с одиночными магистралями можно повысить, если питаемые ими однострансформаторные подстанции расположить таким образом, чтобы была возможность осуществить частичное резервирование по связям низкого напряжения между ближайшими подстанциями. На рисунке 3.3 показана схема, на которой близко расположенные трансформаторные подстанции питаются от разных одиночных магистралей с резервированием по связям на низком напряжении. Такие магистральные схемы можно применять и для потребителей первой категории, если их мощность не превышает 15...20% от общей нагрузки трансформаторов. Трансформаторы подключаются к разным магистралям, присоединенным к разным секциям РП или РУ.

Схемы с двойными («сквозными») магистралями (рисунок 3.2 б) применяются для питания ответственных и технологически слабо связанных между собой потребителей одного объекта. Установка разъединителей на входе и выходе линии магистрали не требуется.



а) одиночные, б) двойные с резервированием на НН
Рисунок 3.2 – Магистральные схемы с односторонним питанием

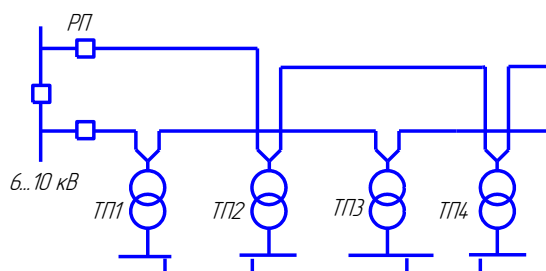


Рисунок 3.3 – Схема одиночных магистралей с частым резервированием по связям вторичного напряжения

Магистральи (рис. 3.4) с двусторонним питанием применяются при питании от двух независимых источников, требуемых по условиям обеспечения надежности электроснабжения для потребителей первой и второй категории. При использовании в нормальном режиме обоих источников производится деление магистрали. Секционные выключатели нормально разомкнуты и снабжены устройством АВР.

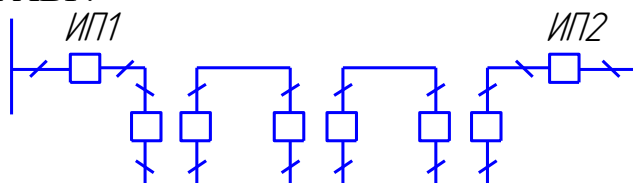


Рисунок 3.4 – Магистральная схема встречная с двухсторонним питанием

При магистральном (кольцевом, петлевом) питании на вводе трансформатора устанавливают: при номинальной мощности $S_n \geq 630$ кВ·А – предохранитель и выключатель нагрузки; при $S_n \leq 400$ кВ·А разъединитель и предохранитель (рис. 3.5 б,в). Для трансформаторов 25-100 кВ·А можно устанавливать лишь один разъединитель.

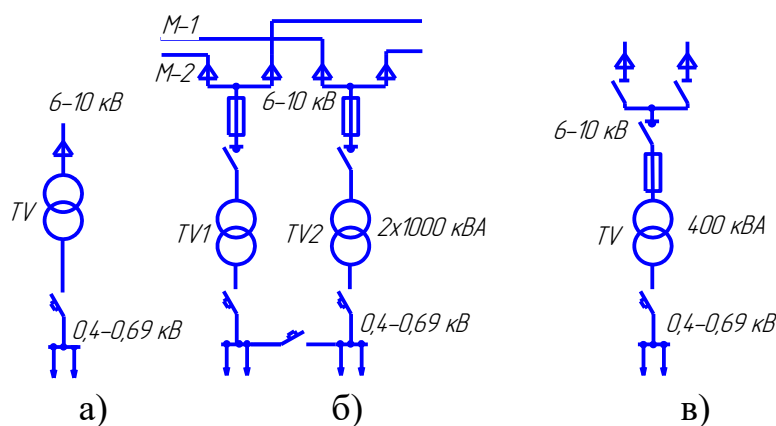


Рисунок 3.5 – Схемы включения трансформаторов в электрическую сеть 6-10 кВ

При магистральной схеме распределения электроэнергии на напряжении 6-10 кВ установка отключающего аппарата не обязательна в следующих случаях:

- если магистраль выполнена воздушной линией и обеспечена достаточная чувствительность защиты на головном участке к повреждениям в трансформаторе;
- если обеспечена необходимая степень резервирования электроприемников (применение схемы двойной магистрали и резервирования на стороне низкого напряжения ТП);
- если на двухтрансформаторной подстанции мощность одного трансформатора достаточна для питания 1 и 2 категории и установлена отключающая аппаратура со стороны низшего напряжения трансформатора;
- секции шин ТП оборудованы устройствами АВР.

Смешанные схемы питания, сочетающие принципы радиальных и магистральных систем распределения электроэнергии, имеют наибольшее распространение на крупных объектах. Так, например, на первом уровне обычно применяются радиальные схемы. Дальнейшее распределение энергии от РП к цеховым ТП и двигателям высокого напряжения на таких объектах производится как по радиальным, так и по магистральным схемам.

В последнее время применяются преимущественно комплектные ТП (КТП). Возможна отдельная установка трансформатора в цехе для непосредственного питания технологического агрегата в отдельной камере или открыто у стены.

Широко применяемые КТП не имеют сборных шин первичного напряжения и отличаются только конструкцией (в зависимости от завода-изготовителя). КТП комплектуют из следующих основных элементов: устройство высокого напряжения – шкаф ВН; трансформатор; распределительное устройство низкого напряжения – шкаф НН с вводным автоматическим выключателем, низковольтные шкафы отходящих линий и шкаф секционного низкого напряжения, обычно осуществляющий АВР. Шкаф ВН представляет собой блок высоковольтного ввода трех типов: ВВ-1 – с глухим присоединением кабеля; ВВ-2 – с присоединением кабеля через разъединитель; ВВ-3 – с присоединением кабеля через разъединитель и предохранитель. В шкафу находится коммутационно-защитный аппарат КТП, тип которого зависит от мощности трансформатора. Выбор выключателя нагрузки или разъединителя в качестве коммутационного аппарата зависит от необходимости отключения холостого хода трансформатора.

Шкафы низкого напряжения КТП комплектуются шкафами типа КРП, КН, ШНВ, ШНЛ, ШНС, ШН и др. Однолинейные схемы КТП с выходом на магистраль показаны на рисунке 3.6, с линейными выключателями – на рисунке 3.7, автоматическими выключателями – на рисунке 3.8.

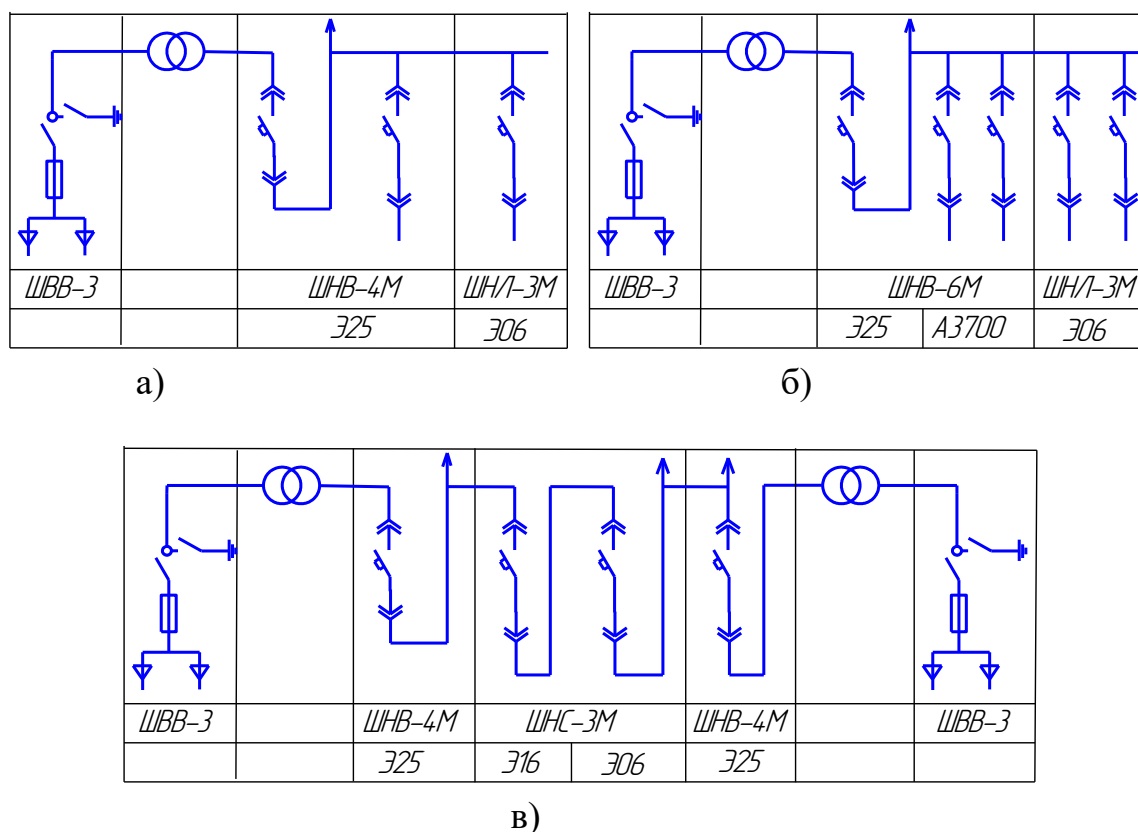


Рисунок 3.6 – Однолинейные схемы КТП с выводом на магистраль

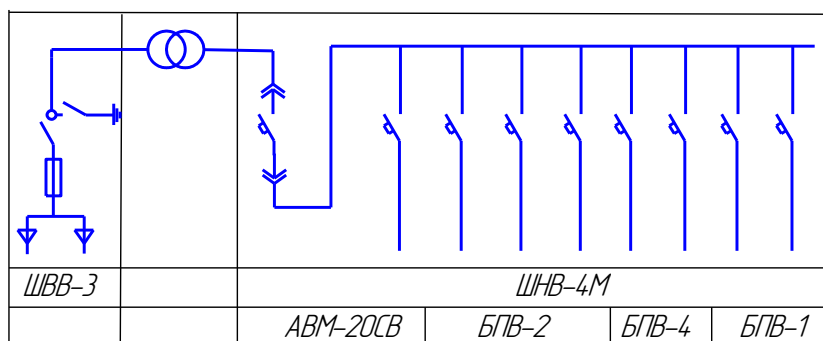


Рисунок 3.7 – Однолинейная схема КТП с линейными выключателями

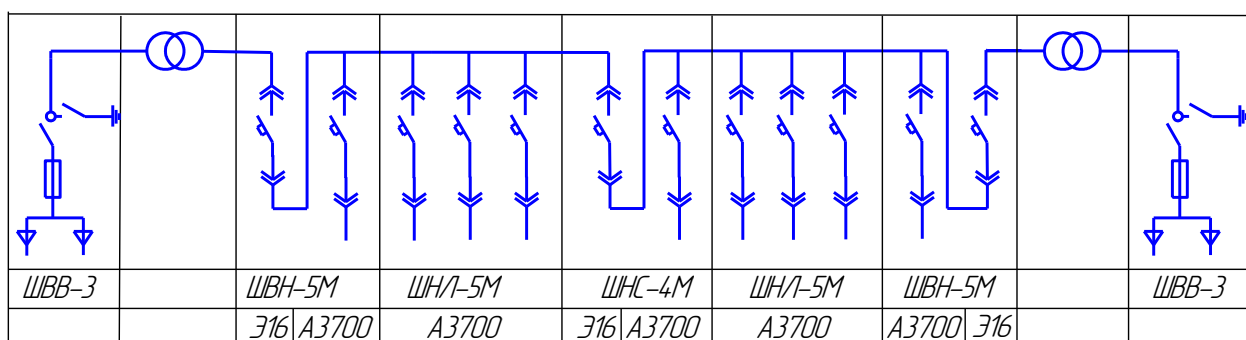


Рисунок 3.8 – Однолинейная схема КТП с автоматическими выключателями

3.2 Схемы цеховых электрических сетей

Схемы цеховых электрических сетей так же бывают радиальными, магистральными и смешанными /2,3,4,5/.

Радиальные схемы питания характеризуются тем, что от источника питания, например от ТП отходят линии, питающие непосредственно мощные электроприёмники или распределительные пункты, от которых самостоятельными линиями питаются более мелкие электроприёмники (рисунок 3.9).

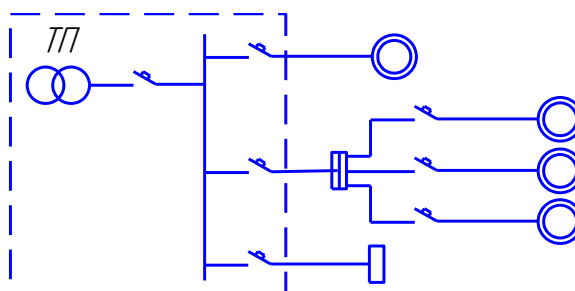


Рисунок 3.9 – Радиальная схема питания электроприёмников

Радиальные схемы обеспечивают высокую надёжность питания, так как аварии отключается только повреждённая линия. Однако такие сети требуют больших капитальных из-за значительного расхода проводников, а так же защитной и коммутационной аппаратуры. Примерами радиальных схем могут

служить насосных или компрессорных станций, а так же сети взрыво и пожара-роопасных помещений и установок.

Магистральные схемы питания применяются многих электроприёмников одного технологического агрегата (рисунок 3.10), а так же большого числа сравнительно мелких электроприёмников не связанных единым технологическим процессом. К таким потребителям относятся металлообрабатывающие станки и другие электроприёмники, распределённые относительно равномерно по площади и цехов.

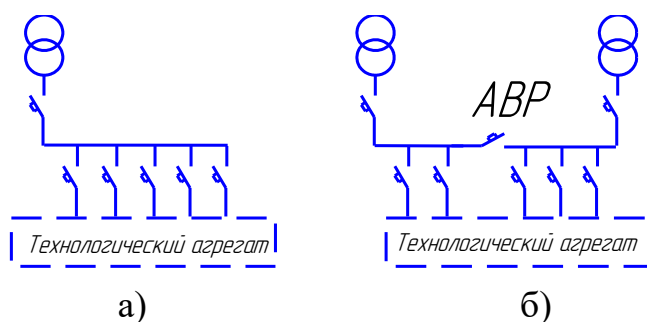


Рисунок 3.10 – Магистральная схема питания электроприёмников
 а) с односторонним питанием электроприёмников
 б) с двухсторонним питанием электроприёмников

Для питания большого числа электроприёмников сравнительно небольшой мощности, относительно равномерно распределённых по площади цеха, применяются схемы с двумя видами магистральных линий: питающими и распределительными. Питающие или главные магистрали подключаются к щитам шкафов трансформатор ТП. Распределительные магистрали, к которым непосредственно подключаются электроприёмники, получают питание от главных питающих магистралей (рисунки 3.11, 3.12) или непосредственно от шин ТП, если главные магистрали не применяются (рисунок 3.13).

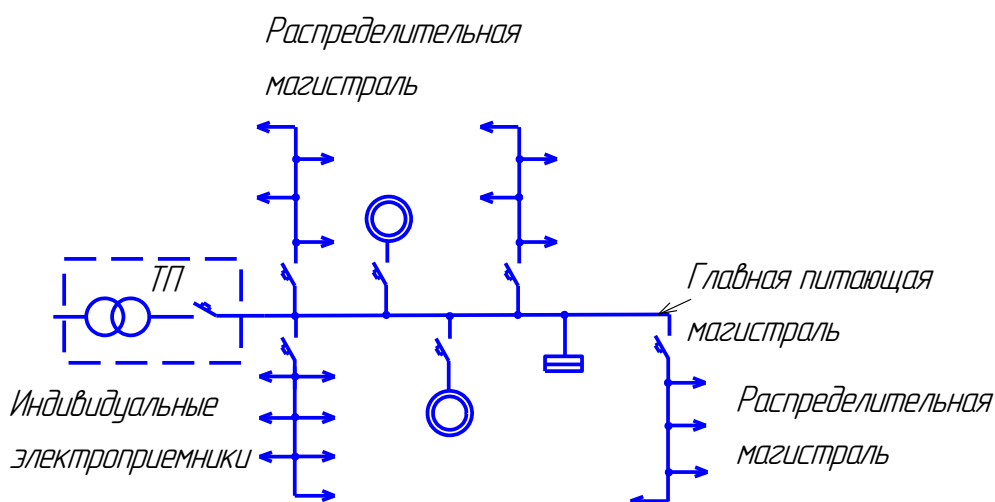


Рисунок 3.11– Схема блока трансформатор–магистраль для однотрансформаторной подстанции

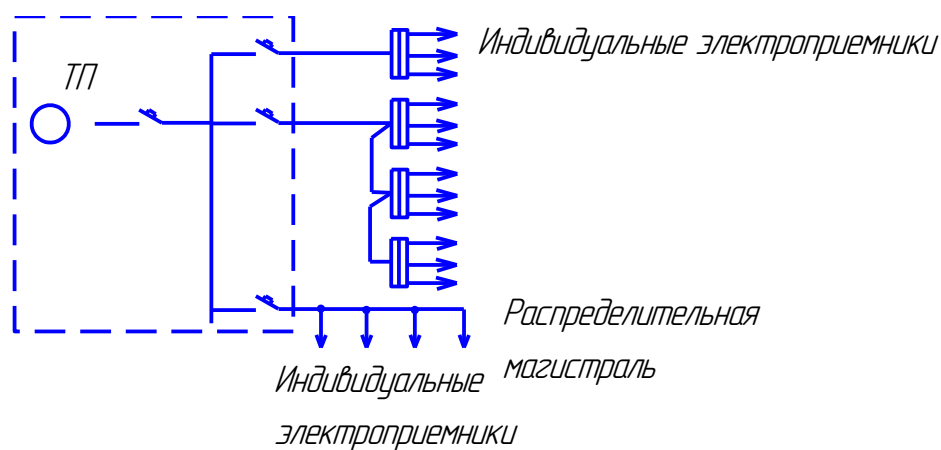


Рисунок 3.14—Смешанная схема питания электроприёмников

С целью уменьшения общего количества шкафов в цехе (отделении) возможно присоединение нескольких приемников небольшой мощности под один зажим (с сохранением управления и защиты каждого), выход на ряд магистрально соединенных ящиков и щитков (рисунок 3.15).

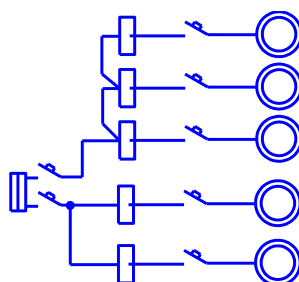


Рисунок 3.15 – Схемы питания электроприемников от одного распределительного пункта

4 РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

При разработке проекта электроснабжения объекта определяют ожидаемые электрические нагрузки на всех уровнях электрической сети. От величины расчетных нагрузок зависят технические характеристики элементов электрической сети: трансформаторов, проводников, коммутационно-защитной аппаратуры и другого электротехнического оборудования. Неточность определения расчетных нагрузок приводит или к перерасходу шин, кабелей, проводников, если ожидаемые нагрузки преувеличены или к низкой надёжности электроснабжения, если ожидаемые нагрузки занижены, т.к. электрооборудование перегревается, что повышает его износ и сокращает срок службы.

4.1 Расчёт электрических нагрузок отдельных электроприёмников

Расчетная мощность P_p , кВт, электродвигателя определяется по формуле

$$P_p = \frac{P_n}{\eta_z} k_z, \quad (4.1)$$

где P_n – номинальная мощность электродвигателя, кВт;

k_z – коэффициент загрузки электродвигателя, о.е. /22/;

η_z – КПД электродвигателя при данной загрузке /19/.

Для агрегата с многодвигательным электроприводом

$$P_p = \sum_{i=1}^n \frac{P_{ni}}{\eta_{zi}} k_{zi},$$

где n – количество электродвигателей.

Коэффициенты загрузки для различных электроприемников принимаются равными /22/:

– Кормоприготовительные машины:

измельчение зерновых 0,8

измельчение сочных кормов и корнеплодов 0,6

измельчение грубых кормов 0,5

– Транспортёры

скребковые 0,7

шнековые 0,4

– Смесители кормов 0,6

– Кормораздатчики 0,5

– Доильные установки 0,8

– Вентиляторы 0,6–0,8

– Навозоуборочные транспортёры 0,5

– Насосы, компрессоры 0,7

- Нагревательные установки 1,0
- Осветительные электроустановки 1,0

При неизвестных коэффициентах загрузки в качестве расчётной активной мощности P_p , кВт, для каждого электроприёмника первого уровня электроснабжения (1УР) с длительным режимом работы принимают его номинальную мощность, т.е. $P_p = P_n$. Для электродвигателя значением КПД и изменением коэффициента мощности пренебрегают. Для электродвигателей повторно-кратковременного режима работы номинальную мощность определяют по паспортной мощности P_i , кВт, путём приведения её к длительному режиму работы по формуле

$$P_n = P_i \sqrt{\frac{PB\%}{100}}. \quad (4.2)$$

Для агрегата с многодвигательным электроприводом как электроприёмника под его номинальной мощностью понимают сумму номинальных мощностей всех электродвигателей агрегата. Тогда

$$P_p = \sum_{i=1}^n P_{ni}, \quad (4.3)$$

где P_{ni} - номинальная мощность одного электродвигателя, кВт;

Расчетная реактивная мощность Q_p , квар, одного электроприёмника равна

$$Q_p = P_p \operatorname{tg} \varphi. \quad (4.4)$$

Расчётная полная мощность S_p , кВ·А равна

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}. \quad (4.5)$$

Расчетный ток I_p , А

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_n}. \quad (4.6)$$

В паспортных данных электродвигателей /19/ приводятся номинальные значения мощности P_n , кВт; тока I_n , А КПД η_i , коэффициенты мощности $\cos \varphi_i$, кратности пускового тока i_i и др. (см. приложение 2).

Если значение номинального тока не указано, то его можно определить по формуле

$$I_n = \frac{P_n \cdot 10^3}{\sqrt{3}U_n \eta_n \cos \varphi_n}, \quad (4.7)$$

где η_n – КПД электродвигателя при номинальной нагрузке в о. е /19/.

Пусковой ток I_{II} , электродвигателя равен

$$I_{\Pi} = I_n i_{\Pi}. \quad (4.8)$$

где i_{Π} – кратность пускового тока, о.е. /19/.

Пример 1. Определить электрические нагрузки вентилятора с приводом от электродвигателя АИР 112М4 : $P_n = 5,5$ кВт, $I_n = 11,3$ А, $\eta_n = 86 \%$, $\cos \varphi = 0,86$, $i_{\Pi} = 6$, $n_n = 1430$ об/мин.

Решение.

Коэффициент загрузки вентилятора $k_3 = 0,8$ для электродвигателей серии АИР в технических данных не приводятся значения η_i при разных коэффициентах загрузки, поэтому η_i определим по формуле (5.15).

Номинальное скольжение электродвигателя

$$s_n = \frac{n_0 - n_n}{n_0} = \frac{1500 - 1430}{1500} = 0,047.$$

Коэффициент формы кривой КПД, рассчитаем по номинальным данным:

$$f_a = \frac{(1 - \eta_n) \cdot (1 - s_n)}{2\eta_n s_n} - 1 = \frac{(1 - 0,86)(1 - 0,047)}{2 \cdot 0,86 \cdot 0,047} - 1 = 0,65.$$

$$\eta_i = \frac{k_3}{k_3 + (f_a + k_3^2) \frac{1 - \eta_n}{\eta_n (f_a + 1)}} = \frac{0,8}{0,8 + (0,65 + 0,8^2) \frac{1 - 0,86}{0,86(0,65 + 1)}} = 0,86$$

Коэффициент мощности $\cos \varphi_i$ рассчитывают как

$$\cos \varphi_i = \sqrt{\frac{1}{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi_n \left[\frac{1 + k_3^2 f_p}{(1 + f_p) \cdot \left(k_3 \eta_n + \frac{(1 - \eta_n) \cdot (f_a + k_3^2)}{1 + f_a} \right)} \right]^2}}. \quad (4.9)$$

где f_p – коэффициент формы кривой $\cos \varphi_i$, определяемый по формуле

$$f_p = \frac{1}{1 - \frac{1}{2 \operatorname{tg} \varphi_n m_k}} - 1 = \frac{1}{1 - \frac{1}{2 \cdot 0,59 \cdot 2,5}} - 1 = 0,51.$$

$$\cos \varphi_i = \frac{1}{1 + 0,59^2 \left[\frac{1 + 0,8^2 \cdot 0,51}{(1 + 0,51) \cdot \left(0,8 \cdot 0,86 + \frac{(1 - 0,86) \cdot (0,65 + 0,8^2)}{1 + 0,65} \right)} \right]^2} = 0,84$$

отсюда $\operatorname{tg} \varphi_i = 0,65$.

Расчетные значения P_p, Q_p и S_p равны

$$P_p = \frac{P_n}{\eta_3} k_3 = \frac{5,5}{0,86} 0,8 = 5,11 \text{ кВт},$$

$$Q_p = P_p \operatorname{tg} \varphi_i = 5,11 \cdot 0,65 = 3,32 \text{ квар},$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{5,11^2 + 3,32^2} = 6,09 \text{ кВт} \cdot \text{А}.$$

Расчетный и пусковой токи:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} U_n} = \frac{6,09 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 9,26 \text{ А}.$$

$$I_{\Pi} = I_n i_{\Pi} = 11,3 \cdot 6 = 67,8 \text{ А}.$$

Расчет сведен в таблицу 1.

Пример 2. Определить электрические нагрузки токарного станка с приводом от электродвигателя АИР 112М4: $P_n = 5,5$ кВт, $I_n = 11,3$ А, $\eta_n = 86\%$, $\cos \varphi = 0,86$, $i_{\Pi} = 6$.

Решение.

Расчетные значения P_p, Q_p и S_p равны

$$P_p = P_n = 5,5 \text{ кВт}; \cos \varphi_n = 0,86 \rightarrow \operatorname{tg} \varphi_n = 0,59.$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi = 5,5 \cdot 0,59 = 3,26 \text{ квар};$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{5,5^2 + 3,26^2} = 6,39 \text{ кВт} \cdot \text{А}.$$

Расчетный и пусковой токи:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_n} = \frac{6,39 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 9,73 \text{ А.}$$

$$I_{II} = I_n i_{II} = 11,3 \cdot 6 = 67,8 \text{ А.}$$

При большом числе электроприёмников расчет электрических нагрузок сводится в таблицу 4.2.

4.2 Расчет электрических нагрузок группы электроприёмников

К узлам питания (силовым пунктам, силовым шкафам, магистралям, шиннопроводам – второй уровень электроснабжения 2УР) подключаются отдельные электроприёмники, образующие группу. Расчетные нагрузки группы электроприемников необходимы для выбора площади сечения проводников, питающих узел нагрузки, силовых пунктов, шкафов, защитных аппаратов.

Если два или три электродвигателя образуют группу, питающуюся по одному проводнику, то за расчётную мощность принимается сумма их номинальных мощностей.

Если имеется сменный или суточный технологический график работы силового, нагревательного или осветительного электрооборудования, то для определения электрических нагрузок группы электроприемников, а также на вводах в отдельное здание и сооружение, строится график электрических нагрузок, из которого определяется полчасовой максимум нагрузки.

При определении расчетных нагрузок построением суточного графика нагрузок сначала составляют вспомогательную расчетную таблицу, в которую заносят данные, необходимые для построения графика: типы машин и механизмов, выполняющих технологические операции, потребляемые из сети электроприемниками максимальные активные и реактивные мощности и длительность работы электроприемников в течение суток. Длительность работы электроприемников заносят в таблицу в виде откладываемых в масштабе горизонтальных отрезков прямых линий. Длительность работы электроприемников, работающих в автоматизированном режиме (вентиляторов, электрокалориферов, проточных водонагревателей и т.п.), принимают равной 24 часам. После этого строят суточные графики электрических нагрузок по оси ординат, которых откладывают в масштабе P_p , Q_p , а по оси абсцисс – также в масштабе – длительность работы электроприемников.

Таблица 4.1

Сводные данные расчета электрических нагрузок отдельных электроприёмников (к примеру 1)

Элек- тро- при- ём- ник	Но- мер по план у	Номинальные параметры электрооборудования								Расчетные значения								
		Тип	P_n , кВ т	n_n , об/ми н	I_n , А	η_n , %	$\cos \varphi_n$	i Π	m_κ	k_z	η_i	$\cos \varphi_i$	$tg \varphi_i$	P_p , кВт	Q_p , квар р	S_p , кВ· А	I_p , А	I_Π , А
Вен- тиля- тор	1	АИР112М 4	5,5	1430	11, 3	86	0,86	6	2. 5	0. 8	0,8 6	0,84	0,6 5	5,1 1	3,32	6,39	9,2 6	67, 8

Таблица 4.2

Сводные данные расчета электрических нагрузок отдельных электроприёмников (к примеру 2)

Электрприём- ник	Номер по плану	Номинальные параметры электрооборудования						Расчетные значения					
		Тип	P_n , кВт	I_n , А	η_n , %	$\cos \varphi_i$	i_{II}	P_p , кВт	$tg \varphi_n$	Q_p , квар	S_p , кВ·А	I_p , А	I_{II} , А
Вентилятор	1	АИР112М4	5,5	11,3	86	0,86	6	5,5	0,59	3,26	6,39	9,73	67,8

Расчетные мощности принимают по получасовому максимуму графика нагрузок. В том случае, если нагрузки, формирующие максимум, по графику делятся менее получаса, то расчетные мощности на вводе принимают по эквивалентным мощностям, которые определяют по формулам

$$P_{p.вс} = P_{\text{э}} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + \dots + P_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}, \quad (4.10)$$

$$Q_{p.вс} = Q_{\text{э}} = \sqrt{\frac{Q_1^2 t_1 + Q_2^2 t_2 + \dots + Q_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}} \quad (4.11)$$

$$S_{p.вс} = S_{\text{э}} = \sqrt{P_{\text{э}}^2 + Q_{\text{э}}^2}, \quad (4.12)$$

где P_1, P_2, P_n – расчетные активные нагрузки электроприемников, длительность которых в сумме не менее получаса, кВт;

Q_1, Q_2, Q_n – расчетные реактивные нагрузки электроприемников, длительность которых в сумме не менее получаса, квар;

t_1, t_2, t_n – длительность нагрузок, ч.

В исключительных случаях при отсутствии технологического графика работы оборудования расчетные нагрузки определяют по формулам

$$P_{p.вс} = \sum_{i=1}^n P_{pi} + \sum_{j=1}^m \frac{P_{pj} \cdot t_j}{0,5}, \quad (4.13)$$

$$Q_{p.вс} = \sum_{i=1}^n Q_{pi} + \sum_{j=1}^m \frac{Q_{pj} \cdot t_j}{0,5}, \quad (4.14)$$

$$S_{p.вс} = \sqrt{P_{p.вс}^2 + Q_{p.вс}^2}, \quad (4.15)$$

где P_{pi}, Q_{pi} – расчетные активные и реактивные нагрузки электроприемников, участвующих в формировании максимальной нагрузки и работающих во время ожидаемого максимума нагрузок более 0,5 часа;

P_{pj}, Q_{pj} – расчетные активные и реактивные нагрузки электроприемников, участвующих в формировании максимальной нагрузки и работающих во время ожидаемого максимума нагрузок менее 0,5 часа;

t_j – длительность нагрузки, ч.

Следует принимать не предельно возможный случай одновременного включения наибольшего числа электроприемников, а наиболее вероятный при нормальной эксплуатации набор электроприемников, формирующих максимум.

При отсутствии технологического графика работы электрооборудования расчетные нагрузки группы, содержащей более трех электроприёмников, рекомендуется определять по средней мощности P_c максимально загруженной

смены и расчетному коэффициенту K_p . Расчетный коэффициент определяется по упорядоченным диаграммам. Поэтому этот метод расчета носит название – метод упорядоченных диаграмм.

Порядок расчета электрических нагрузок по методу упорядоченных диаграмм [2,7]:

– электроприёмники, подключенные к одному узлу питания разбивают на подгруппы. В подгруппу включают электроприёмники, имеющие одинаковый коэффициент мощности $\cos \varphi_j$ и одинаковый режим работы, т.е. одинаковую величину индивидуального коэффициента использования активной мощности $k_{u.j}$ (см. табл. п.3.1, п.3.2). В подгруппу может входить и только один электроприёмник. При формировании подгруппы резервные электроприёмники не учитываются.

- для каждой подгруппы определяют:

а) номинальную мощность $P_{n.j}$, кВт

$$P_{n.j} = \sum_{i=1}^n P_{n.i}, \quad (4.16)$$

где P_{ni} - номинальная мощность i -го электроприёмника, кВт;

n – число электроприёмников, входящих в подгруппу.

б) активную среднюю мощность $P_{c.j}$, для максимально загруженной смены:

$$P_{c.j} = k_{u.j} P_{n.j}. \quad (4.17)$$

в) реактивную среднюю мощность $Q_{c.j}$, квар, для максимально загруженной смены:

$$Q_{c.j} = P_{c.j} \operatorname{tg} \varphi_j, \quad (4.18)$$

где $\operatorname{tg} \varphi_j$ - коэффициент реактивной мощности, соответствующий средневзвешенному коэффициенту мощности $\cos \varphi_j$, характерному для данной подгруппы электроприёмников.

- определяют номинальную $P_{n.г}$, среднюю активную P_c , среднюю реактивную Q_c мощности и $\operatorname{tg} \varphi_c$ группы потребителей для максимально загруженной смены:

$$P_{n.г} = \sum_{j=1}^k P_{n.j}, \quad (4.19)$$

$$P_c = \sum_{j=1}^k P_{c.j}, \quad (4.20)$$

$$Q_c = \sum_{j=1}^k Q_{c.j}, \quad (4.21)$$

где k – число подгрупп электроприёмников в группе.

$$\operatorname{tg} \varphi_c = \frac{Q_c}{P_c}. \quad (4.22)$$

- определяют групповой коэффициент использования активной мощности по формуле

$$K_u = \frac{P_c}{P_{н.г}}. \quad (4.23)$$

- определяют число эффективных электроприёмников в группе. Эффективное число электроприёмников это такое число однородных по режиму работы электроприёмников одинаковой мощности, которое обуславливает те же значения расчетной нагрузки, что и группа электроприёмников с разными мощностями и различными режимами работы.

Эффективное число электроприёмников $n_{\text{э}}$ в группе из $n_{\text{г}}$ электроприёмников:

$$n_{\text{э}} = \frac{(\sum_{i=1}^{n_{\text{г}}} P_{н.i})^2}{\sum (P_{н.i})^2}. \quad (4.24)$$

При определении $n_{\text{э}}$ для многодвигательных приводов учитываются все одновременно работающие электродвигатели данного вида. Если в числе этих электродвигателей имеются одновременно включаемые (с идентичным режимом работы), то они учитываются в расчетах как один электроприёмник с номинальной мощностью равной сумме номинальных мощностей одновременно работающих электродвигателей.

При значительном числе электроприёмников в группе допускается $n_{\text{э}}$ определять упрощенными способами:

1) принимать значение эффективного числа электроприёмников равным действительному числу электроприёмников в группе при условии что значение номинальной активной мощности наиболее мощного электроприёмника $P_{н.max}$ к номинальной мощности наименее мощного $P_{н.min}$ менее трёх. Для определения этого условия рассчитывается модуль сборки

$$m = \frac{P_{н.max}}{P_{н.min}}. \quad (4.25)$$

Допускается при определении m исключать мелкие электроприемники, суммарная номинальная мощность которых не превышает 5 % от номинальной

мощности $P_{н.г}$. Число этих мелких электроприемников также не учитывается при определении $n_э$.

2) при $m > 3$ и $K_u \geq 0,2$ эффективное число электроприемников определяют по формуле

$$n_э = \frac{2P_{н.г}}{P_{н.мах}}. \quad (4.26)$$

Полученное по указанной формуле значение эффективного числа электроприёмников округляется до ближайшего меньшего целого числа.

3) при $m > 3$ и $K_u \leq 0,2$ эффективное число электроприёмников в группе определяют как произведение относительного эффективного числа электроприёмников $n_{*э}$ и общего числа электроприемников $n_г$

$$n_э = n_{*э} n_г. \quad (4.27)$$

Относительное эффективное число электроприёмников определяется по табл. п.3.3 в зависимости от $n_* = \frac{n'_г}{n_г}$ и $P_* = \frac{P_{н'г}}{P_{н.г}}$,

здесь $n'_г$ - число электроприемников в группе с единичной мощностью более

или равной $\frac{P_{н.мах}}{2}$;

$P_{н'г}$ - суммарная номинальная мощность электроприёмников в

группе с единичной мощностью большей или равной.

– определяют расчетный коэффициент K_p в зависимости от средневзвешенного коэффициента использования K_u и эффективного числа электроприёмников $n_э$ групп. Значение расчетного коэффициента определяется по кривым этой зависимости или по таблицам с учетом постоянной времени нагревания сети, для которой рассчитываются электрические нагрузки.

Для сетей напряжением до 1 кВ, питающих распределительные пункты и шинопроводы, щиты, сборки постоянная времени равна 10 мин ($T_0 = 10$ мин), значения расчетного коэффициента активной мощности K_p принимаются по табл. п.3.4.

– расчетная активная мощность P_p , кВт, группы электроприёмников, подключенных к одному узлу питания определяется по формуле

$$P_p = K_p P_c. \quad (4.28)$$

При числе электроприемников в группе больше трех, но при эффективном их числе меньше четырех, расчетная нагрузка принимается равной сумме

произведений номинальных мощностей на характерные для этих приемников коэффициенты загрузки k_3 , т.е.

$$P_p = \sum_1^{n_2} P_{н.и} k_3. \quad (4.29)$$

При отсутствии данных о k_3 и $\cos \varphi_n$ могут быть приняты их средние значения: для электроприемников с длительным режимом работы соответственно 0,9 и 0,8, а для электроприемников с ПКР соответственно 0,75 и 0,7.

При $n_3 > 200$ или любых значениях K_u , а также при $K_u > 0,7$ и любых значениях n_3 расчетную мощность допускается принять равной средней за наиболее загруженную смену.

Для электроприемника с практически постоянным графиком нагрузки расчетная активная нагрузка принимается равной средней мощности за наиболее загруженную смену:

$$P_p = P_c. \quad (4.30)$$

При наличии в расчетном узле электроприемников как с переменным, так и с практически постоянным графиком расчетные нагрузки этих электроприемников определяют отдельно, а суммарная расчетная нагрузка по узлу в целом – сложением максимальной нагрузки электроприемника с переменным графиком P_{p1} со средней нагрузкой с практически постоянным графиком P_{p2} :

$$P_p = P_{p1} + P_{p2}. \quad (4.31)$$

В тех случаях, когда мощность электроприемника с практически постоянным графиком нагрузки составляет менее 25 % суммарной мощности всех электроприемника расчетного узла, общую расчетную нагрузку следует определять как для электроприемников с переменным графиком нагрузки. Если мощность электроприемника с переменным графиком нагрузки составляет менее 25 % суммарной мощности всех электроприемника расчетного узла, то расчетная нагрузка определяется, как для электроприемника с постоянным графиком.

Расчетная реактивная мощность Q_p , квар, принимается равной:

$$\text{при } n_3 \leq 10 \quad Q_p = 1,1 Q_c, \quad (4.32)$$

$$\text{при } n_3 > 10 \quad Q_p = Q_c. \quad (4.33)$$

Расчетная полная мощность S_p , кВА, равна

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}. \quad (4.34)$$

Расчетный ток I_p , А:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} U_n}. \quad (4.35)$$

Электрические нагрузки электроприемников однофазного тока должны быть распределены равномерно по фазам.

Однофазные электроприемники, включенные на фазные и линейные напряжения и распределённые по фазам с неравномерностью не выше 15% по отношению к общей мощности трехфазных и однофазных электроприёмников в группе, учитываются как трехфазные электроприёмники той же суммарной мощности. Если неравномерность превышает 15%, условная трехфазная номинальная мощность принимается равной утроенной величине нагрузки наиболее загруженной фазы.

При числе однофазных ЭП до трёх с достаточной для практических целей мощностью $P_{ну}$ определяется следующими способами:

- при включении ЭП на фазное напряжение по формуле

$$P_{ну} = 3P_{нмф} \quad (4.36)$$

или

$$P_{ну} = 3S_{насп} \sqrt{ПВ} \cos \varphi_{насп} = 3P_{нмф}, \quad (4.37)$$

где $P_{ну}$ - условная трехфазная номинальная мощность, кВт;

$P_{нмф}$ - номинальная мощность максимально нагруженной фазы, кВт;

$S_{насп}$ - паспортная мощность, кВт;

$ПВ$ – относительная продолжительность включения в долях единицы;

- при однофазных электроприёмниках на линейное напряжение условная трехфазная номинальная мощность $P_{ну}$ при количестве электроприёмников от одного до трех, включенных по возможности равномерно в разные плечи трехфазной системы, определяется по формулам:

- при одном электроприёмнике –

$$P_{ну} = \sqrt{3}P_n, \quad (4.38)$$

- при двух или трёх электроприёмниках –

$$P_{ну} = 3P_{нмф}, \quad (4.39)$$

где $P_{нмф}$ - номинальная мощность электроприёмников наиболее загруженной фазы, кВт.

При числе однофазных ЭП более трех и одинаковых значениях K_U и $\cos \varphi$, включенных на фазное и линейное напряжение, максимальная расчетная нагрузка определяется по формуле

$$P_m = 3K_U K_m P_{рмф}, \quad (4.40)$$

где $P_{рмф}$ - номинальная мощность наиболее загруженной фазы, кВт.

Величина n_ε при определении K_m для однофазных ЭП определяется по формуле

$$n_{\text{э}} = \frac{2 \cdot \sum_I^n P_{\text{но}}}{3 \cdot P_{\text{но max}}}, \quad (4.41)$$

где $\sum_I^n P_{\text{но}}$ - сумма номинальных мощностей однофазных ЭП данного расчетного узла, кВт;

$P_{\text{но max}}$ - номинальная мощность наибольшего ЭП однофазного тока, кВт.

Если число однофазных электроприёмников с различными K_U и $\cos \varphi$ более трех и при включении их на фазные и линейные напряжения они распределяются по фазам по возможности равномерно, то определяются средние нагрузки за наиболее загруженную сменяя по каждой фазе.

Общая средняя нагрузка отдельных фаз определяется суммированием средних однофазных нагрузок данной фазы (фаза – нуль) и однофазных нагрузок, включенных на линейное напряжение с соответствующим приведением последних к нагрузкам одной фазы и фазному напряжению с использованием таблицы. Например, для фазы а будем иметь

$$P_{\text{см}(a)} = K_U P_{\text{ав}} \rho_{(ав)a} + K_U P_{\text{са}} \rho_{(са)a} + K'_U P_{\text{ао}}, \quad (4.42)$$

$$Q_{\text{см}(a)} = K_U P_{\text{ав}} \rho_{(ав)a} + K_U P_{\text{са}} \rho_{(са)a} + K'_U P_{\text{ао}}, \quad (4.43)$$

где $P_{\text{ав}}, P_{\text{ас}}$ - нагрузки, присоединенные на линейное напряжение соответственно между фазами ав и ас;

$P_{\text{ао}}, Q_{\text{ао}}$ - нагрузки, присоединенные на напряжение фазы а (между фазным и нулевым проводами);

$\rho_{(ав)a}, P_{\text{са}(a)}, q_{(ав)a}, q_{\text{са}(a)}$ - коэффициенты приведения нагрузок, включенных на линейное напряжение и к фазе а;

K_U, K'_U - коэффициенты использования по активной мощности однофазных приёмников различного режима работы.

Аналогично определяются средние однофазные нагрузки для фазы в и с, находится наиболее загруженная фаза по активной мощности, например фаза с, а затем эквивалентная трехфазная нагрузка от однофазных электроприёмников

$$P_{\text{см}} = 3P_{\text{см}(с)} \text{ и } Q_{\text{см}} = 3Q_{\text{см}(с)}, \quad (4.44)$$

Средневзвешенное значение K_U определяется для этой же наиболее загруженной фазы как

$$K_U = \frac{P_{\text{см}(с)}}{\left[\frac{P_{\text{ас}} + P_{\text{вс}}}{2} + P_{\text{со}} \right]}, \quad (4.45)$$

Эффективное число электроприёмников определяется по (4.41).

Таблица 4.3 – Коэффициенты приведения однофазной нагрузки, включенной на линейное напряжение, к нагрузке, отнесенной к одной фазе трехфазного тока и фазному напряжению

Коэффициенты приведения	Коэффициенты мощности нагрузки								
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,65	0,7	0,8	0,9	1,0
$P_{(ав)а}, P_{(вс)в}, P_{(ас)а}$	1,4	1,17	1,0	0,89	0,84	0,8	0,72	0,64	0,5
$P_{(ав)в}, P_{(вс)с}, P_{(ас)а}$	-0,4	-0,17	0	0,11	0,16	0,2	0,28	0,36	0,5
$q_{(ав)а}, q_{(вс)в}, q_{(ас)а}$	1,26	0,86	0,58	0,38	0,3	0,22	0,09	-0,05	-0,29
$q_{(ав)в}, q_{(вс)с}, q_{(ас)а}$	2,45	1,44	1,16	0,96	0,88	0,8	0,67	0,53	0,29

Пример 3. Рассчитать электрические нагрузки на вводе коровника на 200 коров. Осветительная нагрузка составляет $P_{р.о}=10,83$ кВт, $Q_{р.о}=3,11$ квар, во время доения – $P=19,81$ кВт, $Q=8,48$ квар. мощность водонагревателей 12 кВт, и 18 кВт. Время раздачи корма 0,19 ч, остальные электроприемники работают более 0,5 ч.

Сводные данные расчета электрических нагрузок отдельных электроприемников коровника на 200 голов приведены в табл. 4.4.

Решение.

Расчетная нагрузка на вводе коровника возможна при одновременной работе следующих электроприемников:

- 1) Светильники, вентиляторы, кормораздатчики, водонагреватели

$$P_{р.вс1} = 10,83 + 11,84 + 18 + 12 + 20,4 \cdot \frac{0,19}{0,5} = 60,49 \text{ кВт},$$

$$Q_{р.вс1} = 3,11 + 8,21 + 14,92 \cdot \frac{0,19}{0,5} = 6,85 \text{ квар},$$

$$S_{р.вс1} = \sqrt{60,49^2 + 6,85^2} = 60,87 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

- 2) Светильники, вентиляторы, доильная установка, водонагреватели

$$P_{р.вс2} = 19,81 + 11,84 + 8,75 + 12 + 18 = 70,4 \text{ кВт},$$

$$Q_{р.вс2} = 8,48 + 8,21 + 5,7 = 22,39 \text{ квар},$$

$$S_{р.вс2} = \sqrt{70,4^2 + 22,39^2} = 73,87 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

Следовательно на вводе коровника $S_{р.вс} = 73,87 \text{ кВ} \cdot \text{А}$, $P_{р.вс} = 70,4 \text{ кВт}$, $Q_{р.вс} = 22,39 \text{ квар}$.

Таблица 4.4 – Сводные данные расчета электрических нагрузок отдельных электроприемников коровника на 200 ГОЛОВ

Наименование электроприемников	Кол-во	Каталожные данные электродвигателя					k_z	η_z	$\cos \varphi_z$	P_p , кВт	S_p , кВт·А	Q_p , квар
		Тип	P_n , кВт	η_n	$\cos \varphi_n$	I_n						
Вентилятор тепло-генератора ТГ-75	2	4A112M4Y3	5,5	0,855	0,85	7	0,8	0,86	0,81	5,1	6,32	3,75
Вентилятор Ц4 №3	2	4A71B4Y3	0,75	0,7	0,75	4,5	0,8	0,73	0,65	0,82	1,26	0,75
Вакуумный насос	2	4A100S4Y3	3	0,82	0,83	6	1	0,82	0,83	3,66	4,4	2,45
Молочный насос	1	4A71B2Y3	1,1	0,77	0,87	5,5	1	0,77	0,87	1,43	1,64	0,8
Навозоуборочный транспортер ТСН-160:												
– горизонтальный	2	4A112M6Y3	4,0	0,82	0,81	6	0,5	0,82	0,62	2,44	3,93	3,07
– наклонный	2	4A80B4Y3	1,5	0,77	0,83	5	0,5	0,78	0,63	0,96	1,53	0,65
Установка для УФ-облучения УО-4М	4	4A71A6Y3	0,37	0,64	0,69	4	0,75	0,64	0,58	0,43	0,75	0,62
Насос системы поения	1	4A63A2Y3	0,37	0,7	0,86	4,5	0,8	0,72	0,8	0,41	0,51	0,3
Кормораздатчик РВК-Ф-74	4	4A112M4Y3	5,5	0,855	0,85	7	0,8	0,86	0,81	5,1	6,32	3,75

Пример 4. Рассчитать электрические нагрузки группы электроприёмников, подключенных к силовому распределительному пункту. Наименование электроприёмников и номинальные мощности приведены в табл.4.5.

Таблица 4.5 – Наименование и номинальные мощности электроприёмников

Наименование электроприёмников	Количество	Номинальная мощность электроприёмника P_n , кВт
Токарный станок	2	5,5+2,2+1,1
Сверлильный станок	2	3
Кран-балка ПВ=40%	1	15+2,2
Вентилятор	1	4
Электрическая печь	1	12
Сварочный трансформатор	1	36 кВА

Решение.

Для всех электроприёмников по табл. п.3.1 определяем $\cos \varphi$ и соответственно $\operatorname{tg} \varphi$.

Электродвигатели кран-балки работают в повторно-кратковременном режиме с ПВ=40%. Суммарная номинальная мощность электродвигателей равна

$$P_n = P_n \sqrt{\frac{\text{ПВ}\%}{100}} = 17,2 \sqrt{\frac{40}{100}} = 10,88 \text{ кВт.}$$

Номинальная активная мощность сварочного трансформатора равна:

$$P_n = S_n \cos \varphi = 36 \cdot 0,35 = 12,6 \text{ кВт.}$$

Разбиваем электроприёмники на подгруппы и записываем их наименования и паспортные данные в таблицу

Первая подгруппа металлообрабатывающие станки с

$$k_u = 0,14, \cos \varphi = 0,5, \operatorname{tg} \varphi = 1,73.$$

Для электроприёмников этой подгруппы:

$$P_{n.j} = \sum_{i=1}^n P_{n.i} = 2(5,5 + 2,2 + 1,1) + 2 \cdot 3 = 23,6 \text{ кВт;}$$

$$P_{c.j} = k_{uj} \cdot P_{nj} = 0,14 \cdot 23,6 = 3,3 \text{ кВт;}$$

$$Q_{c.j} = P_{c.j} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 3,3 \cdot 1,73 = 5,71 \text{ квар.}$$

Для электроприёмников остальных подгрупп расчет выполняется аналогично и сводится в табл. 4.6.

Для электроприёмников группы получили:

$$P_{n.\Sigma} = \sum_1^K P_{n.j} = 23,6 + 10,88 + 4 + 12 + 12,6 = 63,08 \text{ кВт,}$$

Таблица 4.6 – Сводные данные расчета электрических нагрузок для группы электроприемников

№ п/п	Наименование узлов питания и подгрупп электроприемников	Количество электроприемников n	Номинальная мощность при ПВ 100%, Р _н , кВт		Модуль силовой сборки m	Коэффициент использования		cosφ	tgφ
			Минимальная–максимальная одного электроприемника	общая		к _и	К _и		
1	ПР1								
2	Металлообрабатывающие станки	4	1,1-5,5	23,6	-	0,14	-	0,5	1,73
3	Кран-балка	1	2,2-15	10,88	-	0,1	-	0,5	1,73
4	Вентилятор	1	4	4	-	0,6	-	0,8	0,75
5	Электрическая печь	1	12	12	-	0,75	-	0,95	0,33
6	Сварочный трансформатор	1	12,6	12,6	-	0,2	-	0,4	2,2
7	Итого	8	1,1-12,6	63,08	11,45	-	0,29	0,71	0,98

Продолжение таблицы 4.7

№ п/п	Средняя мощность за максимально загруженную смену		Эффективное число электроприемников n _э	Расчетный коэффициент К _р	Максимальная расчетная мощность			Расчетный ток, I _р , А
	Р _с , кВт	Q _с , квар			Р _р кВт	Q _р квар	S _р кВ·А	
1								
2	3,24	5,61						
3	1,088	1,88						
4	2,4	1,8						
5	9	2,97						
6	2,88	6,34						
7	18,31	17,9	10	1,13	20,69	19,70	28,57	43,45

$$P_c = \sum_{j=1}^{\kappa} P_{c,j} = 3,3 + 1,088 + 2,4 + 9 + 2,52 = 18,31 \text{ кВт},$$

$$Q_c = \sum_{j=1}^{\kappa} Q_{c,j} = 5,72 + 1,88 + 1,8 + 2,97 + 5,54 = 17,91 \text{ квар},$$

$$m = \frac{P_{н. \max}}{P_{н. \min}} = \frac{12,6}{1,1} = 11,45 > 3,$$

$$n_y = \frac{2 \sum_{i=1}^{n_y} P_{hi}}{P_{н. \max}} = \frac{2 P_{н2}}{P_{н. \max}} = \frac{2 \cdot 63,08}{12,6} = 10,$$

Следовательно в период максимального (30 мин) потребления электроэнергии работает восемь электроприёмников с средним коэффициентом использования

$$K_u = \frac{P_c}{P_n} = \frac{18,31}{63,08} = 0,29.$$

При $n_y = 10$ $K_u = 0,29$ расчетный коэффициент равен $K_p = 1,13$.

Тогда

$$P_p = K_p P_c = 1,13 \cdot 18,31 = 20,69 \text{ кВт},$$

$$Q_p = 1,1 Q_c = 1,1 \cdot 17,91 = 19,7 \text{ квар},$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{20,69^2 + 19,7^2} = 28,57 \text{ кВт} \cdot \text{А},$$

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} U_n} = \frac{28,57 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 43,45 \text{ А},$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{Q_c}{P_c} = \frac{17,91}{18,31} = 0,98,$$

$$\cos \varphi = 0,71.$$

4.3 Расчет электрической нагрузки освещения

Расчетная мощность осветительной установки $P_{p.o}$, кВт, определяется по формуле

$$P_{p.o} = \kappa_c \sum_{i=1}^n P_{ycmi}, \quad (4.46)$$

где κ_c – коэффициент спроса;

$P_{уст i}$ – установленная мощность светильников в i -м помещении, кВт;

n – число помещений в здании.

При отсутствии данных обследования κ_c принимают равным /8/:

- для мелких производственных зданий..... 1
- для производственных зданий, состоящих из отдельных
крупных пролетов..... 0,95
- для производственных зданий, состоящих из большого
числа отдельных помещений..... 0,8.

Если в помещении установлены светильники с газоразрядными лампами, то установленная мощность, $P_{уст i}$, кВт, равна:

$$P_{уст i} = 1,2 P_{л} n_{л} N_{\Sigma} 10^{-3}, \quad (4.47)$$

где $P_{л}$ – мощность газоразрядной лампы, Вт;

$n_{л}$ – количество ламп в светильнике, шт;

N_{Σ} – количество светильников в помещении, шт.

Если в помещении установлены светильники с лампами накаливания, то установленная мощность, $P_{уст i}$, кВт, равна:

$$P_{уст i} = P_{лн} N_{\Sigma} 10^{-3}. \quad (4.48)$$

Коэффициент мощности светильников с лампами накаливания равен единице, коэффициент мощности светильников с газоразрядными лампами зависит от количества ламп в светильнике. Для одноламповых светильников $\cos \varphi = 0,85$, для двухламповых светильников $\cos \varphi = 0,9$ /1/.

Реактивная мощность, потребляемая из сети светильниками с газоразрядными лампами, $Q_{p.o}$, квар, определяется по формуле

$$Q_{p.o} = \sum_{i=1}^n P_{уст i} \operatorname{tg} \varphi_i. \quad (4.49)$$

4.4 Расчёт электрических нагрузок на шинах ТП 10/0,4 кВ

Расчёт силовых электрических нагрузок, создаваемых группой электроприёмников напряжением до 1 кВ на шинах ТП 10/0,4 кВ (третий уровень электроснабжения ЗУР) питающей объект производится:

- по номинальной мощности и коэффициенту спроса, при известной установленной мощности объекта в целом;
- по методу упорядоченных диаграмм, при известных исходных данных отдельных электроприёмников.

Расчётные нагрузки на данном уровне электроснабжения необходимы для выбора: число и мощности трансформаторов, сечения шин распределительного устройства низшего напряжения ТП; коммутационных и защитных аппаратов; устройств релейной защиты.

Расчёт электрических нагрузок по методу упорядоченных диаграмм подробно изложен в предыдущем параграфе. Значения коэффициентов расчетной нагрузки K_p на шинах низшего напряжения цеховых трансформаторов и магистральных шинопроводов (для постоянной времени нагрева $T_0=2,5\ldots 3$ ч) определяется по табл. п.3.5.

При определении электрических нагрузок на шинах ТП учитываются не только расчётные силовые нагрузки, но и расчётные осветительные нагрузки.

Расчётные нагрузки на шинах ТП определяются по формулам:

– расчётное значение активной мощности $P_{р.ТП}$, кВт

$$P_{р.ТП} = P_{р.с.} + P_{р.о.} \quad (4.50)$$

где $P_{р.с.}$, $P_{р.о.}$ – расчётные значения активных мощностей силовой и осветительной нагрузок соответственно, кВт.

– расчётное значение реактивной мощности $Q_{р.ТП}$, квар.

$$Q_{р.ТП} = Q_{р.с.} + Q_{р.о.} \quad (4.51)$$

где $Q_{р.с.}$, $Q_{р.о.}$ – расчётные значения реактивных мощностей силовой и осветительной нагрузок соответственно, квар;

– расчётное значение полной мощности $S_{р.ТП}$, кВ·А.

$$S_{р.ТП} = \sqrt{P_{р.ТП}^2 + Q_{р.ТП}^2} \quad (4.51)$$

Подсчет нагрузок на шинах ТП 10/0,4 кВ сельскохозяйственных потребителей выполняют путем суммирования расчетных нагрузок на вводах зданий.

Потребители объекта электроснабжения разбивают на группы, внутри которых максимальные нагрузки на вводах потребителей однородны и отличаются друг от друга не более чем в 4 раза [22]. Расчетные мощности определяют путем суммирования максимальных нагрузок на вводах потребителей с учетом коэффициента одновременности k_0 по следующим формулам:

$$S_{рД} = k_0 \sum_{i=1}^n S_{рДи} \quad (4.52)$$

$$S_{рВ} = k_0 \sum_{i=1}^n S_{рВи} \quad (4.53)$$

где $S_{рД}$ и $S_{рВ}$ – дневная и вечерняя расчетные нагрузки на потребителей, кВА;

$S_{рДи}$ и $S_{рВи}$ –дневной и вечерний максимумы нагрузок на вводе i-го потребителя, кВА.

Значение коэффициента одновременности принимают по табл. п.3.6.

Расчетные нагрузки всех групп суммируют по таблице путем сложения большей нагрузки с табличной добавкой ΔS (табл. п.3.7), соответствующей меньшей нагрузке.

К расчетному вечернему максимуму прибавляется нагрузка наружного освещения.

Нагрузка наружного освещения территории объекта принимается из расчета 250 Вт на одно строение /22/.

Допускается определять расчетные нагрузки ТП 10/0,4 кВ лишь по дневному максимуму, если от них питаются только производственные потребители, и по вечернему максимуму, если от них питаются только жилые дома.

При выборе площадки для строительства подстанции нужно руководствоваться рядом требований, одно из которых – расположение подстанции в центре нагрузок. Центр нагрузок можно определить тем же способом, которым находят центр тяжести фигуры, используя аналогию между массами и электрическими нагрузками населенных пунктов и других потребителей в зоне электроснабжения от проектируемой подстанции. Координаты расчетного центра нагрузок x_p и y_p определяют по следующим формулам:

$$x_p = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n S_i}; \quad y_p = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n S_i}, \quad (4.54)$$

где S_i – расчетная нагрузка i – того потребителя, расположенного в зоне электроснабжения данного ТП;

x_i, y_i – координаты i – того потребителя на плане объекта электроснабжения.

Начало координат и координатные оси выбирают произвольно. Если центр нагрузок находится в пункте, не удовлетворяющем требованиям НТПС, то площадка для строительства ТП намечается в ближайшем от центра нагрузок пункте, удовлетворяющем этим требованиям.

Пример 5. Определить расчетную нагрузку на шинах 0,4 кВ ТП 10/0,4 кВ, проектируемой для электроснабжения фермы КРС на 800 голов. На территории фермы расположены четыре коровника на 200 коров привязного содержания, два телятника на 228 голов, ветсанпропускник, пункт искусственного осеменения крупного рогатого скота, кормоприготовительный цех, траншеи для хранения силоса.

Нагрузки на вводе зданий:

– коровника $S_{pД} = S_{pВ} = 73,87$ кВ·А.

– телятника $S_{pД} = S_{pВ} = 37,35$ кВ·А.

– кормоцеха $S_{pД} = S_{pВ} = 67,27$ кВ·А,

– ветсанпропускника $S_{pД} = S_{pВ} = 1$ кВ·А,

– пункта искусственного осеменения крупного рогатого скота

$S_{pД} = 2$ кВ·А.

$$-S_{нар} = 2,5 \text{ кВ}\cdot\text{А}.$$

Решение.

Нагрузки потребителей фермы разбиваем на две группы. В первую группу входят нагрузки на вводах коровника, телятника, кормоцеха. Во вторую нагрузки ветсанпропускника и пункта искусственного осеменения. Нагрузки внутри групп не отличаются друг от друга более чем в 4 раза, поэтому их суммирование произведем по коэффициенту одновременности

$$S_{p\text{ гр1}} = 0,7(73,87 \cdot 4 + 37,35 \cdot 2 + 67,27) = 306,22 \text{ кВ}\cdot\text{А},$$

$$S_{p\text{ гр2}} = 0,85(1 + 2) = 2,55 \text{ кВ}\cdot\text{А},$$

$$S_{p\text{ III}} = 306,22 + 12,55 + 2,5 = 310,22 \text{ кВ}\cdot\text{А}.$$

4.5 Расчет пиковых нагрузок

Пиковые нагрузки возникают при пуске электродвигателей, работе дуговых электрических печей, при электросварке и т. п. Пиковым током одного $i_{\text{пик}}$ или группы электроприёмников $I_{\text{пик}}$ называется максимально возможная кратковременная нагрузка (длительностью от 1 до 10 с).

Пиковый ток характеризуется частотой появления. При проектировании этот ток принимают за основу расчетов колебаний напряжения, выбора устройств и установок защиты и проверки электрических сетей по условиям самозапуска электродвигателей.

Пиковый ток группы электроприёмников, работающих при отстающем токе с достаточной для практических расчетов точностью, определяется как арифметическая сумма наибольшего из пусковых токов двигателей, входящих в группу, и расчетного тока нагрузки всей группы ЭП за вычетом номинального тока с учетом двигателя, имеющего наибольший пусковой ток

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{П нб}} + (I_p - \kappa_u \cdot I_{\text{н нб}}), \quad (4.55)$$

где $I_{\text{П нб}}$ - наибольший из пусковых токов двигателей в группе по паспортным данным;

$I_{\text{н нб}}$ - номинальный (приведенный к ПВ=100%) ток двигателя с наибольшим пусковым током;

κ_u - коэффициент использования, характерный для двигателя, имеющего наибольший пусковой ток;

I_p - расчетный ток нагрузки всей группы электроприёмников.

В качестве наибольшего пикового тока одного электроприемника принимают:

- пусковой ток асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором или синхронного двигателя, который в случае отсутствия заводских данных может быть принят равным 5 – кратному номинальному току;

- пусковой ток двигателя постоянного тока или асинхронного с фазным ротором, который при отсутствии более точных данных принимается не ниже 2,5-кратного номинального тока;

- пиковый ток печных и сварочных трансформаторов, который принимается по заводским данным, а в случае их отсутствия – не менее 3- кратного номинального (без приведения к ПВ=100%);

- пиковая мощность машин контактной сварки, которая определяется по паспортным данным по формуле

$$S_{пик} = U_{2max} I_{2max} , \quad (4.56)$$

где U_{2max} - максимальное вторичное напряжение, В;

I_{2max} - максимальный сварочный вторичный ток, А.

При отсутствии заводских данных пиковая мощность может быть приближенно принята равной 3-кратной номинальной (при паспортной ПВ).

При самозапуске электродвигателей в качестве $I_{пик}$ принимается пусковой ток всех участвующих в самозапуске двигателей, определяемый специальным расчетом.

Пиковый ток группы электродвигателей, которые могут включаться одновременно, принимается равным сумме пусковых токов этих двигателей.

Пример 6. Рассчитать пиковые токи электроприемников схемы электрической сети, изображенной на рисунке 4.1. Номинальные мощности электроприемников приведены в примере 4.

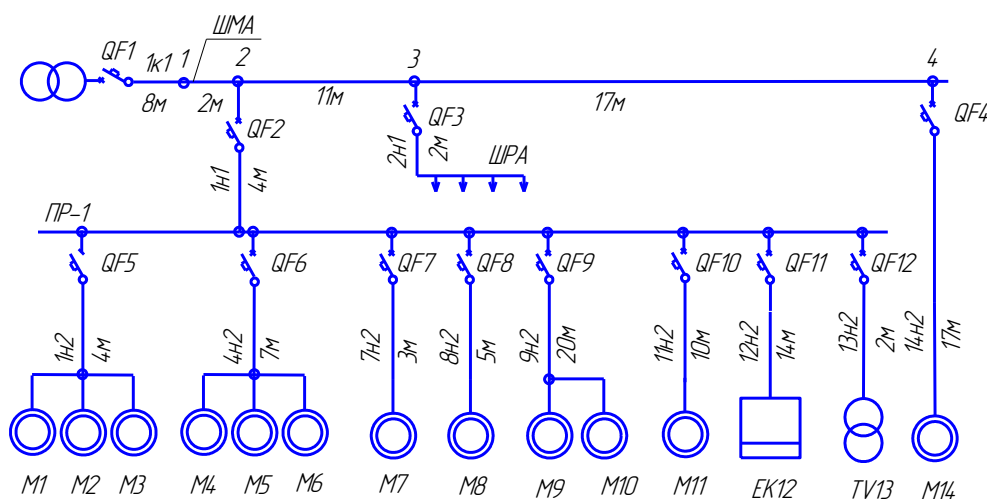


Рис. 4.1. Расчетная схема электрической сети

Решение.

Пиковые токи для отдельных электроприемников равны их пусковым токам, т. е.

$$I_{пик} = I_{П} = i_{П} \cdot I_{н}.$$

Номинальные токи электроприемников $I_{н}$ и кратности пусковых токов $i_{П}$ принимаются по каталожным данным.

Пиковый ток электродвигателя М1 равен

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{П}} = 6 \cdot 11,3 = 67,8 \text{ А.}$$

Расчет пиковых токов для остальных электроприемников сведен в таблицу 4.7.

Таблица 4.7 – Сводные данные расчета пиковых токов отдельных электроприемников

Электроприемник	$P_{\text{н}}$, кВт	$I_{\text{н}}$, А	$i_{\text{П}}$	$I_{\text{пик}}$, А
М1, М4	5,5	11,3	6	67,8
М2, М5	2,2	4,98	6,5	32,37
М3, М6	1,1	2,75	5	13,75
М7, М8	3,0	6,7	7	46,9
М9	9,49	18,02	7	126,17
М10	1,39	3,15	6,5	20,47
М11	4	8,52	6	51,12
М14	30	57	7	399,0
ЕК12	12	18,25	3	54,75
TV13	14,4	54,76	3	164,28

Пиковые токи для участков электрической сети, питающих группу электроприемников, определяются по формуле (4.55).

Участки 1н2, 4н2 : $I_p = \Sigma I_{\text{н}} = 11,3 + 4,98 + 2,75 = 19,03 \text{ А.}$

$I_{\text{пик}} = 67,8 + (19,03 - 11,3) = 75,53 \text{ А.}$

Участок 9н2: $I_p = \Sigma I_{\text{н}} = 18,02 + 3,15 = 21,17 \text{ А.}$

$I_{\text{пик}} = 51,12 + (21,17 - 18,02) = 54,27 \text{ А.}$

Участок 1н1 : $I_p = 58 \text{ А}$ (см. пример 2).

$I_{\text{пик}} = 164,28 + (58 - 0,2 \cdot 54,76) = 211,33 \text{ А.}$

Расчет пиковых токов сводится в таблицу 4.8.

Таблица 4.8 – Сводные даны расчета пиковых токов группы электроприемников

Обозначение участка сети	$I_{\text{Пнб}}$, А	I_p , А	$\kappa_{\text{и}}$	$I_{\text{н нб}}$, А	$\kappa_{\text{и}} I_{\text{н нб}}$, А	$I_{\text{пик}}$, А
1н2, 4н2	67,8	19,03	1	11,3	11,3	75,53
9н2	51,12	21,17	1	18,02	18,02	54,27
1н1	164,28	58	0,2	54,76	10,95	211,33

5 РАСЧЕТ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

К элементам распределительных электрических сетей, находящихся внутри зданий, относятся: шкафы распределительные, силовые ящики, щитки осветительные, шинопроводы, кабели и провода.

Исходными данными для расчета распределительной электрической сети являются: схема электрической сети с расположением аппаратов защиты (защитные аппараты устанавливаются в начале каждой ветви сети, т.е. на каждой линии, отходящей от шин подстанции и силовых пунктов, на каждом ответвлении от линии, на трансформаторных вводах), номинальное напряжение сети $U_{н.с.}$, номинальные мощность P_n и ток I_n электроприемников, расчетные полупиковые максимумы P_p , Q_p , I_p каждого участка сети, пиковые токи $I_{пик}$ участков сети и электроприемников.

5.1 Выбор типа распределительных устройств и осветительных щитков

Распределительные устройства предназначены для распределения электрической энергии и защиты электрических установок при перегрузках и токах короткого замыкания для нечастых (до 6 в час) оперативных включений и отключений электрических цепей и пусков асинхронных двигателей.

В качестве распределительных устройств используют шкафы типа ШР11 (СП62 и СПУ62) с вводным рубильником и предохранителями на 6-8 присоединений к электроприемникам, а также новые серии распределительных шкафов ПР8501, ПР8503, (выпускаемые взамен ПР11, ПР22, ПР22Д, ПР24, ПР24Д, ПР24Н, ПР24Г) укомплектованные автоматическими выключателями. В качестве вводных выключателей применяются выключатели ВА 57-39, ВА 52-39, ВА 57-35 (табл. п.6.5). В качестве выключателей распределения в шкафах применяются выключатели ВА 47-29-1, АЕ 2046М, ВА 47-29-3, АЕ 2056ММ, ВА 57-35, ВА 57Ф35, ВА 04-36 (табл. п.6.7). В распределительных шкафах возможна замена трех однополюсных выключателей ВА 47-29-1 на один трехполюсный ВА 47-29-3.

Техническая характеристика отдельных распределительных шкафов приведена в таблицах п.6.1– п.6.3.

1. Для промышленных и общественных зданий применяются щитки осветительные серий ОП, ОЩ, ОЩВ, УОЩВ, ЯОУ (приложение п.6.4).

2. Щитки осветительные взрывозащищенные ЩОВ устанавливаются во взрывоопасных зонах предприятий химической, нефтеперерабатывающей, газовой и других отраслей промышленности, в которых по условиям эксплуатации возможно образование взрывоопасных смесей и порохов.

3. В щитках в основном устанавливаются модульные автоматические выключатели типа С и В с расцепителями 10 А для защиты групповых

сетей освещения и расцепителями 16 А для защиты групповых сетей штепсельных розеток.

При токах однофазного короткого замыкания равных соответственно пяти и десяти уставкам по току расцепителей перегрузки автоматических выключателей типов В и С, время их отключения составляет менее 0,1 с, что полностью соответствует требованиям ПУЭ.

5.2 Выбор защитных аппаратов

В сетях и установках напряжением до 1000 В возможны ненормальные режимы, связанные с увеличением тока (сверхтоком), к которому приводят перегрузки, самозапуск электродвигателей, короткое замыкание. Эти ненормальные режимы могут привести к повреждению электрических сетей и оборудования, созданию ситуаций, опасных для персонала. Поэтому сети и установки должны быть защищены от перегрузок и токов короткого замыкания.

Согласно ПУЭ сети разделяют на защищаемые от перегрузок и токов короткого замыкания и на защищаемые только от токов короткого замыкания. Защите от перегрузок подлежат следующие сети:

- внутри помещений, выполненные проложенными открыто незащищенными изолированными проводами или проводами с горючей оболочкой;
- внутри помещений, выполненные защищенными проводами, проложенными в трубах, негорючих строительных конструкциях и т.п.;
- сети освещения общественных и торговых помещений, служебно-бытовых помещений промышленных предприятий, включая сети для бытовых и переносных электроприемников, а также пожароопасных производственных помещений;
- силовые сети на промышленных предприятиях, в жилых и общественных зданиях, торговых помещениях, когда по условиям технологического процесса или режима работы сетей может возникать их длительная перегрузка;
- сети всех видов во взрывоопасных наружных установках независимо от условий технологического процесса или режима работы сетей.

Все остальные сети не требуют защиты от перегрузок и должны быть защищены только от токов короткого замыкания.

Основными аппаратами защиты сетей напряжением 380...660 В являются предохранители с плавкими вставками и автоматические воздушные выключатели. От них требуются кратчайшее время отключения и обеспечение селективности. Номинальные токи плавких вставок предохранителей и токи срабатывания расцепителей автоматических выключателей должны быть минимально возможными, но не приводящими к отключению цепи при пуске электродвигателей и кратковременных перегрузках.

Предохранители выбирают:

- по типу, конструктивному исполнению, категории размещения;

– по номинальному напряжению

$$U_n \geq U_{н.с}, \quad (5.1)$$

где U_n – номинальное напряжение предохранителя, В;

– по номинальному току плавкой вставки I_n , А.

Номинальный ток плавкой вставки I_n , А, выбирают по условиям:

– для защиты проводника ответвления к электродвигателю

$$I_n \geq \frac{I_{\Pi}}{\alpha}, \quad (5.2)$$

где α – коэффициент, зависящий от условий пуска.

При времени пуска 2–5 с (пуск легкий) – $\alpha = 2,5$; для тяжелых условий пуска (длительность около 10 с) – $\alpha = 1,6–2$.

– для защиты сети, от которой питается группа электроприемников, содержащая не более трех электродвигателей

$$I_n \geq \sum_{i=1}^{n-1} I_{Hi} + \frac{I_{\Pi \max}}{\alpha}, \quad (5.3)$$

где $I_{\Pi \max}$ – пусковой ток самого мощного электродвигателя в группе, А.

$\sum_{i=1}^{n-1} I_{Hi}$ – сумма номинальных токов одновременно работающих электродвигателей без учета номинального тока самого мощного электродвигателя в группе, А.

– для защиты сети, от которой питается группа, содержащая более трех электродвигателей

$$I_n \geq I_p - I_{H \max} + \frac{I_{\Pi \max}}{\alpha}, \quad (5.4)$$

где $I_{H \max}$ – номинальный ток самого мощного электродвигателя в группе, А.

– для защиты сети электронагревательных установок

$$I_n \geq (1,1 \dots 1,3) I_{раб}. \quad (5.5)$$

где $I_{раб}$ – рабочий ток сети, А.

– для защиты осветительных сетей

а) с лампами накаливания

$$I_n \geq I_{раб}. \quad (5.6)$$

б) с газоразрядными лампами низкого давления

$$I_n \geq 1,2 I_{раб}. \quad (5.7)$$

в) с ртутными дуговыми лампами

$$I_n \geq 1,1 I_{раб}. \quad (5.8)$$

Рабочие токи распределительной и групповой осветительных сетей определяются по формуле

$$I_{раб} = \frac{P}{n_{\phi} U_{\phi} \cos \varphi}, \quad (5.9)$$

где P — нагрузка сети, Вт;
 n_{ϕ} — число фаз;
 $\cos \varphi$ — коэффициент мощности.

Селективная работа предохранителей будет обеспечена, если номинальные токи плавких вставок однотипных предохранителей, включенных последовательно, различают между собой не менее чем на 2 ступени.

Для однотипных предохранителей селективность проверяют сопоставлением их защитных характеристик с учетом 25%-го, а в ответственных случаях — 50%-го разброса по времени срабатывания. Зоны возможных характеристик, построенные с учетом этих разбросов, не должны накладываться или пересекаться в пределах токов от номинального до максимально возможного или, по крайней мере, до наиболее вероятного тока КЗ $I_{к.ср}^{(3)}$ за нижестоящим предохранителем. На практике зоны не строят, а сопоставляют время плавления плавкой вставки предохранителя, расположенного ближе к источнику питания t_{δ} , и время плавления плавкой вставки предохранителя, расположенного ближе к нагрузке t_{μ} . Селективность обеспечивается, если выполняются условия: при учете 25%-го разброса $t_{\delta} > 1,7 t_{\mu}$; при учете 50%-го разброса $t_{\delta} > 3 t_{\mu}$. Известен также метод проверки селективности сопоставлением сечений плавких вставок. В этом случае селективность проверяют следующим образом.

Определяют отношение сечений двух последовательно установленных плавких вставок по формуле

$$a = \frac{F_1}{F_2}, \quad (5.10)$$

где F_1 — сечение плавкой вставки, расположенной ближе к источнику питания;

F_2 — сечение плавкой вставки, расположенной дальше от источника питания, то есть ближе к нагрузке.

Полученное значение a сравнивают с данными табл. п.6.14, где приве-

дены наименьшие значения a , при которых обеспечивается селективность. Селективность защиты будет обеспечена, если расчетное a равно табличному или больше него.

Если предохранители находятся на разных ступенях напряжения, то сечение плавкой вставки предохранителя, расположенного ближе к источнику питания, нужно привести к напряжению предохранителя, расположенного ближе к нагрузке, по формуле

$$a = \frac{F_1}{F_2} k_T, \quad (5.11)$$

где k_T — коэффициент трансформации.

Автоматические выключатели выбирают исходя из следующих условий:

$$U_e \geq U_{н.с}; \quad (5.12)$$

$$I_{на} \geq I_p; \quad (5.13)$$

$$I_R \geq I_p; \quad (5.14)$$

$$I_i \geq k_n \cdot I_{пик}, \quad (5.15)$$

где $U_e, U_{н.с}$ — соответственно номинальные напряжения автоматического выключателя и сети, В;

$I_{на}$ — номинальный ток автоматического выключателя, А;

I_R — ток уставки расцепителя перегрузки, А;

I_p — расчетный ток защищаемой сети, А;

I_i — ток уставки расцепителя мгновенного действия, А;

k_n — коэффициент надежности ;

$I_{пик}$ — пиковый ток в сети, А.

Значения коэффициента надежности k_n для отстройки от пусковых токов у различных автоматических выключателей приведены в таблице п.6.12.

За расчетный ток линии питающей один электроприемник или группу, содержащую не более трех электроприемников принимают номинальный ток электроприемника или сумма номинальных токов электроприемников соответственно.

$$I_p = I_H, \quad I_p = \sum_{i=1}^n I_{Hi} \quad (5.16)$$

В остальных случаях расчетный ток определяют по методике, изложенной в главе 6.

Расцепители перегрузки автоматических выключателей откалиброваны для температуры окружающей среды 40°C , если температура окружающей среды t не равна 40°C , то ток уставки расцепителя перегрузки I_{Rt} определяют по формуле:

$$I_{Rt} = \left[1 + k_t (40 - t) \right] \cdot I_R; \quad (5.17)$$

где k_t – температурный коэффициент.

При выборе тока уставки расцепителя перегрузки встроенного в шкаф автоматического выключателя тепловой поправочный коэффициент k_n принимают равным 0,85, тогда

$$I_R \geq \frac{I_p}{0,85}. \quad (5.18)$$

4. Аппараты защиты осветительных сетей устанавливаются:

5. – на линиях, отходящих от щитов, щитков и других рас-
предсредств;
6. – со стороны высшего и низшего напряжения трансформаторов 12-
36 В;
7. – в местах, где проходит уменьшение сечения линии;
8. – на вводах в здания при питании от отдельно стоящих трансфор-
маторных подстанций, не обслуживаемых персоналом потребителя.
9. Уставка по току расцепителя перегрузки автоматического выключателя, защищающего осветительную сеть, выбирается по условию

$$10. \quad I_R \geq \kappa I_{\text{раб}}, \quad (5.19)$$

где $\kappa=1$ – для автоматических выключателей с уставками до 50 А защищающих участки сети, питающие люминесцентные лампы,

$\kappa=1,4$ – для автоматических выключателей защищающих участки сети, питающие лампы накаливания.

Для сетей, питающих лампы накаливания и люминесцентные лампы коэффициент κ равен

$$\kappa = 1 + 0,4 \frac{P_{\Sigma \text{лн}}}{P_{\Sigma}}, \quad (5.20)$$

где $P_{\Sigma \text{лн}}$ – суммарная мощность светильников с лампами накаливания, Вт;

P_{Σ} – суммарная мощность всех светильников, Вт.

Технические характеристики автоматических выключателей

11. приведены в таблицах п.6.5, п.6.6, п.6.7.

12. Для защиты цепей штепсельных розеток применяется УЗО с уставкой по дифференциальному току не выше 30 мА. Номинальный ток УЗО выбирается из ряда 10, 13, 16, 20, 25, 32, 40, 63, 80, 100, 125 А. УЗО должно быть защищено последовательным защитным устройством. Номинальный ток УЗО рекомендуется выбирать равным или на ступень больше номинального тока защитного устройства. Это объясняется тем, что при протекании рабочего тока превышающего номинальный, то есть тока перегрузки, автоматический выключатель отключит этот ток по истечении времени длительностью до одного часа. Таким образом, в течение этого времени УЗО будет работать с перегрузкой по току.

13. Технические данные УЗО приведены в табл. п.6.15, п. 6.16.

Для согласования уставок по току расцепителей мгновенного действия автоматических выключателей отходящих от щита линий с целью предотвращения отключения автоматического выключателя, защищающего линию питания щита при коротком замыкании за выключателем отходящей линии, когда обе защиты находятся на грани срабатывания, должно выполняться условие:

$$I_i \geq k_{н.с} I_{i.л}, \quad (5.21)$$

где I_i – уставка по току расцепителя мгновенного действия автоматического выключателя, защищающего линию питания щита, А;

$k_{н.с}$ – коэффициент надежности согласования, принимается равным 1,3–1,5;

$I_{i.л}$ – наибольшая из уставок по току расцепителя мгновенного действия выключателей отходящих линий, при параллельной работе линий принимается равным сумме уставок по току расцепителей мгновенного действия этих линий.

Селективность предохранителей и автоматических выключателей проверяется путем сопоставления их защитных характеристик.

5.3 Выбор марок кабелей и шинопроводов. Расчет площади сечения кабелей и шинопроводов

5.3.1 Выбор марок кабелей и шинопроводов

По способам изоляции сети делятся на две группы: выполненные голыми проводами и шинами и выполненные кабелями и изолированными проводами. Последние получили название электропроводок.

Кабельные линии – самые распространенные элементы во внутренних электрических сетях.

Электропроводки служат для питания электроприемников, осветительных установок и др.

Провода и кабели электропроводки могут прокладываться открыто по стенам зданий, потолкам, на тросах, изоляторах, в лотках, трубах, коробах, гибких металлорукавах и т.п. и скрыто – внутри конструктивных элементов зданий, сооружений.

Способ монтажа электропроводок выбирают в соответствии с требованиями стандарта ГОСТ Р 50571.15-97 Электроустановки зданий. Часть 5. Выбор и монтаж электрооборудования. Глава 52. Электропроводки.

Способ монтажа электропроводки в зависимости от типа используемого провода или кабеля приведен в табл. п.7.1.

Способ монтажа электропроводки в зависимости от места прокладки должен соответствовать табл. п.7.2.

Из данных табл. п.7.1 и п.7.2 следует, что изолированные провода разрешается прокладывать только в трубах, коробах и на изоляторах. Не допускается прокладывать изолированные провода, в том числе марки АППВ и ППВ, скрыто под штукатуркой, в бетоне, кирпичной кладке, в пустотах строительных конструкций, а также открыто по поверхности стен и потолков, на лотках, на тросах и других конструкциях. В этих случаях должны применяться кабели или изолированные провода с защитной оболочкой.

Разрешается прокладывать несколько цепей в одной и той же трубе или коробе при условии, что все провода имеют изоляцию, рассчитанную на наивысшее номинальное напряжение проложенных в этой трубе или коробе цепей.

По своему назначению шинопроводы на напряжение до 1 кВ разделяются на магистральные переменного тока серии ШМА и постоянного тока ШМАД, предназначенные для присоединения к ним распределительных шинопроводов и силовых распределительных шкафов, щитов и отдельных мощных электроприемников; распределительные серии ШРА (с алюминиевыми жилами) и ШРМ (с медными жилами) – для присоединения к ним электроприемников; троллейные серии ШТА и ШТМ – для присоединения передвижных электроприемников; осветительные серии ШОС – для присоединения светильников и электроприемников небольшой мощности. Основные даны по шинопроводам приведены в табл. п.7.3– п.7.5.

Кабели, предназначенные для передачи электрической энергии, для питания силовых и осветительных установок, называют силовыми, а кабели для присоединения к приборам и аппаратам распределительных устройств – контрольными.

При маркировке кабелей и проводов приняты следующие обозначения.

Для изолированных проводов и кабелей с медными жилами не применяют обозначения материала жилы; кабели и провода с алюминиевыми жилами имеют букву А. Например, провод ПР имеет медную жилу, АПР – алюминиевую. Аналогично бумажная изоляция для кабелей не обозначается, а другие виды изоляции для кабелей и проводов обозначаются буквой, соответствующей первой букве: резиновая – Р, полихлорвиниловая – В; полиэтиленовая –

П. материал оболочки кабелей маркируется первой буквой: С – свинец, А – алюминий, В – полихлорвинил, Н – найрит (негорючая резина).

Буква Г входит в обозначение марок проводов, указывая, что они являются гибкими (многопроволочная жила), и в обозначение кабелей, у которых оболочка или защитная броня являются голыми.

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

Для изолированных проводов первая буква в марке провода обозначает материал провода, вторая буква П обозначает провод, третья – материал изоляции (Р, В, П). также есть буквы, характеризующие другие элементы конструкции: О – оплетка, Т – для прокладки в трубах. П – плоский. Ф – металллическая фальцованная оболочка.

Кабели, пониженной пожароопасности с низким дымо- и газовыделением в маркировке имеют индекс «нг-LS», например ВВГнг-LS, АВВГнг-LS.

Применение кабелей исполнения «нг-LS» целесообразно в промышленных зданиях, а также зрелищных предприятиях, крупных предприятиях торговли, высотных зданиях, лечебных учреждениях, школах, детских садах, гостиницах, домах отдыха, музеях и других общественных зданиях, в том числе при выполнении электропроводок за подвесными потолками и в сборных перегородках.

Огнестойкие кабели в маркировке имеют индекс «нг-FRLS». Такие кабели предназначены для прокладки в кабельных сооружениях и помещениях, в том числе во взрывоопасных зонах всех классов, кроме взрывоопасных зон класса В-1.

5.3.2 Компоновка осветительных сетей

Выполнение осветительных сетей регламентируется нормативными документами ПУЭ, СНиП и СН.

При выборе вида электропроводки и способа прокладки проводов и кабелей должны учитываться требования электробезопасности и пожарной безопасности.

При питании осветительной сети от силовых распределительных пунктов, к которым присоединены непосредственно силовые электроприемники, осветительная сеть должна присоединяться к вводным зажимам этих пунктов.

Групповые щитки, от которых начинаются групповые светильники сети, должны располагаться в позициях, удобных для обслуживания, и, по возможности, с благоприятными условиями среды. Нельзя их размещать в запираемых кабинетах, складах и тому подобных помещениях.

Требования о токах аппарата и о числе ламп имеют цель ограничить объем возможных аварий и облегчить нахождение их места и их причины.

Кроме того, чем мельче группы, тем больше вероятность того, что нагрузка равномерно распределится между тремя фазами. Нормы требуют, чтобы разница в нагрузке фаз на отдельных щитках не превышала 30 %, а в начале питающей линии – 10 %.

Групповые линии освещения могут быть одно-, двух- и трехфазными в зависимости от их протяженности и числа присоединенных светильников.

Каждая групповая линия как правило, должна содержать, на фазу не более 20 ламп накаливания, ДРЛ, ДРИ, ДРИЗ, ДНаТ, в это число включаются штепсельные розетки.

В производственных, общественных и жилых зданиях на однофазные группы освещения лестниц, этажных коридоров, холлов, технических подпольий и чердаков допускается присоединять до 60 ламп накаливания каждая мощностью до 60 Вт.

Для групповых линий, питающих световые карнизы, световые потолки и т.п. с лампами накаливания, а также светильники с люминесцентными лампами мощностью до 80 Вт, рекомендуется присоединять до 60 ламп на фазу; для линий, питающих светильники с люминесцентными лампами мощностью до 40 Вт включительно, может присоединяться до 75 ламп на фазу и мощностью до 20 Вт включительно – до 100 ламп на фазу.

Для групповых линий, питающих многоламповые люстры, число ламп любого типа на фазу не ограничивается.

Лампы мощностью 10 кВт и более должны иметь отдельную группу.

Трассировка линий групповой сети подчинена целому ряду нормативных требований и практических рекомендаций, из которых важнейшие следующие:

- линии должны прокладываться по возможности более короткими трассами, при открытой проводке – параллельно стенам помещения, при скрытой, если это возможно, – по кратчайшему направлению;

- желательно совмещать трассы линий, идущих в одном направлении, даже если это несколько удлиняет протяженность линии;

- совместная прокладка проводов и кабелей групповых линий рабочего освещения с групповыми линиями освещения безопасности и эвакуационного освещения не рекомендуется. Допускается их совместная прокладка на одном монтажном профиле, в одном коробе или лотке при условии, что приняты специальные меры, исключающие возможность повреждения проводов освещения безопасности и эвакуационного при неисправности проводов рабочего освещения, в корпусах и штангах светильников.

- по возможности следует прокладывать линии по стенам, а не по потолкам, линии же, проложенные по потолку, необходимо прокладывать перпендикулярно стене с окнами.

Управление освещением может осуществляться аппаратами, установленными на щитах. В небольших помещениях устанавливаются местные выключатели. В помещениях, не имеющих аварийного освещения, уже начиная с установки двух светильников желательно разбивать светильники не менее,

чем на два выключателя. Это даст возможность обслуживать отключенные светильники при свете оставшихся включенных.

5.3.3 Расчет площади сечения кабелей и шинопроводов

Площадь сечения проводников выбирают:

- по механической прочности
- по условиям теплового нагрева;
- по условиям согласования с защитными аппаратами;
- по потерям напряжения;
- термической стойкости к токам короткого замыкания;

Минимальные сечения проводников по механической прочности приведены в табл. п.7.6.

Провода и кабели внутренней электрической сети напряжением до 1000 В должны быть выбраны таким образом, чтобы температура провода при длительном протекании рабочего тока нагрузки не была больше предельно допустимой (для проводов и кабелей с резиновой, полихлорвиниловой и пластмассовой изоляцией $t_d = +65^\circ\text{C}$, для кабелей с бумажной изоляцией напряжением до 3 кВ $t_d = +80^\circ\text{C}$) [1]. Сечение проводника также должно быть согласовано с защитой, с тем чтобы при протекании по проводнику тока, нагревающего его выше допустимой температуры, проводник был отключен защитным аппаратом (плавким предохранителем, автоматическим выключателем и т.п.).

Следовательно, сечения проводов и кабелей выбирают:

- по допустимому нагреванию расчетным током

$$I_{\text{ДДП}} \geq \frac{I_p}{k_{\text{прокл}} \cdot k_t}; \quad (5.22)$$

- по условиям защиты сечения провода или кабеля аппаратом защиты

$$I_{\text{ДДП}} \geq \frac{k_z \cdot I_{\text{з.а}}}{k_{\text{прокл}} \cdot k_t}, \quad (5.23)$$

где I_d – длительно допустимый ток на проводник или кабель, А;

I_p – расчетный ток нагрузки, А;

$I_{\text{з.а}}$ – ток защитного аппарата, А;

$k_{\text{прокл}}$ – поправочный коэффициент на число кабелей, лежащих рядом;

k_t – поправочный коэффициент на фактическую температуру среды;

k_z – коэффициент защиты.

Для проводников ответвлений к короткозамкнутым электродвигателям

$$I_p = I_n. \quad (5.24)$$

Если проводники ответвлений к короткозамкнутым электродвигателям прокладываются во взрывоопасных зонах, то

$$I_p = 1,25 \cdot I_n. \quad (5.25)$$

Если расчетная температура среды t_p отличается от температуры t_t , при которой в таблице приведены длительно допустимые токи, то

$$k_t = \sqrt{\frac{t_\partial - t_p}{t_\partial - t_T}}, \quad (5.26)$$

где t_∂ – температура жил проводов и кабелей при длительной нагрузке,

$$t_\partial = 65^\circ\text{C}.$$

Для кабелей АВВГнг и ВВГнг поправочный коэффициент k_t приведен в табл. п.7.11.

Значения коэффициента $k_{прокл}$ приведены в табл. п.7.12, п.7.13.

Значения коэффициента k_z приведены в табл. п.7.14.

Длительно допустимый ток для кабелей на напряжение до 1 кВ приведен в табл. п.7.7– п.7.10.

Комплектные шинопроводы типа ШМА для главных магистралей выбирают расчетному току силового трансформатора, к которому подключена магистраль.

Распределительные шинопроводы типа ШРА выбирают по расчетному току I_p из условия

$$I_{ном} \geq I_p, \quad (5.27)$$

где $I_{ном}$ – номинальный ток шинопровода, А.

Комплектные шинопроводы проверяют на электродинамическую стойкость по условию

$$i_{y. доп} > i_y, \quad (5.28)$$

где $i_{y. доп}$ – допустимый ударный ток КЗ для данного типа шинопровода, кА;

i_y – расчетный ударный ток КЗ в начале шинопровода, кА.

Сечение нулевого рабочего проводника N и совмещенного PEN-проводника определяется по табл. п.7.15.

Сечения защитных проводников должны быть не менее значений, приведенных в табл. п.7.16.

Данные, приведенные в табл. п.7.16, действительны только в том случае, если защитные проводники изготовлены из того же материала, что и фазные проводники. В противном случае сечение защитных проводников выбирают таким образом, чтобы их проводимость была равна проводимости, получаемой в результате применения табл. п.7.16.

Во всех случаях сечение защитных проводников, не входящих в состав кабеля, должно быть не менее указанных в табл. п.7.17.

В стационарных установках системы TN функцию защитного и нулевого рабочего провода можно совместить в одном PEN-проводнике при условии выполнения следующих требований:

- если его сечение не менее 10 мм² по меди или 16 мм² по алюминию и рассматриваемая часть электроустановки защищена устройствами защитного отключения, реагирующими на дифференциальные токи;

- если, начиная с какой-либо точки электроустановки, нулевой рабочий и нулевой защитный проводники разделены, запрещается объединять их за этой точкой. В точке разделения необходимо предусмотреть отдельные шины нулевого рабочего и нулевого защитного проводников. PEN-проводник, совмещающий функцию рабочего и защитного, должен подключаться к шине, предназначенной для защитного проводника.

Изоляция PEN-проводника должна быть рассчитана на самое высокое напряжение, которое может быть к нему приложено.

Из вышеизложенного следует, что в двухпроводных сетях (фазный и PEN-проводник) и в четырехпроводных сетях (три фазных и PEN-проводник) системы TN минимальное сечение PEN-проводника должно составлять 10 мм² по меди и 16 мм² по алюминию, что практически неприемлемо в групповых (осветительных и распределительных (силовых) сетях, в которых сечения в основном составляют 1,5–4 мм². Отсюда следует вывод о необходимости применения в системе TN трехпроводных при напряжении 220 В и пятипроводных при напряжении 380 В сетей с отдельным защитным проводником PE, сечение которого определяется по табл. п.7.17.

Минимальные сечения заземляющих проводников, проложенных в земле, должны соответствовать значениям, указанным в табл. п.7.18.

Согласно ПУЭ для силовых сетей отклонение напряжения от номинального должно составлять не более $\pm 5\% U_n$. Для осветительных сетей промышленных предприятий и общественных зданий допускается отклонение напряжения от +5 до -2,5% U_n , для сетей жилых зданий и наружного освещения $\pm 5\% U_n$. Эти требования обусловлены тем, что величина вращающего момента асинхронных электродвигателей пропорциональна квадрату подведенного напряжения и его уменьшение может не обеспечить пуск механизмов, в сетях освещения снижение напряжения приводит к резкому уменьшению светового потока.

Потери напряжения во внутренних силовых сетях ΔU , В, определяют по формуле

$$\Delta U = \sqrt{3} I_p l 10^{-3} (r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi), \quad (5.29)$$

где I_p – рабочий ток на участке сети, А;

l – длина участка сети, м;

r_0, x_0 – соответственно удельное активное и индуктивное сопротивление провода или кабеля, Ом/км;

$\cos \varphi$ – коэффициент мощности нагрузки участка сети.

Если расчет ведется не по токам участков сети, а по нагрузочным токам электроприемников, то

$$\Delta U = \sqrt{3} l 10^{-3} \sum I_i (r_0 \cos \varphi_i + x_0 \sin \varphi_i), \quad (5.30)$$

где I_i – нагрузочный ток i -го электроприемника, А;

$\cos \varphi$ – коэффициент мощности i -го электроприемника.

Потери напряжения во внутренних силовых сетях $\Delta U, \%$, равны:

$$\Delta U \% = \frac{\Delta U}{U_n} \cdot 100\%. \quad (5.31)$$

Потери напряжения можно также определить по формуле

$$\Delta U, \% = \frac{(Pr_0 + Qx_0)l}{10U_n^2}, \quad (5.32)$$

где P и Q – соответственно активная и реактивная мощности на участках сети в кВт и квар.

Активные сопротивления проводников, а также средние значения индуктивных сопротивлений при различных сечениях и способах прокладки указаны в табл. 7.19.

Потери напряжения в главной магистрали $\Delta U, \%$, определяют по формуле

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \sum I_p l \cdot 100}{U_n} (r_{y0} \cos \varphi + x_{y0} \sin \varphi), \quad (5.33)$$

где $\sum I_p l$ – сумма моментов токовых нагрузок шинпровода ШМА, А·км;

r_{y0}, x_{y0} – соответственно удельные активное и индуктивное сопротивления шинпровода, Ом/км.

Потерю напряжения в распределительном шинпроводе с равномерной нагрузкой и расположением вводной секции в середине шинпровода определяют по формуле

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 0,5 I_p l \cdot 100}{U_n} (r_{y0} \cos \varphi + x_{y0} \sin \varphi), \quad (5.34)$$

где I_p – расчетный ток ШРА, А;

l – длина ШРА, км.

При расположении вводной коробки в начале шинпровода потерю напряжения определяют с учетом всей длины шинпровода.

Потери напряжения в электроустановках зданий не должны превышать 4 % от номинального напряжения установки /26/.

Потери напряжения на каждом участке осветительной сети ΔU , %, определяются по формуле

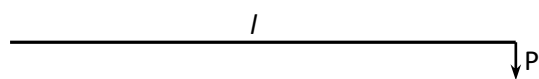
$$\Delta U = \frac{M}{SC}, \quad (5.35)$$

где M – момент нагрузки, кВт·м;

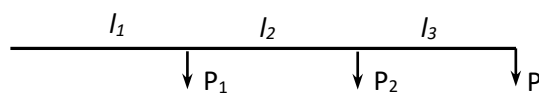
S – сечение кабеля данного участка сети, мм²;

C – коэффициент, зависящий от напряжения сети, схемы питания (трех-, двух или однофазная) и материал проводника (табл. п.7.20).

Момент нагрузки M , кВт·м, представляет собой произведение мощности на длину:



$$M = P \cdot l \quad (5.36)$$



$$M = (P_1 + P_2 + P_3)l_1 + (P_2 + P_3)l_2 + P_3l_3 \quad (5.37)$$



$$M = P_{\Sigma}(l_1 + l_2/2) \quad (5.38)$$

Допустимая потеря напряжения сети освещения от источника до удаленного светильника

$$\Delta U_c = U_{xx} - \Delta U_T - \Delta U_{БЛ} - U_{c \text{ доп}}, \quad (5.39)$$

где U_{xx} – напряжение холостого хода трансформатора, соответствующее номинальному напряжению на зажимах вторичной обмотки трансформатора и выражаемое в процентах от номинального напряжения U_n ;

ΔU_T – потеря напряжения в трансформаторе, %;

$\Delta U_{БЛ}$ – потеря напряжения в воздушной линии 0,38 кВ, %;

$U_{c \text{ доп}}$ – допустимое напряжение у удаленного светильника, %.

В соответствии с требованиями ПУЭ напряжение у осветительных приборов должно быть не менее 90% номинального.

Пример 7. Для схемы сети, изображенной на рисунке 5.1 выбрать автоматические выключатели, сечения кабелей и шинопроводов. Рассчитать потери напряжения на участках сети.

Исходные данные к расчету приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Исходные данные к расчету

Участок сети	P_p , кВт	Q_p квар	I_p , А	$I_{\text{пик}}$, А
1н2, 4н2	8,8	5,76	19,03	75,53
7н2, 8н2	3,0	2,09	6,7	46,9

9н2	10,88	5,86	21,17	54,27
11н2	4,0	2,58	8,52	51,12
12н2	12,0	3,96	18,25	54,75
13н2	14,4	31,68	54,76	164,28
14н2	30,0	17,0	57,0	399,0
1н1	32,11	20,57	58,0	211,33
2н1	28,65	21,15	54,15	120,37
ШПА	92	75	180,54	522,54

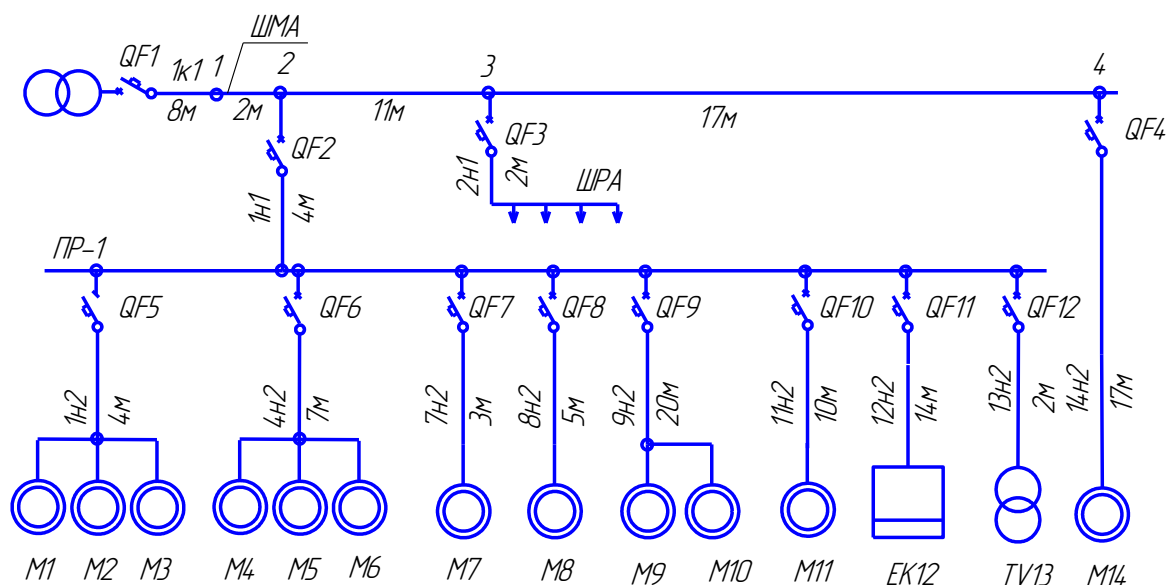


Рисунок 5.1 – Расчетная схема электрической сети

Решение.

Выбираем автоматические выключатели типа АЕ2046М.

Номинальный ток расцепителя перегрузки автоматического выключателя $QF5$

$$I_R \geq I_p = 19,03 \text{ A.}$$

Выбираем ближайшее большее стандартное значение номинального тока расцепителя $I_R = 20 \text{ A.}$

Ток срабатывания расцепителя мгновенного действия данного автоматического выключателя

$$I_i = 10 I_R = 10 \cdot 20 = 200 \text{ A.}$$

Автоматический выключатель на сработает при возникновении пикового тока если будет выполняться условие

$$I_i \geq K_n I_{нук} = 2,1 \cdot 75,53 = 158,61 \text{ A.}$$

$200 > 158,61$, значит при $I_{нук} = 75,53 \text{ A.}$ автоматический выключатель сработает.

Выбор остальных автоматических выключателей сведен в таблицу 5.2.

Таблица 5.2 – Сводные данные выбора автоматических выключателей

Участок сети	I_p, A	$I_{пик}, A$	K_H	$K_H I_{пик}, A$	Выключатель автоматический					
					Обозначение	тип	$I_{на}, A$	I_R, A	$\frac{I_i}{I_R}$	I_i, A
1н2, 4н2	19,03	75,53	2,1	158,61	QF5, QF6	AE2046M	63	20	10	200
7н2, 8н2	6,7	46,9	2,1	98,49	QF7, QF8	AE2046M	63	8	14	112
9н2	21,17	54,27	2,1	113,97	QF9	AE2046M	63	25	10	250
11н2	8,52	51,12	2,1	107,35	QF10	AE2046M	63	10	14	140
12н2	18,25	54,75	2,1	114,98	QF11	AE2046M	63	20	10	200
13н2	54,76	164,28	2,1	344,99	QF12	AE2046M	63	63	10	630
14н2	57,0	399,0	2,1	837,90	QF4	AE2046M	63	63	14	882
1н1	58,0	211,33	2,1	443,79	QF2	AE2046M	63	63	10	630
2н1	54,15	120,37	2,1	252,78	QF3	AE2046M	63	63	10	630

Площадь сечения кабеля для участка сети 1н2 по условиям длительно допустимого тока

$$I_{ддп} \geq \frac{I_p}{k_{прокл} \cdot k_t} = \frac{19,03}{1 \cdot 1} = 19,03 A,$$

$$I_{ддп} \geq \frac{k_3 \cdot I_{з.а}}{k_{прокл} \cdot k_t} = \frac{0,8 \cdot 20}{1 \cdot 1} = 16 A.$$

По значению тока 19,03 А находим ближайшее большее значение длительно допустимого тока 20 А и площадь сечения пяти жильного кабеля ВВГнг 1,5 мм².

Расчет площади сечения кабелей для остальных участков сведен в табл. 5.3.

Активное сопротивление участка сети 1н2 равно

$$r = r_0 \cdot l = 14,9 \cdot 0,004 = 0,0596 \text{ Ом}.$$

Индуктивное сопротивление участка сети 1н2 равно

$$x = x_0 \cdot l = 0,113 \cdot 0,004 = 0,000452 \text{ Ом}.$$

Потеря напряжения на участке 1н2

$$\Delta U \% = \frac{P_p r + Q_p x}{10 U_n^2} = \frac{8,8 \cdot 0,0596 + 5,76 \cdot 0,000452}{10 \cdot 0,38^2} = 0,365 \%.$$

Таблица 5.3 – Сводные данные расчета площади сечения кабелей

Участок сети	I_p, A	Защитный аппарата	$I_{з.а},$ А	k_3	$k_3 I_{з.а},$ А	$k_{\text{прокл}}$	k_t	$\frac{I_p}{k_{\text{и}} \delta t_{\text{е}} \cdot k_t}$	$\frac{k_c I_{\text{за}}}{k_{\text{и}} \delta t_{\text{е}} \cdot k_t}$	Кабель		
										тип	Кол-во жил и сечение	$I_{\text{дп}},$ А
1н2, 4н2	19,03	QF5, QF6	20	0,8	16	1	0,98	19,42	16,33	ВВГнг	5×1,5	20
7н2, 8н2	6,7	QF7, QF8	8	0,8	6,4	1	0,98	6,84	6,53	ВВГнг	5×1,5	20
9н2	21,17	QF9	25	0,8	20	1	0,98	21,60	20,41	ВВГнг	5×2,5	26
11н2	8,52	QF10	10	0,8	8	1	0,98	8,69	8,16	ВВГнг	5×1,5	20
12н2	18,25	QF11	20	0,8	16	1	0,98	18,62	16,33	ВВГнг	5×1,5	20
13н2	54,76	QF12	63	0,8	50,4	1	0,98	55,88	51,43	ВВГнг	5×10	61
14н2	57,0	QF4	63	0,8	50,4	1	0,98	58,16	51,43	ВВГнг	5×10	61
1н1	58,0	QF2	63	0,8	50,4	1	0,98	59,18	51,43	ВВГнг	5×10	61
2н1	54,15	QF3	63	0,8	50,4	1	0,98	55,26	51,43	ВВГнг	5×10	61

Расчет потерь напряжения для остальных участков сети сведен в таблицу 5.4.

Таблица 5.4 – Расчет потерь напряжения

Уча- сток сети	$P_p, \text{кВт}$	$Q_p, \text{квар}$	$l \cdot 10^{-3}, \text{км}$	$r_0, \text{Ом/км}$	$r \cdot 10^{-3}, \text{Ом}$	$x_0, \text{Ом/км}$	$x \cdot 10^{-3}, \text{Ом}$	$\Delta U_i, \%$
1н1	32,11	20,57	4	2,13	8,52	0,088	0,352	0,19
2н1	28,65	21,15	2	2,13	4,26	0,088	0,176	0,09
1н2	8,8	5,76	4	14,9	59,6	0,113	0,452	0,37
4н2	8,8	5,76	7	14,9	104,3	0,113	0,791	0,64
7н2	3	2,09	3	14,9	44,7	0,113	0,339	0,09
8н2	3	2,09	5	14,9	74,5	0,113	0,565	0,16
9н2	10,88	5,86	20	8,96	179,2	0,108	2,16	1,36
11н2	4	2,58	10	14,9	149	0,113	1,13	0,41
12н2	12	3,96	14	2,13	29,82	0,088	1,232	0,25
13н2	14,4	31,68	2	2,13	4,26	0,088	0,176	0,05

Площадь сечения шинпровода выбирается по расчетному току из условия

$$I_n \geq I_p = 180,54 \text{ А.}$$

Принимаем шинпровод ШРА-73, $I_n = 250 \text{ А}$, $r_0 = 0,2 \text{ Ом/км}$, $x_0 = 0,1 \text{ Ом/км}$.

Потери напряжения в шинпроводе определим отдельно для каждого участка по формуле

$$\Delta U_i \% = \frac{(P_i r_0 + Q_i x_0) l_i}{10 U_n^2}.$$

Участок 2-3

$$\Delta U_{2-3} \% = \frac{(30 \cdot 0,2 + 17 \cdot 0,1) 0,017}{10 \cdot 0,38^2} = 0,09 \%.$$

Участок 1-2

$$\Delta U_{1-2} \% = \frac{((30 + 28,65) 0,2 + (17 + 21,15) 0,1) 0,011}{10 \cdot 0,38^2} = 0,12 \%.$$

Участок 0-1

$$\Delta U_{0-1} \% = \frac{(92 \cdot 0,2 + 75 \cdot 0,1) 0,002}{10 \cdot 0,38^2} = 0,036 \%.$$

Пример 8. Для осветительной сети, изображенной на рисунке 5.2 выбрать осветительный щиток, автоматические выключатели, определить площадь сечения кабеля. Силовая и осветительная нагрузки питаются совместно от ТП 10/0,4 кВ мощностью 250 кВА, $U_{xx} = 105 \%$, расчетная нагрузка 200 кВА, $\cos \varphi = 0,85$, потери напряжения в ВЛ 0,38 кВ $\Delta U_{ВЛ} = 4 \%$.

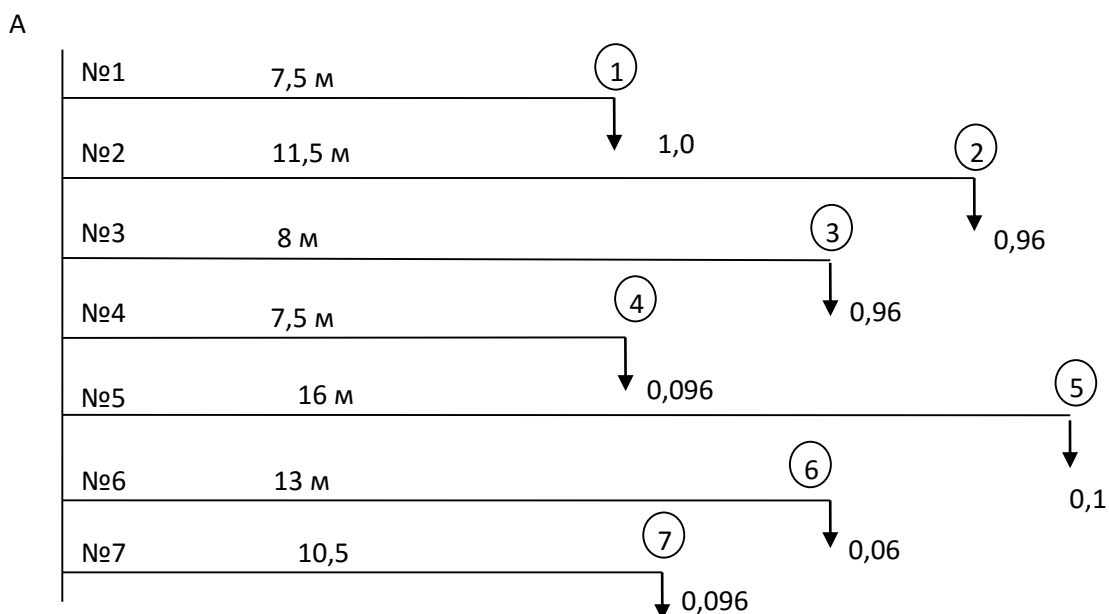


Рисунок 5.2. – Расчетная схема осветительной сети

Решение.

Рабочие токи на вводе и в каждой группе осветительной сети равны

$$I_{\text{раб}} = \frac{4,17 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0,94} = 6,72 \text{ А},$$

$$I_{\text{раб гр1}} = \frac{1 \cdot 10^3}{1 \cdot 220 \cdot 1} = 4,54 \text{ А}.$$

Уставку по току перегрузки расцепителя автоматического выключателя выбираем из условия (5.19) .

Расчет сведен в табл. 5.5.

Таблица 5.5 – Выбор уставок по току перегрузки расцепителя автоматического выключателя

Номер группы	Нагрузка сети, Р, кВт	Число фаз	cosφ	Рабочий ток, I _{раб} , А	к	кI _{раб} , А	Уставка по току перегрузки расцепителя автоматического выключателя I _Р , А
1	1	1	1	4,54	1,4	6,36	16
2	0,96	1	0,9	4,85	1	4,85	10
3	0,96	1	0,9	4,85	1	4,85	10
4	0,096	1	0,9	0,48	1	0,48	10
5	0,1	1	1	0,45	1,4	0,63	10
6	0,06	1	1	0,27	1,4	0,38	16
7	0,096	1	0,9	0,48	1	0,48	10
О-А	4,17	3	0,94	6,72	1,11	7,46	-

Принимаем щиток типа ЯОУ-8502 на 12 групп, с автоматическими выключателями на группах №2,3,4,5,7 ВА 47-29, $I_{np}=10$ А, на группах №1, 6 ВА 47-29 $I_{np}=16$ А.

Для защиты участка сети О-А выбираем предохранитель НПН 2-60, с током плавкой вставки $I_n = 25$ А.

Сечения кабелей определяется по длительному допустимому току по двум условиям (7.19, 7.20).

$$k_t = \sqrt{\frac{t_d - t_p}{t_d - t_T}} = \sqrt{\frac{65 - 35}{65 - 25}} = 0,87, k_{прокл}=1.$$

Выбор сведен в таблицу 5.6.

Таблица 5.6 – Сечения кабелей осветительной сети

Номер группы	Рабочий ток, $I_{раб}$, А	$1,25I_{раб}$, А	Уставка по току перегрузки расцепителя автоматического выключателя I_R , А	k_3	$\frac{k_3 I_3}{k_{прокл} k_t}$	Марка и сечение кабеля	$I_{ддп}$, А
1	4,54	5,68	10	1	11,49	ВВГнг 3×1,5	19
2	4,85	6,06	10	1	11,49	ВВГнг 3×1,5	19
3	4,85	6,06	10	1	11,49	ВВГнг 3×1,5	19
4	0,48	0,6	10	1	11,49	ВВГнг 3×1,5	19
5	0,45	0,56	10	1	11,49	ВВГнг 3×1,5	19
6	0,27	0,39	10	1	11,49	ВВГнг 3×1,5	19
7	0,48	0,6	10	1	11,49	ВВГнг 3×1,5	19

Проверим выбранные сечения кабеля по допустимой потере напряжения.

Активная и реактивная составляющие потерь напряжения в трансформаторе равны

$$u_{a\%} = \frac{3,7}{250} \cdot 100\% = 1,48 \%,$$

$$u_{p\%} = \sqrt{4,5^2 - 1,48^2} = 4,25 \%.$$

Тогда

$$\Delta U_T = \frac{200}{250} \cdot (1,48 \cdot 0,85 + 4,25 \cdot 0,62) = 3,11\%,$$

$$\Delta U_c = 105 - 3,11 - 4 - 95 = 2,89 \%.$$

Потери напряжения на участках сети определяются по формуле (5.35). Расчет моментов нагрузок на участках сети производится по формулам (5.39-5.38). Расчет сведен в таблицу 5.7.

Таблица 5.7 – Расчет моментов нагрузок и потерь напряжения на участках сети

Номер группы	Номер участка	P , кВт	l, м	M, кВт·м	Коэффициент, зависящий от напряжения сети, C	Сечение кабеля, S мм ²	ΔU на участке, %	ΔU группы, %
-	О-А	4,17	3	12,51	72	1,5	0,12	0,12
1	А-1	1,0	7,5	7,5	12	1,5	0,42	0,54
2	А-2	0,96	11,5	11,04	12	1,5	0,61	0,73
3	А-3	0,96	8	7,68	12	1,5	0,42	0,54
4	А-4	0,096	7,5	0,72	12	1,5	0,04	0,26
5	А-5	0,1	16	1,6	12	1,5	0,09	0,21
6	А-6	0,06	13	0,78	12	1,5	0,04	0,16
7	А-7	0,096	10,5	1	12	1,5	0,06	0,18

Максимальные потери напряжения в группе 2 составляют 0,73 %, что меньше допустимого значения 2,89 %.

6 ПРОВЕРКА СЕТИ НА ЗАПУСК МОЩНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Пусковой ток асинхронного короткозамкнутого электродвигателя в 4...7 раз превышает его номинальное значение. Вследствие этого потеря напряжения в сети при пуске может в несколько раз превышать потерю напряжения при нормальной работе, и напряжение на электродвигателе будет значительно ниже, чем в обычном режиме. Допускают понижение напряжения в момент пуска асинхронного короткозамкнутого электродвигателя на его зажимах 30% от номинального значения (т.е. $U_{\partial} = 0,7 U_n$). При пуске электродвигателя напряжение на зажимах любого из остальных работающих электродвигателей не должно снижаться больше чем на 20% номинального напряжения сети.

Если при проектировании электропривода механизма произведена проверка на возможность пуска электродвигателя при снижении напряжения на 30 %, то достаточно рассчитать потерю напряжения в сети при пуске электродвигателя и сравнить её с допустимым значением.

Напряжение на зажимах электродвигателя будет равно разности между напряжением холостого хода питающего трансформатора U_x и полными потерями напряжения в сети, которые в свою очередь складываются из потери напряжения ΔU_c , вызванной нагрузкой до пуска электродвигателя и дополнительной потери напряжения ΔU_{∂} , вызванной пусковым током электродвигателя

$$U_{\partial} = U_x - \Delta U_c - \Delta U_{\partial} = 1,05U_n - \Delta U_c - \Delta U_{\partial}, \quad (6.1)$$

Пусковой ток электродвигателя уменьшается практически пропорционально уменьшению напряжения на его зажимах

$$I'_{\Pi} = I_{\Pi} \frac{U_{\partial}}{U_n} = i_{\Pi} I_n \frac{U_{\partial}}{U_n}, \quad (6.2)$$

где U_{∂} – напряжение на зажимах электродвигателя при его пуске, В;

i_{Π} – кратность пускового тока;

I_n – номинальный ток электродвигателя, А.

Дополнительная потеря напряжения, возникающая при пуске электродвигателя

$$\begin{aligned} \Delta U_{\partial} &= \sqrt{3} I'_{\Pi} (r_{\Sigma} \cos \varphi_n + x_{\Sigma} \sin \varphi_n) = \\ &= \sqrt{3} \kappa_i I_n (r_{\Sigma} \cos \varphi_n + x_{\Sigma} \sin \varphi_n) U_{\partial} / U_n, \end{aligned} \quad (6.3)$$

где r_{Σ} – активное сопротивление сети, Ом;

x_{Σ} – индуктивное сопротивление сети, Ом;

$\cos \varphi_n$ – коэффициент мощности двигателя при пуске.

Если сеть состоит из n участков сопротивление которых r_i и x_i , а сопротивление трансформатора r_T и x_T , то

$$r_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n r_i + r_T, \quad (6.4)$$

$$x_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n x_i + x_T. \quad (6.5)$$

Коэффициент мощности электродвигателя при пуске можно определить как среднее арифметическое из двух вычисленных значений по формулам

$$\cos \varphi_n = \cos \varphi_n \left[\frac{m_n}{(1 - s_n) \kappa_i} + \frac{1}{3} i_{\Pi} (1 - \eta_n) \right], \quad (6.6)$$

$$\cos \varphi_n = \frac{\eta_n \cos \varphi_n (m_n + 0,025 i_{\Pi}^2)}{(1 - s_n) i_{\Pi}}, \quad (6.7)$$

где m_n – кратность пускового момента электродвигателя;

s_n – номинальное скольжение;

η_n – номинальный КПД электродвигателя;

Коэффициент мощности электродвигателя при пуске также можно определить по упрощенной формуле

$$\cos \varphi_n = \frac{2 \cos \varphi_n m_n}{\kappa_i}. \quad (6.8)$$

С учетом выше приведенных формул дополнительные потери напряжения ΔU_{∂} , В, равны

$$\Delta U_{\partial} = \frac{\sqrt{3} \kappa_i I_n (r_{\Sigma} \cos \varphi_n + x_{\Sigma} \sin \varphi_n) (1,05 U_n - \Delta U_c)}{(U_n + \sqrt{3} i_{\Pi} I_n (r_c \cos \varphi_n + x_c \sin \varphi_n))}. \quad (6.9)$$

Возможность прямого пуска короткозамкнутого электродвигателя определяется из условия

$$M_n \left(\frac{U_{\partial}}{U_n} \right)^2 \geq M_{изб} + M_{мех}, \quad (6.10)$$

где M_n – момент, развиваемый электродвигателем при пуске, Нм;

$M_{изб}$ – избыточный момент, Нм;

$M_{мех}$ – начальный момент приводного механизма, Нм.

Избыточный момент принимается равным 20 % от величины начального момента приводного механизма.

Тогда

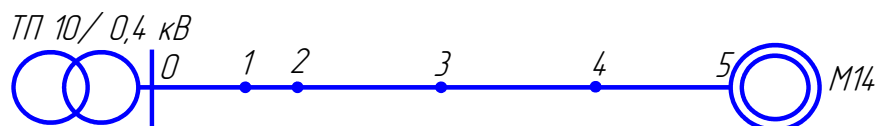
$$M_n \left(\frac{U_{\partial}}{U_n} \right)^2 \geq 1,2 M_{мех}. \quad (6.11)$$

Разделив обе части равенства на номинальный момент электродвигателя получим

$$m_n \left(\frac{U_\partial}{U_n} \right)^2 \geq 1,2 m_{\text{мех}}. \quad (6.12)$$

Пример 9. Проверить сеть напряжением 380 В на запуск электродвигателя привода вентилятора. Каталожные данные электродвигателя:

АИР180М4 $P_n = 30$ кВт, $n_n = 1470$ об/мин, $I_n = 57$ А, $\eta_n = 92\%$, $\cos\varphi = 0,87$, $i_{II} = 7$, $m_n = 1,7$; $m_m = 1,5$; $m_k = 2,7$.



Трансформатор: $S_{ном} = 400$ кВ·А, $P_{к ном} = 5,5$ кВт, $u_k = 4,5\%$.

Расчетные нагрузки на шинах 0,4 кВ ТП: $P_p = 377$ кВт, $Q_p = 150$ квар.

Исходные данные для расчета приведены в табл. 10.1.

Таблица 6.1 – Исходные данные к расчету

Номер участка	Длина участка, м	Кабель, шинопровод			Нагрузка	
		Тип	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	P_p , кВт	Q_p , квар
0-1	8	ВВГнг 5×185	0,115	0,069	92,0	75,0
1-2	2	ШРА-73	0,2	0,1	92,0	75,0
2-3	11	ШРА-73	0,2	0,1	58,65	38,15
3-4	17	ШРА-73	0,2	0,1	30,0	17,0
4-5	17	ВВГнг 5×10	2,14	0,088	30,0	17,0

Решение.

Определяем нагрузки на участках сети и на шинах ТП до пуска электродвигателя:

– на участках 3-4 и 4-5 нагрузка отсутствует

– на участке 2-3

$$P_p = 58,65 - 30 = 28,65 \text{ кВт}, Q_p = 38,15 - 17 = 21,15 \text{ квар.}$$

– на участках 1-2 и 0-1

$$P_p = 92 - 30 = 62 \text{ кВт}, Q_p = 75 - 17 = 58 \text{ квар.}$$

– на шинах ТП

$$P_p = 377 - 30 = 347 \text{ кВт}, Q_p = 150 - 17 = 133 \text{ квар.}$$

Определяем потери на участках сети до пуска электродвигателя:

– участок 0-1

$$\Delta U_{0-1} = \frac{(P_p r_0 + Q_p x_0) l}{10 U_n^2} 100\% = \frac{(62 \cdot 0,115 + 58 \cdot 0,069) 8 \cdot 10^{-3}}{10 \cdot 0,38^2} 100\% = 0,06\%.$$

– участок 1-2

$$\Delta U_{1-2} = \frac{(62 \cdot 0,2 + 58 \cdot 0,1) 2 \cdot 10^{-3}}{10 \cdot 0,38^2} 100\% = 0,025 \%$$

– участок 2-3

$$\Delta U_{2-3} = \frac{(28,65 \cdot 0,2 + 21,15 \cdot 0,1) 11 \cdot 10^{-3}}{10 \cdot 0,38^2} 100\% = 0,028 \%$$

Определяем активное и индуктивное сопротивления трансформатора:

$$r_T = \frac{P_{к.ном} \cdot U_{нн.ном}^2}{S_{T.ном}^2} 10^3 = \frac{5,5 \cdot 0,4^2}{400^2} 10^3 = 0,0055 \text{ Ом.}$$

$$x_T = \sqrt{u_k^2 - \left(\frac{100 P_{к.ном}}{S_{T.ном.}}\right)^2} \frac{U_{нн.ном.}^2}{S_{T.ном.}^2} \cdot 10^4 = \sqrt{4,5^2 - \left(\frac{100 \cdot 5,5}{400}\right)^2} \frac{0,4^2}{400^2} 10^4 = 0,043 \text{ Ом.}$$

Потери напряжения в трансформаторе

$$\Delta U_T = \frac{P_p r_T + Q_p x_T}{10 U_n^2} = \frac{347 \cdot 0,0055 + 133 \cdot 0,043}{10 \cdot 0,38^2} = 5,28 \%$$

Потери напряжения в сети до пуска электродвигателя

$$\Delta U_c = \sum_{i=1}^n \Delta U_i + \Delta U_T = 0,06 + 0,025 + 0,028 + 5,28 = 5,39 \%$$

$$\Delta U_c = \frac{5,39}{100} 380 = 20,48 \text{ В.}$$

Коэффициент мощности электродвигателя при пуске

$$\cos \varphi_n = \frac{2 \cos \varphi_n m_n}{i_{II}} = \frac{2 \cdot 0,87 \cdot 1,7}{7} = 0,42.$$

Активное и индуктивное сопротивления сети

$$r_\Sigma = \sum_{i=1}^n r_{0i} l_{0i} + r_T = 0,115 \cdot 0,008 + 0,2 \cdot 0,002 + 0,2 \cdot 0,011 + 0,2 \cdot 0,017 + \\ + 2,14 \cdot 0,017 + 0,0055 = 0,0488 \text{ Ом,}$$

$$x_\Sigma = \sum_{i=1}^n x_{0i} l_{0i} + x_T = 0,069 \cdot 0,008 + 0,1 \cdot 0,002 + 0,1 \cdot 0,011 + 0,1 \cdot 0,017 +$$

$$+ 0,088 \cdot 0,017 + 0,043 = 0,048 \text{ Ом.}$$

Дополнительные потери напряжения, возникающие при пуске электродвигателя

$$\Delta U_{\partial} = \frac{\sqrt{3} \kappa_i I_n (r_{\Sigma} \cos \varphi_n + x_{\Sigma} \sin \varphi_n) (1,05 U_n - \Delta U_c)}{(U_n + \sqrt{3} i_{II} I_n (r_{\Sigma} \cos \varphi_n + x_{\Sigma} \sin \varphi_n))} =$$

$$= \frac{\sqrt{3} \cdot 7 \cdot 57 (0,0488 \cdot 0,42 + 0,048 \cdot 0,91) (1,05 \cdot 380 - 20,48)}{(380 + \sqrt{3} \cdot 7 \cdot 57 (0,0488 \cdot 0,42 + 0,048 \cdot 0,91))} = 38 \text{ В.}$$

Напряжение на зажимах электродвигателя

$$U_{\partial} = 1,05 U_n - \Delta U_c - \Delta U_{\partial} = 1,05 \cdot 380 - 20,48 - 38 = 340,52 \text{ В.}$$

Снижение напряжения на зажимах электродвигателя

$\Delta U = 380 - 340,52 = 39,48 \text{ В}$, что в % от номинального значения составляет

$$\Delta U, \% = \frac{39,48}{380} 100 = 10,39 \% < 30 \%.$$

При необходимости возможность пуска электродвигателя проверяют по соотношению

$$m_n \left(\frac{U_{\partial}}{U_n} \right)^2 \geq 1,2 m_{\text{Mex}}$$

$$1,7 \left(\frac{340,52}{380} \right)^2 \geq 1,2 \cdot 0,5,$$

$$1,37 > 0,6,$$

следовательно, прямой пуск электродвигателя возможен.

7 РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ. ПРОВЕРКА ЗАЩИТНОЙ АППАРАТУРЫ НА БЫСТРОДЕЙСТВИЕ И СЕЛЕКТИВНОСТЬ

Особенность расчета токов короткого замыкания в установках напряжением до 1000 В заключается в том, что кроме индуктивных учитываются и активные сопротивления цепи короткого замыкания (воздушных и кабельных линий, обмоток силовых трансформаторов, трансформаторов тока, шин, коммутационной аппаратуры). При расчетах, согласно ПЭУ и СН 174-75, следует исходить из следующих условий /3/:

напряжение трансформатора неизменно и мощность системы не ограничена, т.е. $x_c = 0$ (это условие выполняется, если мощность системы примерно в 50 раз больше мощности трансформатора);

по режиму короткого замыкания в сетях до 1000 В должны проверяться лишь элементы, указанные в ПУЭ, т. е. распределительные щиты, силовые шкафы и токопроводы;

по термической стойкости к токам короткого замыкания не проверяются элементы, защищаемые плавкими предохранителями, если время их перегорания *менее* 0,01 с. При такой быстроте отключения цепи ток короткого замыкания не успевает достигнуть амплитудного значения и, следовательно, действие будет оказывать лишь то значение тока, при котором предохранитель сработал.

При электроснабжении электроустановок от энергосистемы через понижающие трансформаторы начальное значение периодической составляющей тока однофазного КЗ от системы $I_{no}^{(1)}$, кА, рассчитывают по формуле /27/

$$I_{no}^{(1)} = \frac{\sqrt{3}U_{ср.нн}}{\sqrt{(2r_{1\Sigma} + r_{0\Sigma})^2 + (2x_{1\Sigma} + x_{0\Sigma})^2}}, \quad (7.1)$$

где $U_{ср.нн}$ — среднее номинальное напряжение сети, подключенной к обмотке низшего напряжения трансформатора, В;

$r_{1\Sigma}$ и $x_{1\Sigma}$ —соответственно суммарное активное и индуктивное сопротивление прямой последовательности расчетной схемы относительно точки КЗ, мОм;

$r_{0\Sigma}$ и $x_{0\Sigma}$ —соответственно суммарное активное и суммарное индуктивное сопротивление нулевой последовательности расчетной схемы относительно точки КЗ, мОм.

Эти сопротивления равны /27/:

– прямой последовательности:

$$r_{1\Sigma} = r_T + r_P + r_{TA} + r_{KB} + r_{Ш} + r_K + r_{KB} + r_{БЛ} + r_D; \quad (7.2)$$

$$x_{1\Sigma} = x_C + x_T + x_P + x_{TA} + x_{KB} + x_{Ш} + x_{KB} + x_{БЛ}, \quad (7.3)$$

- где r_T и x_T — активное и индуктивное сопротивления прямой последовательности понижающего трансформатора, мОм;
- r_{TA} и x_{TA} — активное и индуктивное сопротивления первичных обмоток трансформаторов тока, мОм;
- x_C — индуктивное сопротивление системы до понижающего трансформатора, приведенное к ступени низшего напряжения, мОм;
- r_P и x_P — активное и индуктивное сопротивления реакторов, мОм;
- r_{KB}, x_{KB} — активное и индуктивное сопротивления токовых катушек автоматических выключателей, мОм;
- r_{III} и x_{III} — активное и индуктивное сопротивления шинопроводов, мОм;
- r_K — суммарное активное сопротивление различных контактов и контактных соединений, мОм;
- $r_{KB}, r_{ВЛ}$ и $x_{KB}, x_{ВЛ}$ — активное и индуктивное сопротивления прямой последовательности кабельных и воздушных линий, мОм;
- r_D — активное сопротивление дуги в месте КЗ, мОм.
- нулевой последовательности

$$r_{0\Sigma} = r_{0T} + r_P + r_{TA} + r_{KB} + r_K + r_{0III} + r_{0KB} + r_{0ВЛ} + r_D; \quad (7.4)$$

$$x_{0\Sigma} = x_{0T} + x_P + x_{TA} + x_{KB} + x_{0III} + x_{0KB} + x_{0ВЛ}; \quad (7.5)$$

где r_{0T} и x_{0T} — активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности понижающего трансформатора, мОм;

r_{0III} и x_{0III} — активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности шинопроводов, мОм;

r_{0KB}, x_{0KB} — активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности кабельной линии, мОм;

$r_{0ВЛ}, x_{0ВЛ}$ — активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности воздушной линии, мОм.

Начальное действующее значение периодической составляющей трехфазного тока КЗ $I_K^{(3)}$, кА, рассчитывают по формуле

$$I_K^{(3)} = \frac{U_{срнн}}{\sqrt{3} \sqrt{r_{1\Sigma}^2 + x_{1\Sigma}^2}}, \quad (7.6)$$

Ударный ток трехфазного короткого замыкания в электроустановках $i_{уд}$, кА, определяется по формуле

$$i_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot K_{y\partial} \cdot I_K^{(3)}, \quad (7.7)$$

где $K_{y\partial}$ — ударный коэффициент.

Ударный коэффициент определяется из выражения

$$K_{y0} = I + \sin \varphi_K \cdot e^{-\frac{t_y}{T_A}}, \quad (7.8)$$

где T_A – постоянная времени затухания аperiodической составляющей тока короткого замыкания, с;

t_y – время от начала короткого замыкания до появления ударного тока, с;

$$t_y = 0,01 \cdot \left(\frac{\varphi_K + 90}{180} \right), \quad (7.9)$$

здесь φ_K – угол сдвига по фазе напряжения источника и периодической составляющей тока короткого замыкания.

$$\varphi_K = \arctg \frac{x_{1\Sigma}}{r_{1\Sigma}}. \quad (7.10)$$

Постоянная времени затухания рассчитывается по формуле

$$T_A = \frac{x_{1\Sigma}}{\omega_C \cdot r_{1\Sigma}}, \quad (7.11)$$

где ω_C – синхронная угловая частота сети, рад/с.

Учет сопротивления дуги в месте КЗ является рекомендательным. Допускается пренебречь изменением сопротивления проводников короткозамкнутой цепи вследствие нагрева при КЗ.

При отсутствии данных об энергосистеме индуктивное сопротивление системы рассчитывают по формуле

$$x_C = \frac{U_{ср.нн}^2}{\sqrt{3} \cdot I_{откл.ном} U_{ср.вн}}, \quad (7.12)$$

где $I_{откл.ном}$ – номинальный ток отключения выключателя, установленного на стороне высшего напряжения понижающего трансформатора, А;

$U_{ср.нн}$ – среднее номинальное напряжение сети, подключенной к обмотке низшего напряжения трансформатора, В;

$U_{ср.вн}$ – среднее номинальное напряжение сети, к которой подключена обмотка высшего напряжения трансформатора, В.

Активное и индуктивное сопротивления прямой последовательности понижающих трансформаторов r_T, x_T , мОм, приведенные к ступени низшего напряжения сети, рассчитывают по формулам

$$r_T = \frac{P_{к.ном} U_{нн.ном.}^2}{S_{T.ном}^2} \cdot 10^6; \quad (7.13)$$

$$x_T = \sqrt{u_K^2 - \left(\frac{100 P_{к.ном}}{S_{T.ном.}} \right)^2} \frac{U_{нн.ном.}^2}{S_{T.ном}} \cdot 10^4$$

где $P_{к.ном}$ – потери короткого замыкания в трансформаторе, кВт;

- $S_{T.ном}$ – номинальная мощность трансформатора, кВА;
 $U_{нн.ном}$ – номинальное напряжение обмотки низшего напряжения трансформатора, кВ;
 u_k – напряжение короткого замыкания трансформатора, %.

Активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности понижающих трансформаторов r_{0T}, x_{0T} , мОм, приведенные к ступени низшего напряжения сети с учетом поправочных коэффициентов K_R и K_x (рис. п.9.1, п.9.2), зависящих от числа промежуточных заземлений, рассчитывают по формулам

$$r_{0T} = 10 r_T K_R, \quad (7.14)$$

$$x_{0T} = 7 x_T K_x. \quad (7.15)$$

Сопротивления первичных обмоток многовитковых трансформаторов тока r_{TA} и x_{TA} приведены в табл. п.9.3.

Суммарное сопротивление катушек и контактов автоматических выключателей серий АЗ700 и ВА r_{KB} и x_{KB} приведены в табл. п.9.4.

Активное и индуктивное сопротивления прямой последовательности шинпровода r_{III}, x_{III} , мОм, определяют по формулам

$$r_{III} = r_l l, \quad (7.16)$$

$$x_{III} = x_l l, \quad (7.17)$$

где r_l, x_l – активное и индуктивное сопротивления фазы, мОм/м;

l – длина шинпровода, м.

Активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности фазы шинпровода ориентировочно принимают

$$r_{0III} = (r_l + 3r_{nn}) l, \quad (7.18)$$

$$x_{0III} = (7,5 \dots 9,4) x_{III}, \quad (7.19)$$

где r_{nn} – сопротивление нулевого провода, мОм/м.

Параметры шинпроводов серии ШМА и ШРА приведены в табл. п.9.5.

Сопротивления контактов r_k , мОм, принимаются равными:

- для контактных соединений кабеля 0,1 мОм;
- для шинпроводов ШРА-73–250А 0,009 мОм,
- ШРА-73–400А 0,006 мОм,
- ШРА-73–630А 0,004 мОм,
- ШРА-73–1600А 0,003 мОм;
- для коммутационных аппаратов по данным табл. п.9.6.

Активное и индуктивное сопротивления прямой (обратной) и нулевой последовательности воздушной линии, выполненной изолированным проводом СИП с учетом поправочных коэффициентов K_R и K_x , зависящих от числа промежуточных заземлений определяют по формулам

$$r_{БЛ} = r'_{БЛ} l_{БЛ}, \quad (7.20)$$

$$x_{БЛ} = x'_{БЛ} l_{БЛ}, \quad (7.21)$$

$$r_{0БЛ} = r'_{0БЛ} l_{БЛ} \cdot K_R, \quad (7.22)$$

$$x_{0БЛ} = x'_{0БЛ} l_{БЛ} \cdot K_x, \quad (7.23)$$

где $r'_{БЛ}$, $x'_{БЛ}$ – удельное активное и индуктивное сопротивления прямой последовательности, мОм/м;

$r'_{0БЛ}$, $x'_{0БЛ}$ – удельное активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности, мОм/м;

$l_{БЛ}$ – длина воздушной линии, м.

Активное и индуктивное сопротивления кабелей прямой (обратной) и нулевой последовательности принимают как указано изготовителями или по справочным данным.

При определении минимального значения тока КЗ рекомендуется учитывать увеличение активного сопротивления кабеля к моменту отключения цепи вследствие нагревания кабеля током КЗ.

Значение активного сопротивления кабеля в мОм с учетом нагрева его током КЗ рассчитывают по формуле

$$r_v = c_v \cdot r_{v0}, \quad (7.24)$$

где r_{v0} – активное сопротивление кабеля при температуре v_0 , равной 20°C, мОм.

c_v – коэффициент, учитывающий увеличение активного сопротивления кабеля (при приближенных расчетах $c_v = 1,5$, при уточненных расчетах по графику).

Активное и индуктивное сопротивления прямой (обратной) и нулевой последовательности кабеля определяют по формулам

$$r_{КБ} = r'_{КБ} \cdot l_{КБ}, \quad (7.25)$$

$$x_{КБ} = x'_{КБ} \cdot l_{КБ}, \quad (7.26)$$

$$r_{0КБ} = r'_{0КБ} l_{КБ} \cdot K_R, \quad (7.27)$$

$$x_{0КБ} = x'_{0КБ} l_{КБ} \cdot K_x, \quad (7.28)$$

где $r'_{КБ}$, $x'_{КБ}$ – активное и индуктивное сопротивления прямой последовательности 1 метра кабеля, мОм/м;

$r'_{0КБ}$, $x'_{0КБ}$ – активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности 1 метра кабеля, мОм/м;

$l_{КБ}$ – длина кабельной линии, м.

Параметры кабеля приведены в табл. п.9.7 и п.9.8.

Пример 10. Рассчитать токи короткого замыкания и проверить на быстроедействие и отключающую способность защитную аппаратуру.

QF2: BA51Г25, $I_R = 6,3$ А; FU1: НПП2-60, $I_n = 20$ А; QF1: А3716, $I_R = 125$ А.

Расчетная схема с указанием параметров аппаратов показана на рисунке 7.1.

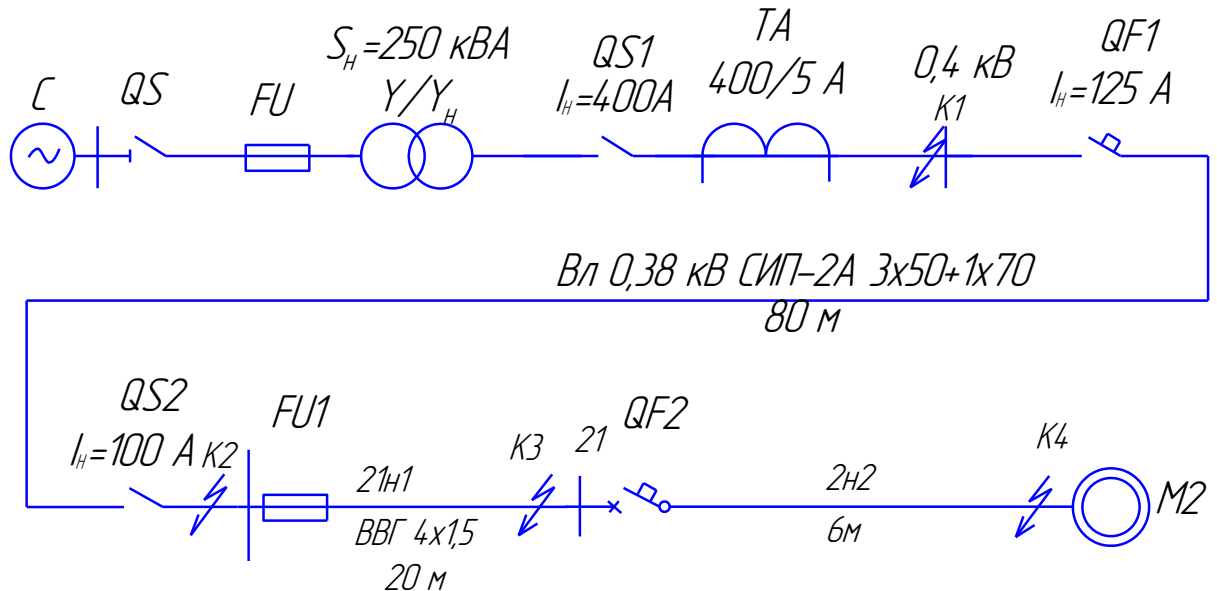


Рисунок 7.1 – Расчетная схема

Решение.

Активное и индуктивное сопротивления прямой последовательности понижающего трансформатора r_T, x_T , мОм, приведенное к ступени низшего напряжения сети равны:

$$r_T = \frac{P_{к.ном} U_{нн.ном.}^2}{S_{T.ном}^2} \cdot 10^6 = \frac{3,7 \cdot 0,4^2}{250^2} 10^6 = 9,47 \text{ мОм},$$

$$x_T = \sqrt{u_k^2 - \left(\frac{100 P_{к.ном}}{S_{T.ном.}} \right)^2} \frac{U_{нн.ном.}^2}{S_{T.ном.}} \cdot 10^4 =$$

$$= \sqrt{4,5^2 - \left(\frac{100 \cdot 3,7}{250} \right)^2} \cdot \frac{0,4^2}{250} \cdot 10^4 = 27,19 \text{ мОм}.$$

Активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности понижающего трансформатора r_{0T}, x_{0T} , мОм, равны

$$r_{0T} = 10 r_T K_R = 10 \cdot 9,47 \cdot 0,98 = 92,81 \text{ мОм},$$

$$x_{0T} = 7 x_T K_x = 7 \cdot 27,19 \cdot 0,97 = 184,62 \text{ мОм}.$$

Сопротивление трансформаторов тока /29/

$$r_{TA} = 0,11 \text{ мОм}, x_{TA} = 0,17 \text{ мОм}.$$

Суммарное сопротивление катушек и контактов автоматических выключателей :

– QF1 $r_{KB} = 1,3$ мОм, $x_{KB} = 0,7$ мОм;

– QF2 $r_{KB} = 7$ мОм, $x_{KB} = 4,5$ мОм.

Активное и индуктивное сопротивления прямой последовательности шинпровода r_{III} , x_{III} , мОм, равны

$$r_{III} = r_I l = 0,15 \cdot 1 = 0,15 \text{ мОм},$$

$$x_{III} = x_I l = 0,17 \cdot 1 = 0,17 \text{ мОм}.$$

Активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности фазы шинпровода ориентировочно принимают

$$r_{0III} = (r_I + 3r_{III}) l = (0,15 + 3 \cdot 0,162) l = 0,64 \text{ мОм},$$

$$x_{0III} = (7,5 \dots 9,4) x_{III} = 8 \cdot x_{III} = 8 \cdot 0,17 = 1,36 \text{ мОм}.$$

Сопротивления болтовых контактных соединений шинпровода:

$$r_{Kш} = 4 \cdot r_{\text{болта}} = 4 \cdot 0,006 = 0,024 \text{ мОм}.$$

Сопротивление разъемных контактов рубильников:

$$- QS1 \quad r_K = 0,2 \text{ мОм};$$

$$- QS2 \quad r_K = 0,5 \text{ мОм}.$$

Активное и индуктивное сопротивления прямой (обратной) и нулевой последовательности воздушной линии выполненной изолированным проводом СИП-2А с учетом поправочных коэффициентов K_R и K_x :

$$r_{ВЛ} = r'_{ВЛ} l_{ВЛ} = 0,756 \cdot 80 = 60,48 \text{ мОм},$$

$$x_{ВЛ} = x'_{ВЛ} l_{ВЛ} = 0,101 \cdot 80 = 8,08 \text{ мОм}$$

$$r_{0ВЛ} = r'_{0ВЛ} l_{ВЛ} \cdot K_R = 0,581 \cdot 80 \cdot 0,98 = 45,55 \text{ мОм}$$

$$x_{0ВЛ} = x'_{0ВЛ} l_{ВЛ} \cdot K_x = 0,045 \cdot 80 \cdot 0,97 = 3,49 \text{ мОм}.$$

Сопротивления кабельной линии 21н1:

$$r_{1КБ} = r'_{1КБ} \cdot l_{КБ} = 14,9 \cdot 20 = 298 \text{ мОм},$$

$$x_{1КБ} = x'_{1КБ} \cdot l_{КБ} = 0,113 \cdot 20 = 2,26 \text{ мОм},$$

$$r_{0КБ} = r'_{0КБ} l_{КБ} = 17,14 \cdot 20 = 342,8 \text{ мОм},$$

$$x_{0КБ} = x'_{0КБ} l_{КБ} = 1,85 \cdot 20 = 37 \text{ мОм}.$$

Сопротивления кабельной линии 2н2:

$$r_{1КБ} = r'_{1КБ} \cdot l_{КБ} = 14,9 \cdot 6 = 89,4 \text{ мОм},$$

$$x_{1КБ} = x'_{1КБ} \cdot l_{КБ} = 0,113 \cdot 6 = 0,678 \text{ мОм},$$

$$r_{0КБ} = r'_{0КБ} l_{КБ} = 17,14 \cdot 6 = 102,8 \text{ мОм},$$

$$x_{0КБ} = x'_{0КБ} l_{КБ} = 1,85 \cdot 6 = 11,1 \text{ мОм}.$$

Суммарное активное и индуктивное сопротивления прямой последовательности и ток трехфазного короткого замыкания:

– точка К1

$$r_{I\Sigma} = 9,47 + 0,11 + 0,2 = 9,78 \text{ мОм},$$

$$x_{l\Sigma}=27,19+0,17=27,36 \text{ мОм.}$$

$$I_K^{(3)} = \frac{U_{\text{ср.нн}}}{\sqrt{3}\sqrt{r_{l\Sigma}^2 + x_{l\Sigma}^2}} = \frac{400}{\sqrt{3}\sqrt{9,78^2 + 27,36^2}} = 7,96 \text{ кА.}$$

– точка К2

$$r_{l\Sigma} = 9,47+0,11+1,3+0,15+0,024+0,2+0,5+60,48=72,23 \text{ мОм,}$$

$$x_{l\Sigma}=27,19+0,17+0,7+0,17+8,08=36,31 \text{ мОм.}$$

$$I_K^{(3)} = \frac{U_{\text{ср.нн}}}{\sqrt{3}\sqrt{r_{l\Sigma}^2 + x_{l\Sigma}^2}} = \frac{400}{\sqrt{3}\sqrt{72,23^2 + 36,31^2}} = 2,86 \text{ кА.}$$

– точка К3

$$r_{l\Sigma} = 9,47+0,11+1,3+0,15+0,024+0,2+0,5+60,48+298=370,23 \text{ мОм,}$$

$$x_{l\Sigma}=27,19+0,17+0,7++0,17+8,08+2,26=38,57 \text{ мОм.}$$

$$I_K^{(3)} = \frac{U_{\text{ср.нн}}}{\sqrt{3}\sqrt{r_{l\Sigma}^2 + x_{l\Sigma}^2}} = \frac{400}{\sqrt{3}\sqrt{370,23^2 + 38,57^2}} = 0,62 \text{ кА.}$$

Суммарное активное и индуктивное сопротивления прямой последовательности, нулевой последовательности и ток однофазного короткого замыкания:

– точка К2

$$r_{0\Sigma} = 92,81+0,11+1,3+0,024+0,2+0,5+0,64+45,55=141,13 \text{ мОм,}$$

$$x_{0\Sigma}=184,62+0,17+0,7+1,36+3,49=190,34 \text{ мОм}$$

$$I_{no}^{(1)} = \frac{\sqrt{3}U_{\text{ср.нн}}}{\sqrt{(2r_{l\Sigma} + r_{0\Sigma})^2 + (2x_{l\Sigma} + x_{0\Sigma})^2}} =$$

$$= \frac{\sqrt{3} \cdot 400}{\sqrt{(2 \cdot 72,03 + 141,13)^2 + (2 \cdot 70,05 + 190,34)^2}} = 1,59 \text{ кА.}$$

– точка К3

$$r_{0\Sigma} = 92,81+0,11+1,3+0,024+0,2+0,5+0,64+45,55+342,8=483,93 \text{ мОм,}$$

$$x_{0\Sigma}=184,62+0,17+0,7+1,36+3,49+37=227,34 \text{ мОм}$$

$$I_{no}^{(1)} = \frac{\sqrt{3}U_{\text{ср.нн}}}{\sqrt{(2r_{l\Sigma} + r_{0\Sigma})^2 + (2x_{l\Sigma} + x_{0\Sigma})^2}} =$$

$$= \frac{\sqrt{3} \cdot 400}{\sqrt{(2 \cdot 370,03 + 483,93)^2 + (2 \cdot 76,31 + 227,34)^2}} = 0,519 \text{ кА.}$$

– точка К4

$$r_{l\Sigma} = 9,47+0,11+1,3+7+0,15+0,024+0,2+0,5+60,48+$$

$$+298+89,4=466,63 \text{ мОм},$$

$$x_{I\Sigma}=27,19+0,17+0,7+4,5+0,17+8,08+2,26+0,678=$$

$$=39,25 \text{ мОм}.$$

$$r_{0\Sigma}=92,81+0,11+1,3+7+0,024+0,2+0,5+0,64+45,55+$$

$$+342,8+102,8=593,73 \text{ мОм},$$

$$x_{0\Sigma}=184,62+0,17+0,7+4,5+1,36+3,49+37+11,1=242,94 \text{ мОм}$$

$$I_{no}^{(1)} = \frac{\sqrt{3}U_{cp.nn}}{\sqrt{(2r_{I\Sigma} + r_{0\Sigma})^2 + (2x_{I\Sigma} + x_{0\Sigma})^2}} =$$

$$= \frac{\sqrt{3} \cdot 400}{\sqrt{(2 \cdot 466,63 + 593,73)^2 + (2 \cdot 39,25 + 242,94)^2}} = 0,443 \text{ кА}.$$

Проверим защитные аппараты на отключающую способность

Для предохранителя предельный ток отключения должен быть больше ударного тока трехфазного короткого замыкания в месте установки предохранителя

$$I_{IP} \geq \sqrt{2}k_y I_k^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 2,86 = 4,04 \text{ кА}.$$

Для предохранителя НПН2-60 $I_{IP} = 10 \text{ кА}$.

Для автоматических выключателей отключающая способность проверяется по условию

$$I_{cn} \geq I_k^{(3)}$$

Для автоматического выключателя АЗ716, $I_R=125 \text{ А}$, $I_{cn} = 25 \text{ кА}$
 $25 > 7,96$.

Для автоматического выключателя ВА51Г25, $I_R=6,3 \text{ А}$, $I_{cn} = 1,5 \text{ кА}$
 $1,5 > 0,62$.

Проверим защитную аппаратуру на быстродействие используя время-токовые характеристики.

Время срабатывания автоматического выключателя АЗ716, $I_R=125 \text{ А}$ при токе однофазного короткого замыкания в точке К2, равном 1,59 кА, составляет 3 с, что меньше допустимых 5 с.

Время срабатывания предохранителя НПН 2-60, $I_n = 20 \text{ А}$ при токе однофазного короткого замыкания в точке К3, равном 0,519 кА, составляет 0,03 с, что меньше допустимых 0,2 с.

Время срабатывания автоматического выключателя ВА51Г25, $I_R= 6,3 \text{ А}$ при токе однофазного короткого замыкания в точке К4, равном 0,443 кА менее 0,02 с.

Проверим селективность действия смежных аппаратов защиты. За расчетный ток примем ток трехфазного короткого замыкания в точке К3, так как сопротивление контактов автоматического выключателя QF2 мало.

При токе 0,62 кА автоматический выключатель QF2 *BA51Г25*, $I_R = 6,3$ А сработает за время менее 0,02 с, предохранитель FU1 *НПН 2-60*, $I_n = 20$ А сработает за 0,025 с. Селективность действия смежных защит обеспечивается поскольку быстродействие ближайшего к точке К3 защитного аппарата QF2 наименьшее.

Для проверки селективности действия предохранителя FU1 и автоматического выключателя *QF1 A3716*, $I_R = 125$ А за расчетный ток принимаем ток $I_{\epsilon}^{(3)}$ в точке К2. При токе 1,59 кА предохранитель FU1 сработает за 0,02 с, автоматический выключатель QF1 за 0,03 с.

8 ЗАЗЕМЛЕНИЕ ПОДСТАНЦИЙ 10/0,4 кВ И ПОВТОРНОЕ ЗАЗЕМЛЕНИЕ НУЛЕВОГО ПРОВОДА СЕТИ 0,38 кВ

8.1 Требования, предъявляемые к заземлениям

Для трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ заземляющее устройство должно быть выполнено общее для сети и оборудования 10 и 0,4 кВ. В связи с этим выбор нормативного значения сопротивления растеканию заземляющего устройства R_z нужно производить исходя из следующих общих норм, отмеченных в ПУЭ:

- $10 \text{ Ом} \geq R_z \leq 250/I_z$ - для ВЛ 10 кВ, выполненной на железобетонных или металлических опорах, при прохождении линии по населенной местности (здесь I_z - ток однофазного замыкания на землю);

- $R_z \leq 4 \text{ Ом}$ - для электроустановок до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью, когда к заземляющему устройству присоединены нейтрали генераторов или трансформаторов с линейным напряжением 380 В. Это сопротивление должно быть обеспечено с учетом использования естественных заземлителей, а также заземлителей повторных заземлений нулевого провода ВЛ 0,38 кВ при числе отходящих линий не менее двух. Сопротивление заземлителя, расположенного в непосредственной близости от нейтрали генератора или трансформатора, должно быть не более 30 Ом (при одной отходящей ВЛ 0,38 кВ эта норма должна составлять не более 4 Ом);

- $R_z \leq 8 \text{ Ом}$ - для электроустановок до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью, когда к заземляющему устройству присоединены нейтрали генераторов и трансформаторов с линейным напряжением 220 В источника трехфазного тока;

- $R_z \leq 10 \text{ Ом}$ - для общего сопротивления заземляющих устройств всех повторных заземлений каждой ВЛ при линейном напряжении источника трехфазного тока 380 В;

- $R_z \leq 30 \text{ Ом}$ - для сопротивлений заземляющего устройства каждого повторного заземления на ВЛ 0,38 кВ.

Для электроустановок напряжением до 1 кВ с заземленной нейтралью при удельном сопротивлении грунта ρ более 100 Ом·м /4/ допускают увеличение сопротивления заземляющих устройств в $0,01 \cdot \rho$ (но не более десятикратного значения).

На опорах ВЛ выполняются повторные заземления нулевого проводника, заземляющие устройства для защиты от грозовых перенапряжений, заземления электрооборудования, установленного на опорах. Сопротивление заземляющего устройства должно быть не более 30 Ом.

Повторные заземления должны быть выполнены на концах ВЛ или ответвлений от них длиной более 200 м, а также на вводах ВЛ к электроустановкам, в которых в качестве защитной меры при косвенном прикосновении применено автоматическое отключение питания.

Заземляющие устройства, предназначенные для защиты от грозových перенапряжений должны быть выполнены на ВЛ, проходящей в населенной местности с одно- и двухэтажной застройкой. Расстояния между заземлениями должно быть не более 200 м для районов с числом грозových часов в году до 40; 100 м для районов с числом грозových часов в году более 40.

Кроме того, заземляющие устройства должны быть выполнены:

- на опорах с ответвлениями к вводам в здания, в которых может быть сосредоточено большое количество людей (школы; ясли, больницы и т. п.) или которые представляют большую материальную ценность (животноводческие и птицеводческие помещения, склады).
- на конечных опорах линий, имеющих ответвления к вводам, при этом наибольшее расстояние от соседнего защитного заземления этих же линий должно быть не более 100 м для районов с числом грозových часов в году от 10 до 40 и 50 м для районов с числом грозových часов в году более 40.

В сетях с глухозаземленной нейтралью металлические опоры, металлические конструкции и арматуру железобетонных элементов опор, арматура железобетонных стоек и подкосов опор должны быть соединены с нулевым PEN – проводником.

Крюки и штыри деревянных опор ВЛ, а также металлических и железобетонных опор при подвеске на них СИП с изолированным несущим проводником или со всеми несущими проводниками жгута заземлению не подлежат, за исключением крюков и штырей на опорах, где выполнено повторное заземление нулевого провода и заземляющие устройства для защиты от грозových перенапряжений.

Заземлители могут быть естественными и искусственными. Для заземления в первую очередь используются естественные заземлители. Когда естественные заземлители не могут обеспечить нормируемых значений заземляющего устройства, то в дополнение к ним проектируют искусственные заземлители.

Вычисление тока однофазного замыкания на землю при оценке величины сопротивления заземляющего устройства рекомендуется производить по формуле

$$I_3 = \frac{U_n \cdot (L_{ВЛ} + 0,35 \cdot L_{КЛ})}{350},$$

где U_n – номинальное напряжение электроустановки, кВ;

$L_{ВЛ}$ – протяженность всех электрически связанных воздушных линий, отходящих от питающей подстанции, км;

$L_{КЛ}$ – протяженность всех электрически связанных кабельных линий той же питающей подстанции, км.

В качестве естественных заземлителей для заземляющих устройств могут быть использованы: проложенные в земле водопроводные, канализационные и другие трубопроводы, кроме трубопроводов горючих жидкостей и газов; металлические конструкции и арматура железобетонных изделий, имеющих надежное соединение с землей; свинцовые оболочки кабелей, проложенных в земле.

Искусственные заземлители в большинстве случаев вертикально погруженные в землю электроды заземления. Электроды заземления могут выполнены длиной 2,5–5 м из следующих материалов: стальные трубы с толщиной стенок не менее 3,5 мм; металлические стержни диаметром не менее 16 мм; угловая сталь с толщиной полок не менее 4 мм. Расчетные формулы для определения сопротивления растеканию заземлителя в зависимости от типа заземлителя и его расположения в земле приведены в табл. 8.1.

Таблица 8.1 – Расчетные формулы для вычисления сопротивления различных заземлителей

Характеристика заземлителя	Расположение заземлителя	Расчетные формулы
Вертикальный, из круглой стали, верхний конец у поверхности земли	По рис. 13.1 (а)	$R_{\epsilon} = \frac{0,366 \cdot \rho_p \cdot \lg\left(\frac{2 \cdot L}{d}\right)}{L}$
Вертикальный, из круглой стали, верхний конец ниже поверхности земли	По рис. 13.1 (б)	$R_{\epsilon} = \frac{0,366 \cdot \rho_p \cdot \left[\lg\left(\frac{4 \cdot L}{d}\right) + 0,5 \cdot \lg\left(\frac{4t + L}{4t - L}\right) \right]}{L}$
Горизонтальный из полосовой стали, расположенный ниже уровня земли	По рис. 13.1 (в)	$R_{\epsilon} = \frac{0,366 \cdot \rho_p \cdot \lg\left(\frac{2 \cdot L^2}{b \cdot t}\right)}{L}$ b – толщина полосы; для круглого заземлителя: b=2d (d – диаметр)

В случае применения электродов из угловой стали в формулы табл. 13.1 вместо диаметра трубы следует подставлять эквивалентный диаметр уголка

$$d_{\epsilon} = 0,95 \cdot b,$$

где b – ширина уголка, м.

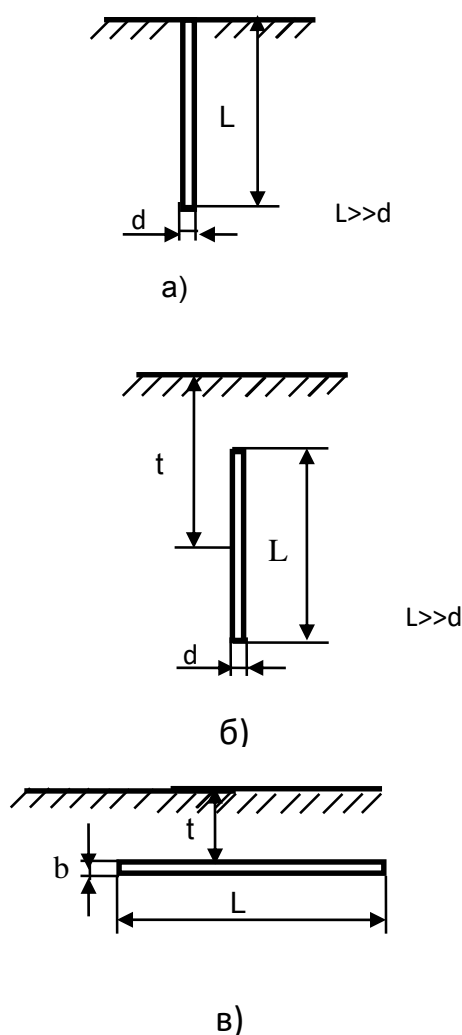


Рисунок 8.1 – Варианты расположения заземлителей в земле

8.2 Расчет заземляющих устройств

Расчет заземляющего устройства сводится в основном к расчету заземлителя, поскольку параметры заземляющих проводников в большинстве случаев нормированы /1, 28, 29/ по условиям механической прочности.

Сопротивление заземлителя рекомендуется рассчитывать в следующем порядке:

1. В соответствии с /1/ принимают допустимое сопротивление заземляющего устройства – R_z (см. пункт 8.1).

2. Определяют необходимое сопротивление искусственного заземлителя с учетом использования естественных заземлителей, включаемых параллельно:

$$R_u = \frac{R_e \cdot R_3}{R_e - R_3},$$

где R_e – сопротивление естественного заземлителя, Ом. При отсутствии точных сведений по значению R_e , вместо R_e в формулу вводят значение сопротивления повторных заземлителей (если R_3 принято с учетом повторных заземлений в сети);

R_u – сопротивление искусственного заземлителя, Ом.

Рассчитанное R_u не должно быть больше допустимых норм пункт 13. 1.

3. Оценивается расчетное удельное сопротивление грунта ρ_p , Ом·м. Если удельное сопротивление было измерено, то его необходимо скорректировать:

$$\rho_p = \rho_{изм} \cdot K_c \cdot K,$$

где $\rho_{изм}$ – значение измеренного удельного сопротивления грунта, Ом·м;

K_c – коэффициент сезонности. Может быть принят по данным табл. п.10.2;

K – коэффициент, учитывающий состояние грунта при измерении (табл. п.10.3).

При отсутствии точных данных о грунте допустимо ориентировочное принятие удельного сопротивления грунта по табл.п.10.1.

4. Вычисляется сопротивление растеканию тока одного заземлителя по формулам табл. 10.1. Расположение заземлителей и обозначение их параметров принимается по соответствующему варианту рис. 10.1.

В случае применения электродов из угловой стали в формулы таблица 8.1 вместо диаметра трубы следует подставлять эквивалентный диаметр уголка

$$d_9 = 0,95 \cdot b,$$

где b – ширина уголка, м.

5. Определяют ориентировочное количество вертикальных заземлителей для оценки значений коэффициентов экранирования – $\eta_в$, $\eta_г$:

$$n = R_e/R_u.$$

6. По табл. 10.5–10.8 в зависимости от числа вертикальных заземлителей (n) и отношения a/L (расстояния между заземлителями – a к длине вертикального заземлителя – L) определяют коэффициенты экранирования вертикальных и горизонтальных заземлителей – $\eta_в$, $\eta_г$.

7. Уточняют количество стержней с учетом горизонтальных полос связи по выражению:

$$n_0 = R_e \cdot \eta_г \cdot [1/(R_u \cdot \eta_г) - 1/R_e] / \eta_в.$$

Для последующего включения в проект принимается большее количество из n и n_0 .

8. По принятому к проектированию количеству вертикальных заземлителей n' уточняют значения коэффициентов экранирования – $\eta_в'$, $\eta_г'$.

9. Определяется расчетное сопротивление заземляющего устройства

$$R_p = R_{\epsilon} \cdot R_z / (R_{\epsilon} \cdot \eta_z' + R_z \cdot \eta_{\epsilon}' \cdot n').$$

Если расчетное сопротивление заземляющего устройства не превысит нормированного значения (см. пункт 13.1), то на этом расчет заканчивают.

Если расчетное сопротивление заземляющего устройства окажется больше нормированного, то необходимо увеличить число вертикальных заземлителей до количества, при котором расчетное сопротивление станет меньше нормированного.

ЛИТЕРАТУРА

1. Правила устройства электроустановок. – 7-е изд. – Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2007. – 854 с.
2. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий: учебник для студентов высших учебных заведений / Б.И. Кудрин. – 2-е изд. – Москва: Интермет Инжиниринг, 2007. – 672 с.
3. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение промышленных и гражданских зданий: учебник для студ. Сред. Проф. Образования / Ю.Д. Сибикин. – 3-е изд., испр. – Москва: Издательский центр «Форум», 2015. – 368 с.
4. Е.А. Конюхова Электроснабжение объектов: Учеб. пособие для студ. учреждений сред. проф. образования. – Москва. Издательство «Мастерство», 2002. – 320 с.
5. Липкин Б.Ю. Электроснабжение промышленных предприятий и установок: уче. для учащихся электротехн. Специальностей средних спец. Учебн. заведений / Б.Ю. Липкин. – 4-е изд. Перераб и доп. – Москва: «Высшая школа», 1990. – 366 с.
6. Мельников М.А. Внутрицеховое электроснабжение: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2002. – 143 с.
7. Мельников М.А. Электроснабжение промышленных предприятий: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2000. – 144 с.
8. Кабышев А.В., Обухов С.Г. Расчет и проектирование систем электроснабжения: Справочные материалы по электрооборудованию: Учеб. пособие / Том. политехн. ун-т. – Томск, 2005. – 168 с.
9. Газалов В.С., Щербаева Л.П., Гладкая Э.В. Проектирование системы освещения: учебное пособие к курсовому и дипломному проектированию / В.С. Газалов, Л.П. Щербаева, Э.В. Гладкая. – Черноград: ФГОУ ВПО АЧГАА, 2010. – 157 с.
10. СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение», Москва, 1995. – 35 с.
11. Газалов В.С. Светотехника и электротехнология. Часть 1. Светотехника. Учебное пособие / В.С. Газалов. – Ростов-на-Дону: ООО «Терра», 2004. – 344 с.
12. Шичков Л.П. Электрический привод. – Москва: КолосС, 2006 г. – 279 с.
13. А.П. Епифанов Электропривод в сельском хозяйстве: Учебное пособие. / Епифанов А.П., Гушинский А.Г., Малайчук Л.М. – Санкт-Петербург: Издательство «Лань», 2010. – 224 с.
14. Онищенко Г.Б. Электрический привод: учебник для высш. учеб. заведений. – Москва : Издательский центр «Академия», 2006 – 288 с.
15. Москаленко В.В. Электрический привод: учебное пособие для студ. учреждений среднего проф. образования – Москва: Мастерство: Высшая школа, 2000. – 368 с.

16. Лещинская Т.Б. Электроснабжение сельского хозяйства / Т.Б. Лещинская, И.В. Наумов. – М.: КолосС, 2008. – 655 с.
17. Выбор и монтаж электрооборудования. ГОСТ Р 50571.15–97. – М.: Изд-во стандартов, 1997. – 26 с.
18. Карякин Р.Н. Заземляющие устройства электроустановок. Справочник. – М.: Энергосервис, 1998. – 375 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Таблица п.1.1 – Общая классификация сред и помещений

Класс среды или помещения	Окружающая температура	Относительная влажность	Особенности, характеризующие класс среды или помещения
Нормальная	Длительно более +30 °С	Не нормирована	Отсутствует технологическая пыль, газы или пары, способные нарушать нормальную работу оборудования
жаркая	Длительно более +30 °С но менее +55 °С	Не более 60 %	То же
Влажная	То же	60-75%	То же, что в помещениях с сухой средой, но имеются пары воды, способные конденсироваться в редких случаях при резких и глубоких понижениях температуры
Сырая	То же	Более 75 %, но менее 100 %	То же, что в помещениях с влажной средой, но имеются пары воды, способные конденсироваться при небольших понижениях температуры
Особо сырая	То же	100 %	Температура, уровень запыленности и загазованности соответствуют условиям нормальной среды, но постоянно конденсируются пары воды (стены, пол, потолок покрыты влагой)
Пыльная	То же	Не нормирована	Имеется технологическая пыль, оседающая на проводах и оборудовании, способная проникать в машины и аппараты
Химически активная	То же	То же	Постоянно или длительное время содержатся активные газы, пары или вещество, разрушающее электроустановку, препятствующее нормальной работе
Пожаро-опасная	Не нормирована	Не нормирована	Применяются или хранятся горючие вещества
Взрывоопасная	То же	То же	По условиям технологии могут образовываться взрывоопасные смеси

Таблица п.1.2 - Категории надежности электроснабжения потребителей в зависимости от характера производства и вида оборудования

Цех или отделение	Категория надежности	Оборудование
Механические и сборочные цехи для производства: серийного мелкосерийного*	2 3	Станки холодной обработки металлов, вентиляторы
Инструментальные цехи для производства: серийного мелкосерийного*	2 3	Станки холодной обработки металлов, печи для термической обработки, вентиляторы
Деревообрабатывающие цехи для производства: серийного мелкосерийного*	2 3	Станки, электропилы, вентиляторы
Термические цехи	2	Печи для термической обработки, вентиляторы
Кузнечные, прессовые и штамповочные цехи для производства: серийного мелкосерийного*	2 3	Ковочные молоты, прессы, печи для нагрева и термической обработки, вентиляторы
Литейные участки: разливочные краны с механизированной подачей смеси без механизированной подачи смеси	1 2 1	Электродвигатели разливочных кранов Транспортеры смесе-приготовительных отделений, бегуны, заливочные конвейеры Приводы вентиляторов для дутья вагранок
Сталеплавильные цехи	1 2	Механизмы дуговых сталеплавильных печей, разливочные краны, вентиляторы, транспортеры смесеприготовительного отделения
Сварочные цехи серийного и мелкосерийного производства*	3	Сварочные аппараты, умформеры
Малярные цехи**	2	Механизмы** окрасочных камер, вентиляторы
Цехи металлопокрытий	2	Двигатели-генераторы, полупроводниковые преобразователи
Вспомогательные цехи и общезаводские установки	1 3	Пожарные насосы Зарядные станки, электрооборудование электроремонтных и ремонтно-механических цехов

* Цехи и отделения относят ко второй категории надежности, если их остановка вызывает простой других цехов, относимых ко второй категории надежности.

** Машины для окраски и сушильные аппараты относят к первой категории надежности, если в них возможно образование взрывоопасных смесей.

Приложение 2

Таблица п.2.1 – Основные технические данные электродвигателей основного исполнения серии 4А

Типоразмер электродвига- теля	P_n , кВт	При номи- нальном режиме		s_n , %	$s_{кр}$, %	i_n	m_n	m_m	m_k	J_d , кг·м ²	m , кг
		КПД, %	$\cos \varphi$								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Синхронная частота вращения 3000 об/мин											
4АА63А2У3	0,37	70	0,86	8,3	50,5	4,5	2	1,5	2,2	0,00076	6,3
4АА63А2У3	0,55	73	0,86	8,5	54,5	4,5	2	1,5	2,2	0,0009	6,3
4А71А2У3	0,75	77	0,87	5,9	38	5,5	2	1,5	2,2	0,00097	15,1
4А71В2У3	1,1	77,5	0,87	6,3	39	5,5	2	1,5	2,2	0,0011	15,1
4А80А2У3	1,5	81	0,85	4,2	35,5	6,5	2,1	1,4	2,6	0,0018	17,4
4А80В2У3	2,2	83	0,87	4,3	38	6,5	2,1	1,4	2,6	0,0021	20,4
4А90Л2У3	3,0	84,5	0,88	4,3	32,5	6,5	2,1	1,6	2,5	0,0035	28,7
4А100S2У3	4,0	86,5	0,89	3,3	2,8	7,5	2,0	1,6	2,5	0,0059	36
4А100Л2У3	5,5	87,5	0,91	3,4	29	7,5	2,0	1,6	2,5	0,0075	42
4А112М2У3	7,5	87,5	0,88	2,5	17	7,5	2,0	1,8	2,8	0,010	56
4А132М2У3	11	88	0,90	2,3	19	7,5	1,7	1,5	2,8	0,023	93
4А160S2У3	15	88	0,91	2,1	12	7,0	1,4	1,0	2,2	0,048	130
4А160М2У3	18,5	88,5	0,92	2,1	12,5	7,0	1,4	1,0	2,2	0,053	135
4А180S2У3	22	88,5	0,91	1,9	12,5	7,5	1,4	1,1	2,5	0,070	165
4А180М2У3	30	90,5	0,90	1,8	12,5	7,5	1,4	1,1	2,5	0,085	185
4А200М2У3	37,5	90	0,89	1,9	11,5	7,5	1,4	1,0	2,5	0,15	255
Синхронная частота вращения 1500 об/мин											
4АА63В4У3	0,37	68	0,69	9	48	4,0	2	1,5	2,2	0,0014	6,3
4А71А4У3	0,55	80,5	0,7	7,3	39	4,5	2	1,8	2,2	0,0013	15,1
4А71В4У3	0,75	72	0,73	7,5	40,0	4,5	2,0	1,8	2,2	0,0014	15,1
4А80А4У3	1,1	75	0,81	5,4	34,0	5,0	2,0	1,6	2,2	0,0032	17,4
4А80В4У3	1,5	77	0,83	5,8	34,5	5,0	2,0	1,6	2,2	0,0033	20,4
4А90Л4У3	2,2	80	0,83	5,1	33,0	6,0	2,1	1,6	2,4	0,0056	28,7
4А100S4У3	3,0	82	0,83	4,4	31,0	6,0	2,0	1,6	2,4	0,0087	36
4А100Л4У3	4,0	84	0,84	4,6	31,5	6,0	2,0	1,6	2,4	0,011	42
4А112М4У3	5,5	85,5	0,85	3,6	25,0	7,0	2,0	1,6	2,2	0,017	56
4А132S4У3	7,5	87,5	0,86	2,9	19,5	7,5	2,2	1,7	3,0	0,028	77
4А132М4У3	11,0	87,5	0,87	2,8	19,5	7,5	2,2	1,7	3,0	0,04	77
4А160S4У3	15,0	88,5	0,88	2,3	16,0	7,0	1,4	1,0	2,3	0,10	135
4А160М4У3	18,5	89,5	0,88	2,2	16,0	7,0	1,4	1,0	2,3	0,13	160
4А180S4У3	22,0	90,0	0,90	2,0	14,0	6,5	1,4	1,0	2,3	0,19	175
4А180М4У3	30,0	91,0	0,84	1,9	14,0	6,5	1,4	1,0	2,3	0,23	195
4А200М4У3	37,0	91,0	0,90	1,7	10,0	7,0	1,4	1,0	2,5	0,37	270

Продолжение таблицы п.2.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Синхронная частота вращения 1000 об/мин											
4AA71A6Y3	0,37	64,5	0,69	9,2	49	4,0	2,0	1,8	2,2	0,0017	15,1
4AA71B6Y3	0,55	67,5	0,71	10	49	4,0	2,0	1,8	2,2	0,002	15,1
4A80A6Y3	0,75	69	0,74	8,4	37	4,0	2,0	1,6	2,2	0,0031	17,4
4A80B6Y3	1,1	74	0,74	8,0	38	4,0	2,0	1,6	2,2	0,0046	20,4
4A90L6Y3	1,5	75	0,74	6,4	31	4,5	2,0	1,7	2,2	0,0073	28,7
4A100L6Y3	2,2	81	0,73	5,1	25,5	5,0	2,0	1,6	2,2	0,013	42,0
4A112MA6Y3	3,0	81	0,76	4,7	37,0	6,0	2,0	1,8	2,5	0,017	56,0
4A112MB6Y3	4,0	82	0,81	5,1	38,0	6,0	2,0	1,8	2,5	0,021	56,0
4A132S6Y3	5,5	85	0,80	3,3	36,0	6,0	2,0	1,8	2,5	0,04	77,0
4A132M6Y3	7,5	85,5	0,81	3,2	26,0	6,0	2,0	1,8	2,5	0,058	93,0
4A160S6Y3	11,5	86,0	0,86	2,7	15,0	6,0	1,2	1,0	2,0	0,14	135
4A160M6Y3	15,0	87,5	0,87	2,6	14,0	6,0	1,2	1,0	2,0	0,18	160
4A180M6Y3	18,5	88,0	0,87	2,4	13,5	6,0	1,2	1,0	2,0	0,22	195
4A200M6Y3	22,0	90,0	0,90	2,3	13,5	6,5	1,3	1,0	2,4	0,40	270
4A200L6Y3	30,0	90,5	0,90	2,1	13,5	6,5	1,3	1,0	2,4	0,45	310
4A225M6Y3	37,0	91,0	0,89	1,8	11,5	6,5	1,2	1,0	2,3	0,74	355

Таблица п.2.2 – Энергетические показатели электродвигателей основного исполнения серии 4А

Типоразмер электродвигателя	$P_{2\text{ном}}$, кВт	Энергетические показатели									
		η , %, при $P_2/P_{\text{ном}}$, %					$\cos \varphi$ при $P_2/P_{\text{ном}}$, %				
		25	50	75	100	125	25	50	75	100	125
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Синхронная частота вращения 3000 об/мин											
4AA63A2Y3	0,37	63,0	71,0	72,0	70,0	65,0	0,45	0,69	0,80	0,86	0,89
4AA63B2Y3	0,55	69,0	75,0	75,0	73,0	68,0	0,47	0,69	0,80	0,86	0,88
4A71A2Y3	0,75	71,0	78,0	78,5	77,0	73,0	0,50	0,72	0,82	0,87	0,89
4A71B2Y3	1,1	76,0	79,5	79,5	77,5	73,0	0,50	0,73	0,82	0,87	0,89
4A80A2Y3	1,5	73,0	80,5	81,5	81,0	79,0	0,48	0,70	0,80	0,85	0,87
4A80B2Y3	2,2	77,0	83,0	83,5	83,0	81,0	0,51	0,73	0,83	0,87	0,89
4A90L2Y3	3,0	80,0	85,5	85,5	84,5	82,0	0,58	0,78	0,85	0,88	0,89
4A100S2Y3	4,0	80,0	86,0	88,0	86,5	85,0	0,60	0,80	0,86	0,89	0,90
4A100L2Y3	5,5	82,5	87,5	88,0	87,5	86,0	0,65	0,83	0,88	0,91	0,91
4A112M2Y3	7,5	78,0	85,5	87,5	87,5	86,5	0,56	0,74	0,83	0,88	0,89
4A132M2Y3	11,0	80,0	87,0	88,0	88,0	87,0	0,65	0,82	0,87	0,90	0,90
4A160S2Y3	15,0	80,0	86,5	88,0	88,0	87,0	0,68	0,84	0,89	0,91	0,91
4A160M2Y3	18,5	82,0	87,5	88,5	88,5	87,0	0,72	0,86	0,90	0,92	0,92
4A180S2Y3	22,0	79,0	86,0	88,5	88,5	88,0	0,65	0,82	0,88	0,91	0,92
4A180M2Y3	30,0	82,0	88,5	90,5	90,5	89,0	0,66	0,82	0,88	0,90	0,90
4A200M2Y3	37,0	81,0	87,5	90,0	90,0	89,5	0,67	0,82	0,87	0,89	0,89
4A200L2Y3	45,0	83,0	89,0	91,0	91,0	90,5	0,71	0,85	0,89	0,90	0,90
4A225M2Y3	55,0	82,5	89,5	91,0	91,0	90,5	0,78	0,89	0,91	0,92	0,92
4A250S2Y3	75,0	81,0	88,0	91,0	91,0	91,0	0,71	0,84	0,88	0,89	0,89
4A250M2Y3	90,0	84,0	90,0	92,0	92,0	91,5	0,71	0,84	0,89	0,90	0,90
4A280S2Y3	110	82,0	88,5	91,0	91,0	90,5	0,83	0,87	0,88	0,89	0,88

Продолжение таблицы п.2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4A280M2Y3	132	84,0	89,5	91,5	91,5	91,0	0,83	0,87	0,88	0,89	0,88
4A315S2Y3	160	85,5	90,5	92,0	92,0	91,5	0,83	0,87	0,89	0,90	0,89
4A315M2Y3	200	87,0	91,5	92,5	92,5	92,0	0,83	0,88	0,89	0,90	0,89
4A355S2Y3	250	87,0	91,0	92,5	92,5	92,0	0,86	0,88	0,89	0,90	0,89
4A355M2Y3	315	89,0	92,0	93,0	93,0	92,0	0,88	0,89	0,90	0,91	0,90
Синхронная частота вращения 1500 об/мин											
4AA63B4Y3	0,37	51,5	64,5	68,0	68,0	64,0	0,29	0,45	0,58	0,69	0,75
4A71A4Y3	0,55	55,0	67,0	70,5	70,5	67,0	0,29	0,46	0,59	0,70	0,75
4A71B4Y3	0,75	58,5	70,0	73,0	72,0	68,5	0,33	0,50	0,64	0,73	0,79
4A80A4Y3	1,1	64,0	74,0	76,0	75,0	72,0	0,38	0,59	0,73	0,81	0,85
4A80B4Y3	1,5	70,0	78,0	78,5	77,0	73,0	0,41	0,63	0,76	0,83	0,86
4A90L4Y3	2,2	74,0	81,0	81,5	80,0	76,5	0,42	0,64	0,76	0,83	0,85
4A100S4Y3	3,0	75,5	82,0	83,0	82,0	79,5	0,43	0,65	0,77	0,83	0,85
4A100L4Y3	4,0	79,5	84,5	85,0	84,0	81,5	0,46	0,68	0,79	0,84	0,86
4A112M4Y3	5,5	82,0	86,5	86,5	85,5	83,0	0,51	0,72	0,80	0,85	0,86
4A132S4Y3	7,5	77,5	86,0	87,5	87,5	86,0	0,53	0,71	0,83	0,86	0,87
4A132M4Y3	11,0	80,0	86,0	88,0	87,5	87,0	0,55	0,75	0,84	0,87	0,88
4A160S4Y3	15,0	86,0	89,5	89,5	88,5	86,5	0,63	0,81	0,87	0,88	0,88
4A160M4Y3	18,5	87,5	90,5	90,5	89,5	87,5	0,66	0,82	0,86	0,88	0,88
4A180S4Y3	22,0	85,5	89,5	90,0	90,0	87,0	0,65	0,82	0,87	0,90	0,89
4A180M4Y3	30,0	87,0	90,5	91,0	91,0	89,0	0,66	0,83	0,88	0,89	0,89
4A200M4Y3	37,0	87,0	90,5	91,0	91,0	90,5	0,67	0,84	0,89	0,90	0,90
4A200L4Y3	45,0	88,5	92,0	92,5	92,0	91,0	0,69	0,85	0,89	0,90	0,90
4A225M4Y3	55,0	88,5	92,0	92,5	92,5	91,5	0,68	0,84	0,89	0,90	0,90
4A250S4Y3	75,0	88,5	92,0	93,0	93,0	92,5	0,69	0,84	0,88	0,90	0,90
4A250M4Y3	90,0	89,0	92,5	93,0	93,0	92,0	0,73	0,87	0,90	0,91	0,90
4A280S4Y3	110	89,5	92,5	93,0	92,5	91,0	0,82	0,90	0,91	0,90	0,87
4A280M4Y3	132	90,0	93,0	93,5	93,0	91,5	0,81	0,90	0,91	0,90	0,87
4A315S4Y3	160	91,0	93,5	94,0	93,5	92,5	0,81	0,90	0,91	0,91	0,88
4A315M4Y3	200	91,5	94,0	94,5	94,0	93,0	0,82	0,90	0,92	0,92	0,89
4A355S4Y3	250	91,5	94,0	94,5	94,5	93,5	0,82	0,90	0,92	0,92	0,89
4A355M4Y3	315	92,5	94,5	95,0	94,5	93,5	0,85	0,92	0,92	0,92	0,89
Синхронная частота вращения 1000 об/ мин											
4AA71A6Y3	0,37	45,5	59,5	64,5	64,5	61,0	0,30	0,45	0,58	0,69	0,76
4AA71B6Y3	0,55	52,5	65,5	68,5	67,5	62,5	0,30	0,47	0,60	0,71	0,77
4A80A6Y3	0,75	56,0	68,0	69,5	69,5	63,5	0,33	0,51	0,65	0,74	0,79
4A80B6Y3	1,1	53,0	73,5	75,0	74,0	69,0	0,33	0,52	0,65	0,74	0,78
4A90L6Y3	1,5	65,5	75,0	76,0	75,0	71,0	0,33	0,53	0,66	0,74	0,77
4A100L6Y3	2,2	74,0	81,5	82,0	81,0	78,0	0,32	0,53	0,66	0,73	0,76
4A112MA6Y3	3,0	73,0	81,0	82,0	81,0	78,5	0,33	0,56	0,69	0,76	0,79
4A112MB6Y3	4,0	77,0	82,5	83,0	82,0	79,5	0,40	0,62	0,74	0,81	0,83
4A132S6Y3	5,5	71,0	81,0	84,0	85,0	83,0	0,33	0,56	0,69	0,80	0,84
4A132M6Y3	7,5	76,0	84,0	85,0	85,5	84,0	0,40	0,62	0,74	0,81	0,84
4A160S6Y3	11,0	83,5	87,5	87,5	86,0	83,5	0,54	0,75	0,83	0,86	0,87
4A160M6Y3	15,0	85,0	88,5	88,5	87,5	85,0	0,55	0,76	0,84	0,87	0,87
4A180M6Y3	18,5	85,0	89,0	89,0	88,0	86,0	0,54	0,76	0,84	0,87	0,87
4A200M6Y3	22,0	87,5	91,0	91,0	90,0	88,0	0,68	0,84	0,88	0,90	0,90
4A200L6Y3	30,0	88,0	91,0	91,0	90,5	89,0	0,64	0,82	0,88	0,90	0,90
4A225M6Y3	37,0	87,5	91,0	91,5	91,0	89,5	0,63	0,81	0,87	0,89	0,89
4A250S6Y3	45,0	87,5	91,0	91,5	91,5	90,5	0,64	0,82	0,87	0,89	0,89
4A250M6Y3	55,0	88,0	91,0	91,5	91,5	90,5	0,60	0,80	0,86	0,89	0,89
4A280S6Y3	75,0	90,0	92,5	92,5	92,0	90,0	0,70	0,85	0,88	0,89	0,88
4A280M6Y3	90,0	90,0	93,0	93,0	92,5	91,0	0,67	0,83	0,87	0,89	0,88

Продолжение таблицы п.2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4A315S6Y3	110	91,0	93,0	93,5	93,0	92,0	0,68	0,84	0,88	0,90	0,89
4A315M6Y3	132	91,5	93,5	94,0	93,5	92,5	0,68	0,84	0,88	0,90	0,89
4A355S6Y3	160	91,5	93,5	94,0	93,5	92,5	0,73	0,86	0,89	0,90	0,89
4A355M6Y3	200	92,0	94,0	94,0	94,0	93,0	0,72	0,86	0,89	0,90	0,89

Таблица п.2.3 – Основные технические данные электродвигателей основного исполнения серии АИР

Тип двигателя	P_n , кВт	При номинальном режиме				i_n	m_n	m_m	m_k	J_d , кг·м ²	m , кг
		Частота вращения	Ток статора при напряжении 380 В, А	КПД, %	$\cos \varphi$						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Синхронная частота вращения 3000 об/мин											
АИР63В2	0,55	2730	1,31	75,0	0,85	5,0	2,2	1,8	2,2	0,00095	5,5
АИР71А2	0,75	2820	1,75	79,0	0,80	6,0	2,6	1,6	2,7	0,00095	8,6
АИР71В2	1,1	2805	2,55	79,5	0,80	6,0	2,2	1,6	2,4	0,0011	9,3
АИР80А2	1,5	2850	3,3	81,0	0,85	6,5	2,2	1,8	2,6	0,0018	12,4
АИР80В2	2,2	2850	4,6	83,0	0,87	6,4	2,1	1,8	2,6	0,0021	15,0
АИР90L2	3,0	2850	6,1	84,5	0,88	7,0	2,0	1,6	2,2	0,0035	19,0
АИР100S2	4,0	2850	7,9	87,0	0,88	7,5	2,0	1,6	2,4	0,0055	25,5
АИР100L2	5,5	2850	10,7	88,0	0,89	7,5	2,1	1,6	2,4	0,0070	31,0
АИР112М2	7,5	2895	14,7	88,0	0,88	7,5	2,0	1,6	2,2	0,010	49,0
АИР132М2	11	2910	21,1	88,0	0,90	7,5	1,6	1,2	2,2	0,023	77,5
АИР160S2	15,0	2910	28,5	90,0	0,89	7,0	1,8	1,7	2,7	0,043	100/125
АИР160М2	18,5	2910	34,5	90,5	0,90	7,0	2,0	1,8	2,7	0,048	110/140
АИР180S2	22,0	2920	41,5	90,5	0,89	7,0	2,0	1,9	2,7	0,063	160
АИР180М2	30,0	2925	55,4	91,5	0,90	7,5	2,2	1,9	3,0	0,076	180
АИР200М2	37,0	2940	71,0	91,0	0,87	7,0	1,6	1,5	2,8	0,12	220
АИР200L2	45,0	2940	84,5	92,0	0,88	7,5	1,8	1,5	2,8	0,13	240
Синхронная частота вращения 1500 об/мин											
АИР71А4	0,56	1350	1,61	75,0	0,73	5,0	2,3	1,8	2,4	0,0013	8,3
АИР71В4	0,75	1350	1,90	75,0	0,80	5,0	2,5	1,6	2,6	0,0015	9,4
АИР80А4	1,1	1395	2,75	76,5	0,77	5,0	2,2	1,7	2,4	0,0034	11,9
АИР80В4	1,5	1395	3,52	78,5	0,80	5,3	2,2	1,6	2,4	0,0035	13,5
АИР90L4	2,2	1395	4,98	81,0	0,81	6,5	2,2	1,6	2,4	0,0056	18,6
АИР100S4	3,0	1410	6,7	82,0	0,82	7,0	2,0	1,6	2,2	0,0085	23,0
АИР100L4	4,0	1410	8,52	85,0	0,84	6,0	2,1	1,6	2,4	0,011	28,5
АИР112М4	5,5	1430	11,3	86,0	0,86	6,0	2,0	1,6	2,5	0,016	49,0
АИР132S4	7,5	1440	15,1	87,5	0,86	7,5	2,0	1,6	2,5	0,027	70,0
АИР132М4	11,0	1450	22,2	88,5	0,85	7,5	2,2	1,6	3,1	0,038	83,5
АИР160S4	15,0	1455	28,5	90,0	0,89	7,0	1,9	1,8	2,9	0,080	100/130
АИР160М4	18,5	1455	34,9	90,5	0,89	7,0	1,9	1,8	2,9	0,10	110/145
АИР180S4	22,0	1465	42,5	90,5	0,87	7,0	1,7	1,5	2,7	0,16	170
АИР180М4	30,0	1470	57,0	92,0	0,87	7,0	1,7	1,5	2,7	0,20	190
АИР200М4	37,0	1470	68,3	92,5	0,89	7,5	1,7	1,6	2,7	0,27	245
АИР200L4	45,0	1470	83,1	92,5	0,89	7,5	1,7	1,6	2,7	0,32	270

Продолжение таблицы п.2.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Синхронная частота вращения 1000 об/мин											
АИР71В6	0,55	915	1,74	69,0	0,68	4,5	1,9	1,6	2,2	0,0022	9,7
АИР80А6	0,75	920	2,26	71,0	0,71	4,0	2,1	1,6	2,2	0,0033	12,3
АИР80В6	1,1	920	3,05	75,0	0,74	4,5	2,2	1,8	2,3	0,0048	15,3
АИР90L6	1,5	925	4,16	76,0	0,72	6,0	2,0	1,6	2,2	0,0073	19,0
АИР100L6	2,2	945	5,58	81,5	0,74	6,0	1,9	1,6	2,2	0,013	26,5
АИР112МА6	3,0	950	7,4	81,5	0,76	6,0	2,0	1,6	2,2	0,017	43,0
АИР112МВ6	4,0	950	9,1	82,5	0,81	6,0	2,0	1,6	2,2	0,021	48,0
АИР132S6	5,5	960	12,3	85,0	0,80	7,0	2,0	1,6	2,2	0,038	68,5
АИР132М6	7,5	960	16,5	85,5	0,81	7,0	2,0	1,6	2,2	0,055	81,5
АИР160S6	11,0	970	22,9	88,0	0,83	6,5	2,0	1,6	2,7	0,12	100/125
АИР160М6	15,0	970	30,5	88,0	0,85	6,5	2,0	1,6	2,7	0,15	120/155
АИР180М6	18,5	980	36,9	89,5	0,85	6,5	1,8	1,6	2,4	0,24	180
АИР200М6	22,0	980	44,8	90,0	0,83	6,5	1,6	1,4	2,4	0,41	225
АИР200L6	30,0	975	59,6	90,0	0,85	6,5	1,6	1,4	2,4	0,46	250
АИР225М6	37,0	980	72,7	91,0	0,85	6,5	1,5	1,4	2,3	0,64	305
АИР250S6	45,0	87,0	87,0	92,5	0,85	6,5	1,5	1,4	2,3	1,1	390

Таблица п.3.1 – Среднее значение коэффициентов k_u и мощности $\cos\varphi$ для характерных групп электроприемников

	Наименование	k_u	$\cos\varphi$
1	2	3	4
1	Металлорежущие станки с нормальным режимом работы: мелкие токарные, строгальные, фрезерные, сверлильные, шлифовальные, точильные, гильотинные и т. д.	0,14-0,16	0,5-0,6
	Металлорежущие станки при тяжёлом режиме работы: штамповочные прессы, обдирочные станки, механические ножницы, зубофрезерные, а так же крупные токарные фрезерные, расточные, карусельные станки	0,17-0,22	0,6
	Металлорежущие станки с особо тяжёлым режимом работы: приводы молотов, ковочных машин, волочильных станков, бегунов	0,22-0,26	0,6
	Вентиляторы, эксгаустеры, калориферы	0,6-0,65	0,8
	Насосы, компрессоры, двигатели-генераторы	0,7-0,75	0,8
	Краны, тельферы	0,1-0,2	0,5
	Конвейеры, транспортёры, элеваторы	0,4-0,5	0,75
	Сварочные трансформаторы	0,3-0,35	0,35
	Многопостовые сварочные двигатели-генераторы	0,4-0,5	0,35
	Сварочные машины, шовные, точечные	0,25-0,35	0,5-0,6
	Печи сопротивления, сушильные шкафы, нагревательные шкафы	0,6-0,8	0,95-1,0
	Ламповые генераторы индукционных печей высокой частоты	0,6-0,7	0,65
	Переносной электроинструмент	0,1-0,15	0,5
	Формовочные машины	0,15-0,20	0,6
	Деревообрабатывающие станки, токарные, сверлильные, фуговочные, рейсмусовые, долбежные, строгальные и т.д.	0,17	0,6
	Пилорамы, дисковые пилы	0,25-0,3	0,65
2	Корпуса, цеха, насосные и другие установки общепромышленного назначения		
	Ремонтно-механические	0,2-0,3	0,65-0,7
	Электроремонтные	0,3-0,4	0,7-0,8
	Насосные, кислородные, компрессорные станции с электродвигателями низкого напряжения	0,6-0,65	0,7-0,85
	То же, но с электродвигателями высокого напряжения:		
	а) асинхронные	0,7-0,8	0,8-0,9
	б) синхронные	0,7-0,8	0,85-0,9
	Вентиляторные установки и отопление	0,6-0,7	0,8
	Газогенераторные станции	0,4-0,5	0,7-0,8
	Литейные черных металлов	0,5-0,7	0,7-0,8
	Литейные цветных металлов	0,6-0,7	0,8-0,9
	Дуговые сталеплавильные печи	0,6-0,75	0,9
	Дуговые печи цветного металла	0,7-0,75	0,8

Продолжение таблицы п.3.1.

1	2	3	4
	Рудно-термические печи	0,8-0,9	0,9
	Блок основных цехов	0,4-0,5	0,75
	Блок вспомогательных цехов	0,3-0,36	0,7
	Кузнечно-прессовые	0,4-0,5	0,75
	Термические, закалочные	0,6	0,75
	Металлоконструкции, сварочно-заготовительные	0,4-0,5	0,6
	Механосборочные и заготовительные	0,25-0,35	0,65-0,75
	Механические, токарные, инструментальные	0,25-0,35	0,65-0,75
	Деревообрабатывающие, столярные, модельные	0,2-0,3	0,6-0,8
	Малярные, красильные	0,4-0,5	0,6-0,7
	Собственные нужды ТЭЦ	0,6-0,7	0,8
	Лаборатории, заводоуправление, конструкторские бюро, конторы	0,4-0,5	0,7-0,8
	Депо электрокар	0,5-0,7	0,7-0,8
	Депо (паровозное, пожарное, железнодорожное)	0,3-0,4	0,6-0,8
	Гаражи автомашин	0,2-0,3	0,7
	Котельные	0,5-0,6	0,8
	Склады готовой продукции, металла, магазины	0,3-0,4	0,8
	Столовая	0,4-0,5	0,9
	Лесозаводы	0,35-0,45	0,75
	Лесосушки	0,6-0,7	0,75-0,9
	Термическая нагрузка (нагревательные печи)	0,7-0,8	0,85-0,9
	Крановая нагрузка, подъёмники	0,2-0,3	0,5-0,7
	Электросварка	0,6	0,35
	Малярные, модельные	0,4-0,5	0,5-0,6
	Заводоуправления, КБ, проходные, конторы и т.п.	0,7-0,8	0,8-1,0
	Склады открытые	0,2-0,3	0,6-0,7

Таблица п.3.2 – Средние значения коэффициентов использования (k_u) и $\cos\varphi$ мощности для электроприёмников разных режимов работы

Наименование групп электроприёмников	Электрические приемники	k_u	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$
1	2	3	4	5
Электродвигатели, хорошо загруженные и непрерывно работающие	Вентиляторы, насосы, компрессоры, двигатель – генераторы и т. п.	0,65	0,8	0,75
Электродвигатели металлообрабатывающих станков	Станки универсального назначения (токарные, фрезерные, строгальные, сверлильные, долбежные и т. п.)	0,14	0,6	1,33
	Специализированные станки, станки – автоматы, агрегатные	0,22-0,25	0,65	1,17

Продолжение таблицы п.3.2

1	2	3	4	5
Электродвигатели металлообрабатывающих станков	Механизмы кузнечных цехов (кришошипные прессы, ковочные машины, прессы горячей штамповки и т. п.), литейных цехов (очистные и галтовочные барабаны, бегуны, шаровые мельницы и т. п.)	0,22-0,25	0,65	1,17
	Автоматические поточные линии	0,6	0,7	1,0
Электродвигатели механизмов непрерывного транспорта	Транспортёры, конвейеры, элеваторы и сблокированные с ними механизмы	0,6	0,7	1,0
Электродвигатели повторно- кратковременного режима работы	Краны, кран – балки, тельферы и т. п. (механические сборочные и им подобные цехи)	0,6	0,45	1,98
Электрические печи. Поверхностная закалка и высокочастотный нагрев	Печи сопротивления, нагревательные аппараты, ванны, сушильные камеры периодического действия	0,55	0,95	0,33
	Печи сопротивления непрерывного действия, методические, конвейерные и толкательные	0,7	0,95	0,33
	Индукционные печи низкой частоты	0,75	0,35	2,67
	То же высокой частоты с собственными двигатель - генераторами	0,7	0,7	1,0
	То же с ламповыми генераторами	0,75	0,8	0,75
	Дуговые плавильные печи	0,75	0,87	0,56
Электрическая сварка	Трансформаторы дуговой сварки	0,30	0,35	2,67
	Аппараты стыковой, шовной и точечной сварки, нагреватели заклёпок	0,35	0,55	1,51
	Однопостовые сварочные двигатель - генераторы	0,35	0,65	1,17
	Многопостовые сварочные двигатель - генераторы	0,70	0,70	1,00
Электрическое освещение	Лампы накаливания	0,85	1,00	-
	Люминесцентные лампы	0,85-0,9	0,95	0,33

Таблица п.3.3 - Относительное эффективное число электроприемников

$n_i = \frac{n_1}{n}$	$P_k = \Sigma p_{i\bar{i}1} / \Sigma p_{i\bar{i}i}$																		
	1,0	0,95	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7	0,65	0,06	0,55	0,5	0,45	0,4	0,35	0,30	0,25	0,2	0,15	0,1
0,005	0,005	0,005	0,006	0,007	0,007	0,009	0,010	0,011	0,013	0,016	0,019	0,024	0,030	0,039	0,051	0,073	0,11	0,18	0,34
0,01	0,009	0,011	0,012	0,013	0,015	0,017	0,019	0,023	0,026	0,031	0,037	0,047	0,059	0,076	0,1	0,14	0,2	0,32	0,52
0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05	0,06	0,07	0,09	0,011	0,014	0,019	0,026	0,36	0,51	0,71
0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,11	0,13	0,16	0,21	0,27	0,36	0,48	0,64	0,81
0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,12	0,15	0,18	0,22	0,27	0,34	0,44	0,57	0,72	0,86
0,05	0,05	0,05	0,06	0,07	0,07	0,08	0,10	0,11	0,13	0,15	0,18	0,22	0,26	0,33	0,41	0,51	0,64	0,79	0,9
0,06	0,06	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,12	0,13	0,15	0,18	0,21	0,26	0,31	0,38	0,47	0,58	0,70	0,83	0,92
0,08	0,08	0,08	0,09	0,11	0,12	0,13	0,15	0,17	0,20	0,24	0,28	0,33	0,40	0,48	0,57	0,68	0,79	0,89	0,94
0,10	0,09	0,10	0,12	0,13	0,15	0,17	0,19	0,22	0,25	0,29	0,34	0,40	0,47	0,56	0,66	0,76	0,85	0,92	0,95
0,15	0,14	0,16	0,17	0,20	0,23	0,25	0,28	0,32	0,37	0,42	0,48	0,56	0,67	0,72	0,80	0,88	0,93	0,95	
0,20	0,19	0,21	0,23	0,26	0,29	0,33	0,37	0,42	0,47	0,54	0,64	0,69	0,76	0,83	0,89	0,93	0,95		
0,25	0,24	0,26	0,29	0,32	0,36	0,41	0,45	0,51	0,57	0,64	0,71	0,78	0,85	0,90	0,93	0,95			
0,30	0,29	0,32	0,35	0,39	0,43	0,48	0,53	0,60	0,66	0,73	0,80	0,86	0,90	0,94	0,95				
0,35	0,33	0,37	0,41	0,45	0,50	0,56	0,62	0,68	0,74	0,81	0,86	0,91	0,94	0,95					
0,40	0,38	0,42	0,47	0,52	0,57	0,63	0,69	0,75	0,81	0,86	0,91	0,93	0,95						
0,45	0,43	0,47	0,52	0,58	0,64	0,70	0,76	0,81	0,87	0,91	0,93	0,95							
0,50	0,48	0,53	0,58	0,64	0,70	0,76	0,82	0,89	0,91	0,89	0,95								
0,55	0,52	0,57	0,63	0,69	0,75	0,82	0,87	0,91	0,94	0,95									
0,60	0,57	0,63	0,69	0,75	0,81	0,87	0,91	0,94	0,95										
0,65	0,62	0,68	0,74	0,81	0,86	0,91	0,94	0,95											
0,70	0,66	0,73	0,80	0,86	0,90	0,94	0,95												
0,75	0,71	0,78	0,85	0,90	0,93	0,95													
0,80	0,76	0,83	0,89	0,94	0,95														
0,85	0,80	0,88	0,94	0,95															
0,90	0,85	0,92	0,95																
1,0	0,95																		

Таблица п.3.5 - Значения коэффициентов расчетной нагрузки K_p на шинах низшего напряжения цеховых трансформаторов и магистральных шинопроводов (для постоянной времени нагрева $T_0=2,5 \dots 3$ ч)

Эффективное число приемников n_{ε}	Коэффициент расчетной нагрузки K_p	
	При $K_u \leq 5$	При $K_u > 0,5$
10...25	0,8	0,9
25...50	0,75	0,85
Более 50	0,7	0,8

Таблица п.3.6 - Коэффициент одновременности для суммирования электрических нагрузок в сетях 0,38 кВ

Наименование потребителя	Количество потребителей										
	2	3	5	7	10	15	20	50	100	200	500 и >
Жилые дома с удельной нагрузкой на вводе до 2 кВт/дом	0,76	0,66	0,55	0,49	0,44	0,40	0,37	0,30	0,26	0,24	0,22
Свыше 2 кВт/дом	0,75	0,64	0,53	0,47	0,42	0,37	0,34	0,27	0,24	0,20	0,18
Жилые дома с электроплитами и водонагревателями	0,73	0,62	0,50	0,43	0,38	0,32	0,29	0,22	0,17	0,15	0,12
Производственные потребители	0,85	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	0,47	0,40	0,36	0,30

Таблица п.3.7 - Суммирование нагрузок в сетях 0,38 кВ

P^*	ΔP^{**}	P	ΔP	P	ΔP	P	ΔP	P	ΔP	P	ΔP
0,2	+0,2	19	+11,8	52	+35,4	100	+69,0	166	+120,0	232	+176,0
0,3	+0,2	20	+12,5	53	+36,1	102	+70,0	168	+122	234	+177
0,4	+0,3	21	+13,1	54	+36,8	104	+72,0	170	+123	236	+179
0,5	+0,3	22	+13,8	55	+37,5	106	+73,0	172	+124	238	+180
0,6	+0,4	23	+14,4	56	+38,2	108	+75,0	174	+126	240	+182
0,8	+0,5	24	+15,0	57	+38,9	110	+76,0	176	+127	242	+184
1,0	+0,6	25	+15,7	58	+39,6	112	+78,0	178	+129	244	+186
1,5	+0,9	26	+16,4	59	+40,3	114	+80,0	180	+130	246	+187
2,0	+1,2	27	+17,0	60	+41,0	116	+81,0	182	+132	248	+188
2,5	+1,5	28	+17,7	61	+41,7	118	+82,0	184	+134	250	+190
3,0	+1,8	29	+18,4	62	+42,4	120	+84,0	186	+136	252	+192
3,5	+2,1	30	+19,0	63	+43,1	122	+86,0	188	+138	254	+193
4,0	+2,4	31	+19,7	64	+43,8	124	+87,0	190	+140	256	+195
4,5	+2,7	32	+20,4	65	+44,5	126	+89,0	192	+142	258	+196
5,0	+3,0	33	+21,2	66	+45,2	128	+90,0	194	+144	260	+198
5,5	+3,3	34	+22,0	67	+45,9	130	+92,0	196	+146	262	+200
6,0	+3,6	35	+22,8	68	+46,6	132	+94,0	198	+148	264	+201
6,5	+3,9	36	+23,5	69	+47,3	134	+95,0	200	+150	266	+203
7,0	+4,2	37	+24,2	70	+48,0	136	+97,0	202	+152	268	+204
7,5	+4,5	38	+25,0	72	+49,4	138	+98,0	204	+153	270	+206
8,0	+4,8	39	+25,8	74	+50,2	140	+100,0	206	+155	272	+208
8,5	+5,1	40	+26,5	76	+52,2	142	+102,0	208	+156	274	+209
9,0	+5,4	41	+27,2	78	+53,6	144	+103,0	210	+158	276	+211
9,5	+5,7	42	+28,0	80	+55,0	146	+105,0	212	+160	278	+212
10	+6,0	43	+28,8	82	+56,4	148	+106,0	214	+161	280	+214
11	+6,7	44	+29,5	84	+57,8	150	+108,0	216	+163	282	+216
12	+7,3	45	+30,2	86	+59,2	152	+110,0	218	+164	284	+217
13	+7,9	46	+31,0	88	+60,6	154	+111,0	220	+166	286	+219
14	+8,5	47	+31,8	90	+62,0	156	+113,0	222	+168	288	+220
15	+9,2	48	+32,5	92	+63,4	158	+114,0	224	+169	290	+222
16	+9,8	49	+33,2	94	+64,8	160	+116,0	226	+171	292	+224
17	+10,5	50	+34,0	96	+66,2	162	+117,0	228	+172	294	+225
18	+11,2	51	+34,7	98	+67,6	164	+119,0	230	+174	296	+227
										298	+228
										300	+230

Примечание: P^* -меньшая из слагаемых нагрузок, ΔP^{**} -добавка к большей слагаемой нагрузке.

Приложение 4

Таблица п.4.1

Технические данные комплектных конденсаторных установок
напряжением 380В

Марка	Номинальная мощность, квар.	Число и мощность ре- гулируемых степеней
УК-0,38-110	110	1×110
УК-0,38-220	220	2×110
УК-0,38-320	320	3×110
УК-0,38-430	430	4×110
УК-0,38-540	540	5×110
УК-0,38-150	150	1×150
УК-0,38-300	300	2×150
УК-0,38-450	450	3×150
УК-0,38-600	600	4×150
УК-0,38-900	900	6×150

Таблица п.5.1 – Технические данные шкафов типа ШР11

Типоисполнение шкафа	Номиналь- ный (дли- тельно до- пустимый) ток, А	Тип и количество			
		На вводе		Групп предо- хранителей на отходящих линиях	
		Предо- хранитель ППН-37	ру- биль- ник	ППН- 33	ППН- 35
ШР11-73701-22У3, УХЛ3	250 190	—	1×ВР-32-35В 31 250	5	—
ШР11-73701-54У2					
ШР11-73701-54Т2					
ШР11-73702-22У3,УХЛ3	250 190	—		—	5
ШР11-73702-54У2					
ШР11-73702-54Т2					
ШР11-73703-22У3,УХЛ3	250 190	—		2	3
ШР11-73703-54У2					
ШР11-73703-54Т2					
ШР11-73504-22У3,УХЛ3	400 300	—	1×ВР-32-37В 31 250	8	—
ШР11-73504-54У2					
ШР11-73504-54Т2					
ШР11-73505-22У3,УХЛ3	400 300	—		—	8
ШР11-73505-54У2					
ШР11-73505-54Т2					
ШР11-73506-22У3,УХЛ3	400 300	—		—	8
ШР11-73506-54У2					
ШР11-73506-54Т2					
ШР11-73512-22У3,УХЛ3	400 300	3	1×ВР-32-37В 31 250	8	—
ШР11-73512-54У2					
ШР11-73512-54Т2					
ШР11-73513-22У3,УХЛ3	400 300	3		—	8
ШР11-73513-54У2					
ШР11-73513-54Т2					

Примечание. Номинальные токи плавких вставок встраиваемых предохранителей, А:

ППН-33 2; 4; 6; 8; 10; 12; 16; 25; 32; 40; 50; 63

ППН-35 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 250

ППН-37 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 250; 315; 400.

Таблица п.5.2 – Технические данные шкафов типа ПР8501

Номер схемы	Номинальный ток, А	Номинальный рабочий ток, А				Номинальное напряжение, В	Встраиваемые выключатели				Исполнение по способу установки		
		Исполнение по степени защиты					ввода	распределения		навесное	напольное	утопленное	
		IP21	IP54										
		исполнение климатическое			химостойкое исполнение		Кол-во	однополюсн.	трехполусн.		Исполнение по степени защиты		
		УЗ	УХЛЗ	T2				Номинальный ток тепловых макс. расцепителей тока, А					
		10...63	10...1000	160...250	IP21 и IP54	IP21							
010	160	144	136	128	136	380	—	6	4	—	+	-	+
011	160	144	136	128	136	660	—	—	6	—	+	-	+
017	250	225	213	200	213	380	—	6	4	—	+	-	+
022	250	225	213	200	213	380	—	6	6	—	+	-	+
023	250	225	213	200	213	380	—	—	8	—	+	-	+
028	250	225	213	200	213	380	—	6	8	—	+	-	+
029	250	225	213	200	213	380	—	—	10	—	+	-	+
043	400	360	340	320	340	380	—	6	8	—	+	-	+
044	400	360	340	320	340	380	—	—	10	—	+	-	+
054	160	144	136	128	136	380	1	6	4	—	+	-	+
055	160	144	136	128	136	660	1	—	6	—	+	-	+
061	250	225	213	200	213	380	1	6	4	—	+	-	+
066	250	225	213	200	213	380	1	6	6	—	+	-	+
067	250	225	213	200	213	660	1	—	8	—	+	-	+
072	250	225	213	200	213	380	1	6	8	—	+	-	+
073	250	225	213	200	213	660	1	—	10	—	+	-	+
088	400	360	340	320	340	380	1	6	8	—	+	-	+
089	400	360	340	320	340	380	1	—	10	—	+	-	+

Таблица п.5.3 – Технические данные шкафов серии СП и СПУ

Тип		Номинальный ток шкафа и вводного аппарата, А		Число групп и номинальные токи предохранителей
с одним рубильником	с рубильником и предохранителем	рубильника	предохранителей	
СП-62-5/1	СП-62-5/111	250	400 (только для шкафов по схеме 111)	8×60
СПУ-62-5/1	СПУ-62-5/111			4×60+4×100
СП-62-6/1	СП-62-6/111	250		4×60+4×100
СПУ-62-6/1	СПУ-62-6/111			4×60+4×100
СП-62-7/1	СП-62-7/111	400		8×100
СПУ-62-7/1	СПУ-62-7/111			2×60+4×100+2×250
СП-62-8/1	СП-62-8/111	400		2×60+4×100+2×250
СПУ-62-8/1	СПУ-62-8/111			2×60+4×100+2×250
СП-62-9/1	СП-62-9/111	400		5×100+2×250
СПУ-62-9/1	СПУ-62-5/111			5×100+2×250

Таблица п.5.4 – Технические данные осветительных щитков

Типоисполнение	Аппараты на вводе	Автоматические выключатели в групповых линиях		Степень защиты	Способ установки
		Тип	Количе-		
1	2	3	4	5	6
ОП-3 УХЛ	зажимы		3		На стене
ОП-6 ХЛ			6		
ОП-9 ХЛ			9		
ОП-12 Л			12		
ОЩ-6 УХЛ4	ВА-47-29-3	АЕ2046М, АЕ2056ММ, ВА-47-29-1	6	IP31	На стене
ОЩ-6М УХЛ4			6		
ОЩ-9 УХЛ4			9		
ОЩ-9М УХЛ4			9		
ОЩ-12 УХЛ4			12		
ОЩ-12М УХЛ4			12		
ОЩВ-6 УХЛ4	ВА-47-29-3	АЕ2046М, АЕ2056ММ, ВА-47-29-1	6	IP31	На стене
ОЩВ-6М УХЛ4			6		
ОЩВ-9 УХЛ4			9		
ОЩВ-9М УХЛ4			9		
ОЩВ-12 УХЛ4			12		
ОЩВ-12М УХЛ4			12		
УОЩВ-6 УХЛ4	ВА-47-29-3	АЕ2046М, АЕ2056ММ, ВА-47-29-1	6	IP31	На стене
УОЩВ-6М УХЛ4			6		
УОЩВ-9 УХЛ4			9		
УОЩВ-9М УХЛ4			9		
УОЩВ-12 УХЛ4			12		
УОЩВ-12М УХЛ4			12		

Продолжение табл.п.6.4

1	2	3	4	5	6
ЯОУ-8501 УЗ	ПВЗ-60	АЕ1031, ВА22-27, ВА66-29, ВА47-63, ВА47-100, ВА47-29, ВА63, S233, S231	6	IP54	На стене
ЯОУ-8502 УЗ	ПВЗ-100		12		
ЯОУ-8503 УЗ	ПВЗ-100		6		
ЯОУ-8504 УЗ	ПВЗ-100		2		
ЯОУ-8501 УХЛ4	ПВЗ-60	АЕ1031, ВА22-27, ВА66-29, ВА47-63, ВА47-100, ВА47-29, ВА63, S233, S231	6	IP21	В нишу
ЯОУ-8501 УХЛ4	ПВЗ-100		12		
ЯОУ-8501 УХЛ4	зажимы	АЕ1031, ВА22-27, ВА66-29, ВА47-63, ВА47-100, ВА47-29, ВА63, S233, S231	6		
ЯОУ-8501 УХЛ4			12		
ЩОВ-100 Б	ВА 61F 29-С63	АЕ1031	3	IP65	
ЩОВ-110 Б			3		
ЩОВ-5110 Б			3		
ЩОВ-200 Б			6		
ЩОВ-210 Б			6		
ЩОВ-211 Б			6		
ЩОВ-310 Б			9		
ЩОВ-311 Б			9		
ЩОВ-410 Б			12		
ЩОВ-411 Б			12		
ПР11-3045-54У1	—	ВА 47-29	6	IP54	На стене
ПР11-305154У1			12		
ПР11-3057-54У1			18		
ПР11-3065-21УЗ			24		
ПР11-3046-54У1	ВА 57-35, ВА 57Ф35		6		
ПР11-305254У1			12		
ПР11-3058-54УЗ			18		
ПР11-3066-54УЗ			24		

Таблица п.5.5 – Технические данные автоматических выключателей

Тип выключателя	Номи- наль- ное напря- жение, В	Номи- нальный ток вы- ключа- теля, I_{na} , А	Уставка по току расцепи- теля пере- грузки, I_R , А	Уставка по току расцепителя мгновенного действия, I_i , А	Номинальная наибольшая от- ключающая спо- собность, I_{cn} , кА
ВА 57-39	660	630	630	5000; 3200	40
			500	5000; 2500	
			400	4000;2000	
			320	3200	
ВА 57-39 только с электромаг- нитным рас- цепителем	660	630	—	5000; 4000; 3200; 2500; 2000	40
ВА 52-39	660	630	630; 500; 400; 320	6300; 5000; 4000; 3200; 2500	
ВА 57-35	660	250	100	1250	
			125		
			160	1600	
ВА 57Ф35	380		200	2500	18
			250		
ВА 57-35, ВА 57Ф35 только с электромаг- нитным рас- цепителем	660	250	—	2500; 2000; 1600 1250; 1000	
	380				18
ВА 47-29-1	220	63	1; 2; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63	4500	
АЕ 2053ММ	380	100	16	400	6
			20; 25; 31,5; 40		
			50; 63	800	
			80; 100	1200	
АЕ 2053 ММ только с электромаг- нитным рас- цепителем	380	100	—	400; 800; 1000	6

Таблица п.5.6 – Трехполюсные автоматические выключатели ВА51 и ВА52 с номинальным током 160 А, напряжением до 660 В

Тип выключателя	Номинальный ток, $I_{на}$, А	Уставка по току расцепителя перегрузки, I_R , А	Кратность I_i к I_R	Номинальная наибольшая отключающая способность $I_{сн}$, кА	
ВА51-25	25	6,3; 8,0	7;10	2	-
		10;12,5		2,5	
		16;20;25		3,8	
ВА51Г25	25	0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,25;1,6	14	3	-
		2,0; 2,5; 3,15;4,0; 5,0; 6,3; 8,0		1,5	
		10;12,5		2,0	
		16;20;25		3	
ВА51-31 ВА52-31	100	16	3; 7; 10	4,5	13
		20; 25		5,0	13
		31,5; 40		6,0	16
		50; 63		6,0	20
		80; 100		6,0	28
ВА51Г31 ВА52Г31	100	16;20;25	14	3,6	13
		31,5; 40		6,0	16
		50; 63		6,0	20
		80; 100		6,0	28
ВА51-33 ВА52-33	160	80; 100	10	12,5	30
		125; 160			38
ВА51Г33 ВА52Г33	160	80;100	14	12,5	30
		125;160			38

Таблица п.5.7 - Технические данные автоматических выключателей

Тип автоматического выключателя	Число полюсов	Тип по току мгновенного расцепителя	Номинальный ток, $I_{на}$, А	Уставка по току расцепителя перегрузки, I_R , А	Кратность I_i к I_R	Климатическое исполнение и категория размещения	Степень защиты	Предельная наибольшая отключающая способность, $I_{сп}$, кА
1	2	3	4	5	7	8	9	10
BA 47-29	1,2,3, 4	B, C, D	63	0,5;1,6;2,5;1;2;3;4;5;6;8;10;13;16;20;25;32;40;50;63	$(5-10)I_R$		IP20	4,5
BA 47-100	1	C, D	100	0,5;1,6;2,5;1;2;3;4;5;6;8;10;13;16;20;25;32;40;50;63;80;100	$(5-10)I_R$		IP20	10
BA 63	1,2,3	C	63	6,10,16,20,25,32,40,50,63	$(5-10)I_R$		IP20	4,5
BA 47-63	3	B, C, D	100	0,5;1,6;2,5;1;2;3;4;5;6;8;10;13;16;20;25;32;40;50;63;80;100	$(5-10)I_R$			4,5
S231	1	C	63	6,10,16,20,25,32,40,50,63	$(5-10)I_R$		IP20	4,5
S232	2	C	40	6,10,16,20,25,32,40	$(5-10)I_R$		IP20	4,5
S233	3	C	63	6,10,16,20,25,32,40,50,63	$(5-10)I_R$		IP20	4,5
BA 22-27	1		40	10;16;25;31,5;40	$10 I_R$	УХЛ, Т	IP30	3,5
BA 66-29-14	1	B	63	0,5;0,6;0,8;1;1,25;1,6;2;2,5;3;1,5;5;6,3	$5I_R$	УХЛ4, Т3, О4		1,5
		C			$10I_{Rp}$			
		1C; 2C		6,3;10;16;20;25;31,5;40;50;63	$10 I_R$			
		B		10;12,5;16;20;25	$5I_R$			3
		C			$10I_R$			
		1C; 2C		6,3;10;16;20;25;31,5;40;50;63	$10I_R$			
		B		31,5;40;50;63	$5I_R$			4,5
		C			$10I_R$			
		1C; 2C		6,3;10;16;20;25;31,5;40;50;63	$10I_R$			

Продолжение таблицы п.5.7.

1	2	3	4	5	7	8	9	10
BA 66-29-24 BA 66-29-34	2 3	B	63	0,5;0,6;0,8;1;1,25;1,6;2;2,5; 3,15;5;6,3	5I _R	УХЛ4, Т3, О4		1,5
		C			10I _R			
		1C; 2C		6,3;10;16;20;25;31,5;40;50;63	10I _R			
		B		10;12,5;16;20;25	5I _R			2
		C			10I _R			
		1C; 2C		6,3;10;16;20;25;31,5;40;50;63	10I _R			
		B		31,5;40;50;63	5I _R			3
		C			10I _R			
		1C; 2C		6,3;10;16;20;25;31,5;40;50;63	10I _R			
AE 1031	1		25	6		УХЛ4, Т3, О4	IP20	1,2
						ХЛ2, Т2	IP54	
				10,16,20,25		УХЛ4, Т3, О4	IP20	1,8
						ХЛ2, Т2	IP54	
AE2044-100	1		63	10;12,5	10I _R	У3, ХЛ4	IP20, IP54	2
				16;20;25				3
				31,5;40;50;63				6
AE2046M	3		63	0,6;0,8;1;1,25;1,6;2;2,5;3,15;4	(10-14)I _R	У3, ХЛ4	IP20, IP54	0,8
				5;6,3;8;10;12,5				1,5
				16;;20;25;31,5;40;50;63				2,4

Таблица п.5.8 - Технические данные выключателей серии «Электрон»

Тип и номинальный ток выключателя	Полупроводниковый распределитель (реле МТЗ)					
	Номинальный ток расцепителя, А	Зона перегрузок			Зона токов КЗ	
		Пределы регулирования и номинальные уставки				
		Тока трогания защиты кратного	Время действия, с, защиты при токе, равном		Тока трогания защиты у выключателей переменного тока, кратного	Время действия защиты, с
			1,25	6		
Выдвижное исполнение						
Э06В	250	0,8; 1,0	100; 150; 200	4; 8; 16	3; 5; 7; 10	0,025-0,6
1000 А	400	1; 25; 2				
	630					
	800					
	1000				3; 5;7	0,25; 0,45; 0,70
Э16В	630				3; 5; 7; 10	
1600 А	1000					
	1250	(для выключателей всех типов)			3; 5;7	(для выключателей всех типов)
	1600					
Э25В	1600					
2500 А	2000					
	2500					
Э40В	2500					
5000 А	3200				3; 5	
	4000					
	5000					

Таблица п.5.9 - Технические данные выключателей АЗ700

Тип выключателя	Номинальный ток, $I_{на}$, А	Базовый номиналь- ный ток, А	Уставка по току рас- цепителя пере- грузки, I_R , А	Калибруемые значения уставок расцепителя в зоне токов КЗ		Пределы регулирова- ния времени срабаты- вания, с, при I_R переменного тока	Уставка по току расцепителя мгно- венного действия, I_i , А
				По току сра- батывания, кратное I_R	По времени сраба- тывания, с		
Исполнение селективное с полупроводниковыми расцепителями							
A3740C A3794C	250 400 630	200 320 500	160, 200, 250, 250, 320, 400, 400, 500, 630	2,3,5,7,10	0,1; 0,25; 0,4	4, 8, 16	Электромагнитного расценителя нет
Исполнение токоограничивающее с полупроводниковыми и электромагнитными расцепителями							
A3714Б	160	32 63 125	20, 25, 32, 40, 40, 50, 63, 80, 80, 100, 125, 160	2,3,5,7,10	Выдержки времени нет	4, 8, 16	1600
A3724Б	250	200	160, 200, 250	2,3,5,7,10	Выдержки времени нет		2500
A3794Б	250 400 630	250 400 630	160, 200, 250, 250, 320, 400, 400, 500, 630	2,3,5,7,10	Выдержки времени нет	4, 8, 16	2500 4000 6300

Таблица п.5.10 – Технические данные выключателей серии А3700 с электромагнитными и тепловыми расцепителями

Тип выключателя, номинальный ток электромагнитного расцепителя, А.	Уставка по току расцепителя перегрузки, I_R , А	Уставка по току расцепителя мгновенного действия, I_i , А
А3716В, 160 А3716Ф, 160	16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160	630 630, 1600
А3726В, 250 А3726Ф, 250	160, 200, 250	2500
А3736В, 400 А3736Ф, 400	250, 320, 400	10 $I_{\text{ном.т.расц.}}$
А3796Н, 630	250, 320, 400, 500, 630	10 $I_{\text{ном.т.расц.}}$

Таблица п.5.11 – Технические данные А3700 (исполнение – только с электромагнитным расцепителем максимального тока)

Тип и номинальный ток выключателя, А	Уставка по току расцепителя мгновенного действия, I_i , А
А3712В, А3712Ф, 160	630, 1000, 1600
А3722В, А3722Ф, 250	1600, 2000, 2500
А3732Ф, 400	2500, 3200, 4000
А3792В, 630	4000, 5000, 6300

Таблица п.5.12 – Значения коэффициентов для расчета тока срабатывания отсечки автоматических выключателей, устанавливаемых в цепях электродвигателей

Автоматический выключатель	Расцепитель		k_3	k_a	k_p	k_n
А3700; А3790	полу- про- водни- ковый	РП	1, 1	1, 0	1, 3	1, 5
ВА		БРП				
«Электрон»		РМТ		1, 4	1, 3 5	1, 6
		МТЗ -1				2, 2
АВМ	электромагнит- ный		1, 4	1, 4	1, 1	1, 8
А3110; АП50Б; А3700; ВА; АЕ20					1, 3	2, 1
А3120; А3130; А3140					1, 1 5	1, 9

Таблица п.5.13 – Технические данные предохранителей

Тип и конструкция предохранителя	Номинальный ток патрона	Номинальный ток плавкой вставки, А/сечение плавкой вставки, мм ²	Предельно отключаемый ток – действующие значения тока КЗ $I''^{(3)}$ (кА) при напряжении, В	
			I габарит 220/380	II габарит 380/500
ПР-2 закрытый, патрон разборный, без заполнителя, вставка фигурная цинковая	15	6/0,2; 10/0,4; 15/0,48	1,2/0,8	0,8/0,7
	60	15/0,48; 20/0,75; 25/1; 35/1,2; 60/1,5	5,5/1,8	4,5/3,5
	100	60/1,5; 80/2,3; 100/3	11/0,6	13/11
	200	100/3; 125/3,8; 160/4,7; 200/6,0	11/0,6	13/11
	350	200/6,0; 235/7,8; 260/10,5; 300/13; 350/14	11/0,6	13/11
	600	350/13; 430/22; 500/26; 600/38	15/13	23/20
ПН-2 закрытый, патрон разборный, с заполнителем, вставка из листовой меди с оловянным шариком	100	31,5/0,17; 40/0,225; 50/0,34; 63/0,426; 80/0,595; 100/0,765	-	-/50
	250	80/0,595; 100/0,765; 125/0,935; 160/1,085; 200/1,53; 250/2,3	-	-/40
	400	200/1,53; 250/2,04; 315/2,88; 355/3,06; 400/3,81	-	-/25
	630	315/2,88; 400/4,08; 500/5,1; 630/6,12	-	-/25
НПН-2 Закрытый, патрон не разборный, с заполнителем, вставка из меди с оловянным шариком	60	6/0,0354; 10/0,098; 16/0,141; 20/0,215; 25/0,282; 32/0,48; 40/0,72; 63/0,96;	-	-/10
			-	-/10
ПРС Однополюсный, резьбовой, разборный, с заполнителем	6	1/0,138; 2/0,312; 4/0,482; 6/0,635	-	-
	20	10/1,3; 16/1,54; 20/2,55	-	-
	63	25/3,8; 40/7,6; 63/10,4	-	-

Таблица п.5.14 – Значения коэффициента a , при котором обеспечивается селективность защиты

Металл плавкой вставки предохранителя, расположенного ближе к источнику питания (для любого типа предохранителя)	Отношение a сечений плавких вставок, если предохранитель, расположенный ближе к нагрузке, изготовлен:							
	с заполнителем при плавкой вставке из:				без заполнителя при плавкой вставке из:			
	мед и	се- ре- бра	цин ка	сви нца	мед и	се- ре- бра	цин ка	сви нца
Медь	1,55	1,33	0,55	0,2	1,15	1,03	0,4	0,15
Серебро	1,72	1,55	0,62	0,23	1,33	1,15	0,46	0,17
Цинк	4,5	3,95	1,65	0,6	3,5	3,06	1,2	0,44
Свинец	12,4	10,8	4,5	1,65	9,5	8,4	3,3	1,2

Таблица п.5.15 – Технические характеристики устройств УЗО-ВАД2

Тип	Номинальный ток, А	Количество полюсов	Номинальный отключающий дифференциальный ток, мА	Номинальная включающая и отключающая способность, А	Номинальная способность включения и отключения дифференциального тока, А
УЗО-ВАД2-10-2-10	10	2	10	3000	3000
УЗО-ВАД2-10-2-030	10	2	30	3000	3000
УЗО-ВАД2-16-2-10	16	2	10	3000	3000
УЗО-ВАД2-16-2-030	16	2	30	3000	3000
УЗО-ВАД2-25-2-030	25	2	30	3000	3000
УЗО-ВАД2-25-2-100	25	2	100	3000	3000
УЗО-ВАД2-25-2-100S	25	2	100	3000	3000
УЗО-ВАД2-32-2-030	32	2	30	3000	3000
УЗО-ВАД2-32-2-100	32	2	100	3000	3000
УЗО-ВАД2-32-2-100S	32	2	100	3000	3000
УЗО-ВАД2-40-2-030	40	2	30	3000	3000
УЗО-ВАД2-40-2-100	40	2	100	3000	3000
УЗО-ВАД2-40-2-100S	40	2	100	3000	3000
УЗО-ВАД2-50-2-030	50	2	30	3000	3000
УЗО-ВАД2-50-2-100	50	2	100	3000	3000
УЗО-ВАД2-50-2-100S	50	2	100	3000	3000
УЗО-ВАД2-63-2-030	63	2	30	3000	3000
УЗО-ВАД2-63-2-100	63	2	100	3000	3000
УЗО-ВАД2-63-2-100S	63	2	100	3000	3000

Таблица п.5.16 – Технические характеристики устройств АСТРО УЗО

Тип	Номинальный ток, А	Количество полюсов	Номинальный отключающий дифференциальный ток, мА	Номинальная включающая и отключающая способность, А	Номинальная способность включения и отключения дифференциального тока, А
АСТРО УЗО-1111	16	2	10	1500	1500
АСТРО УЗО-2211	25	2	30	1500	1500
АСТРО УЗО-3211	40	2	30	1500	1500
АСТРО УЗО-3311	40	2	100	1500	1500

Приложение 6

Таблица п.6.1 – Выбор электропроводки

Провода и кабели		Способ монтажа							
		без крепле- ния	с непо- сред- ствен- ным креп- ле- нием	в тру- бах	в коро- бах	в спе- циаль- ных коро- бах	на лот- ках и крон- штей- нах	на изо- лято- рах	на тросе (струне)
Неизолированные провода		—	—	—	—	—	—	+	—
Изолированные провода		—	—	+	+	+	—	+	—
изолированные провода в защит- ной оболочке и кабели в оболоч- ках (в т.ч. бронированные и с ми- неральной изоляцией)	Много- жильные	+	+	+	+	+	+	0	+
	одно- жильные	0	+	+	+	+	+	0	+

Обозначения:

«+» – разрешается;

«-» – не разрешается;

«0» – не применяется или обычно в практике не используется.

Таблица п.6.2 – Монтаж систем электропроводки

Место прокладки	Способ монтажа							
	без крепления	с непосредственным креплением	в трубах	в коробах	в специальных коробах	на лотках и кронштейнах	на изоляторах	на тросе (струне)
В пустотах строительных конструкций	+	0	+	—	+	+	—	—
В кабельных каналах	+	+	+	+	+	+	—	—
В земле	+	0	+	—	+	0	—	—
В строительных конструкциях	+	+	+	+	+	0	—	—
Открытая прокладка по строительным конструкциям	—	+	+	+	+	+	+	—
В воздухе	—	—	0	+	—	+	+	+
В воде	+	+	0	—	0	0	—	—

Обозначения:

«+» – разрешается;

«—» – не разрешается;

«0» – не применяется или обычно в практике не используется.

Таблица п.6.3 – Технические данные магистральных шинопроводов переменного тока

Показатель	ШМА4-1250	ШМА4-1600	ШМА4-2500	ШМА4-3200	ШМА4-4000
Номинальный ток, А	1250	1600	2500	3200	4000
Амплитудное значение тока короткого замыкания, кА	70	90	120	140	100
Сопротивление фазы (среднее) при номинальном токе и установившемся режиме, Ом/км:					
активное	0,033	0,030	0,017	0,015	0,011
индуктивное	0,018	0,014	0,008	0,005	0,009
полное	0,038	0,033	0,019	0,016	0,014
Полное сопротивление петли фаза-нуль(наибольшее значение), Ом/км	0,112	0,095	0,092	0,083	0,046
Потеря напряжения на длине 100 м при номинальном токе и нагрузке, сосредоточенной в крнце линии ($\cos\varphi=0,8$), В	8,1	9,1	8,2	8,3	10,2
Количество шин на фазу	1	1	2	2	2
Сечение шин, мм	8×140	8×160	8×140	8×160	12×160

Примечания:

- материал шин – алюминий марки АДО;
- максимально допустимое расстояние между точками крепления 6 м; – допустимые механические нагрузки в вертикальной плоскости 900 Н. в горизонтальной – 450 Н;
- по ГОСТ 14254-96 степень защиты IP44.

Таблица п.6.4 – Технические данные распределительных шинопроводов переменного тока ($U_H = 380/220$ В)

Показатель	ШРА-73			ШРМ-75			ШРА-74
Номинальный ток, А	250	400	630	100	250	400	630
Активное сопротивление на фазу, Ом/км	0,20	0,13	0,085	–	0,15	0,15	0,14
Реактивное сопротивление на фазу, Ом/км	0,10	0,10	0,075	–	0,20	0,20	0,10
Размеры шин на фазу, мм	35×5	50×5	80×5	–	35×5	50×5	80×5
Максимальное расстояние между точками крепления, мм	3000	3000	3000	2000	2000	2000	2000

Примечание. Степень защиты по ГОСТ 14254-96 – IP32.

Таблица п.6.5 – Технические данные осветительные шинопроводов переменного тока

Показатель	ШОС-2-25-44	ШОС-4-25-44	ШОС-80-43
Номинальный ток, А	25	25	16
Номинальное напряжение, В	220	380/220	220

Примечание. Ударный ток КЗ при проверке на электродинамическую стойкость равен 3 кА.

Таблица п.6.6 – Минимальные сечения проводников

Типы электропроводок		Назначение цепи	Проводник	
			Материал	Сечение, мм ²
Стационарные электроустановки	Кабели и изолированные проводники	Силовые и осветительные цепи	Медь	1,5
			Алюминий	2,5
		Цепи сигнализации и управления	Медь	0,5
	Неизолированные проводники	Силовые цепи	Медь	10
			Алюминий	16
		Цепи сигнализации и управления	Медь	4
Гибкие соединения с изолированными проводниками и кабелями	Внутренний монтаж в приборах и устройствах	Медь	По нормативным требованиям соответствующих стандартов	
	В остальных случаях		0,75	
	В цепях сверхнизкого напряжения для специального применения		0,75	

Таблица п.6.7 – Допустимые токовые нагрузки кабелей с медными жилами ВВГнг при прокладке в воздухе (при окружающей температуре воздуха 25°С)

Номинальное сечение жилы, мм ²	Допустимые токовые нагрузки кабелей с медными жилами при прокладке в воздухе, А			
	одножильные	двухжильные	Трех-, четырехжильные	пятижильные
1,5	29	24	21	20
2,5	40	33	28	26
4	53	44	37	34
6	67	56	49	46
10	91	76	66	61
16	121	101	87	81
25	160	134	115	107
35	197	166	141	131
50	247	208	177	165
70	318	—	226	210
95	386	—	274	255
120	450	—	321	299
150	521	—	370	344
185	594	—	421	392
240	704	—	499	464

Таблица п.6.8 – Допустимые токовые нагрузки кабелей с алюминиевыми жилами АВВГнг при прокладке в воздухе (при окружающей температуре воздуха 25°С)

Номинальное сечение жилы, мм ²	Допустимые токовые нагрузки кабелей с алюминиевыми жилами при прокладке в воздухе, А			
	одножильные	двухжильные	Трех-, четырехжильные	пятижильные
2,5	30	25	21	20
4	40	34	29	27
6	51	43	37	34
10	69	58	50	47
16	93	77	67	62
25	122	103	88	82
35	151	127	109	101
50	189	159	136	126
70	233	—	167	155
95	284	—	204	190
120	330	—	236	219
150	380	—	273	254
185	436	—	313	291
240	515	—	369	343

Таблица п.6.9 – Длительно допустимый ток для проводов и кабелей на напряжение до 1 кВ с алюминиевыми жилами при окружающей температуре воздуха 25°C и земли 15°C

Группа проводников	Провода с резиновой и пластмассовой изоляцией						Кабели и защищенные провода с резиновой и пластмассовой изоляцией						Кабели с бумажной пропитанной изоляцией						Голые провода	
Характерная марка	АПР – АПРТО – АПРВ – АПВ						АВРГ – АНРГ – АВВГ – АВРБГ – АНРБГ – АВВБГ – АПРФ			АВВБ – АНРБ – АВВБ			ААГ – АСГ – ААБГ – АСБГ			ААБ – АСБ			А	
Способ прокладки	Открыто	В стальных трубах					В воздухе			В земле			В воздухе			В земле			Открыто вне помещения	
Сечение, мм ²		При числе проводов, равном					При числе жил (одножильных проводов), равном													В помещениях
	–	2	3	4	5-6	7-9	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4		
2,5	24	20	19	19	15	14	21	19	17	34	29	26	23	22	–	35	31	–	–	
4	32	28	28	23	22	21	29	27	24	42	38	35	31	29	27	46	42	38	–	
6	39	36	32	30	26	24	38	32	29	55	46	42	42	35	35	60	55	46	–	
10	60	50	47	39	38	35	55	42	38	80	70	63	55	46	45	80	75	65	–	
16	75	60	60	55	48	45	70	60	54	105	90	81	75	60	60	110	90	90	105/75	
25	105	85	80	70	65	60	90	75	68	135	115	104	100	80	75	140	125	115	135/105	
35	130	100	95	85	75	70	105	90	81	160	140	126	115	95	95	175	145	135	170/130	
50	165	140	130	120	105	95	135	110	100	205	175	158	140	120	110	210	180	165	215/165	
70	210	175	165	140	130	125	165	140	126	245	210	190	175	155	140	250	220	200	265/210	
95	255	215	200	175	–	–	200	170	153	295	255	230	210	190	165	290	260	240	320/255	
120	295	245	220	200	–	–	230	200	190	340	295	266	245	220	200	335	300	270	375/300	
150	340	275	255	–	–	–	270	235	212	390	335	302	290	255	230	385	335	305	440/355	

Таблица п.6.10 – Длительно допустимый ток I_0 для проводов и кабелей на напряжение до 1 кВ с медными жилами при окружающей температуре воздуха 25⁰ С и земли 15⁰ С

Группа проводни- ков	Провода и шнуры с резиновой и пластмассо- вой изоляцией						Кабели и защитные провода с резиновой и пластмассовой изоляцией						Шланго- вые кабели		Кабели с бумажной пропитанной изоляцияей						Голые провода	
Характер- ная марка	ПР-ПРТО-ПРГ-ПРВ-ПВ-ПГВ-ПРГВ						ВРГ-НРГ-ВВГ- ВРБГ-НРБГ-ВВБГ- ПРФ			ВРГ-НРГ-ВВГ			КРПТ, КРПГ		АГ-СГ-АБГ- СБГ			АБ-СБ			М	
Способ прокладки	от- кры- то	в стальных трубах					в воздухе			в земле					в воздухе			в земле			открыто вне по- мещения	
		в поме- щениях																				
Сече- ние, мм ²	I _д , А, при числе жил (одножильных проводов), равном																					
		2	3	4	5-6	7-9	2	3	4	2	3	4	2	3	2	3	4	2	3	4	-	
1,5	23	19	17	16	15	14	19	19	17	33	27	24	23	20	-	-	-	-	-	-	-	
2,5	30	27	25	25	20	19	27	25	22	44	38	34	33	28	30	28	-	45	40	-	-	
4	41	38	35	30	28	26	38	35	31	55	49	44	43	36	40	37	35	60	55	50	50/25	
6	50	46	42	40	34	31	50	42	38	70	60	54	55	45	55	45	45	80	70	60	70/35	
10	80	70	60	50	48	45	70	55	50	105	90	81	75	60	75	60	60	105	95	85	95/60	
16	100	85	80	75	64	60	90	75	68	135	115	103	95	80	95	80	80	140	120	115	130/100	
25	140	115	100	90	80	75	115	95	85	175	150	135	125	105	130	105	100	185	160	150	180/135	
35	170	135	125	115	100	95	140	120	108	210	180	162	150	130	150	125	120	225	190	175	220/170	
50	215	185	170	150	135	125	175	145	130	265	225	202	185	160	185	155	145	270	235	215	270/215	
70	270	225	210	185	165	155	215	180	162	320	275	247	235	200	225	200	185	325	285	265	340/270	
95	330	275	255	225	-	-	260	220	200	385	330	300	-	-	275	245	215	380	340	310	415/335	
120	385	315	290	260	-	-	300	260	234	445	385	347	-	-	320	285	260	435	390	350	485/395	
150	440	360	330	300	-	-	350	305	275	505	435	392	-	-	375	330	300	500	435	395	570/465	

Таблица п.6.11 – Поправочный коэффициент на токовые нагрузки силовых кабелей в зависимости от температуры окружающей среды

Расчетная температура окружающей среды, °С	Нормированная температура на жиле, °С	Температура окружающей среды, °С									
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
		Поправочный коэффициент									
25	70	1,20	1,15	1,11	1,05	1,00	0,94	0,88	0,81	0,74	0,67

Таблица п.6.12 – Поправочные коэффициенты на число работающих кабелей, лежащих рядом в земле (в трубах или без труб)

Расстояние в свету, мм	Коэффициент при числе кабелей					
	1	2	3	4	5	6
100	1,00	0,90	0,85	0,80	0,78	0,75
200	1,00	0,92	0,87	0,84	0,82	0,81
300	1,00	0,93	0,90	0,87	0,86	0,85

Таблица п.6.13 – Поправочные коэффициенты для проводов и кабелей, прокладываемых в коробах

Способ прокладки	Количество проложенных проводов и кабелей		Поправочный коэффициент для проводов, питающих	
	одножильных	многожильных	отдельные электроприемники с коэффициентом использования до 0,7	группы электроприемников и отдельные электроприемники с коэффициентом использования более 0,7
Многослойно и пучками	–	До 4	1,0	–
	2	5-6	0,85	–
	3-9	7-9	0,75	–
	10-11	10-11	0,7	–
	12-14	12-14	0,65	–
	15-18	15-18	0,6	–
Однослойно	2-4	2-4	–	0,67
	5	5	–	0,6

Таблица п.6.14 – Кратность длительно допустимого тока проводника по отношению к току расцепителя аппарата защиты, k_3

Ток защитного аппарата, $I_{3,a}$	Сети, для которых защита от перегрузок и токов короткого замыкания			Сети, защищаемые от токов короткого замыкания
	Проводники с резиновой и аналогичной ей изоляцией		Кабели с бумажной изоляцией	
	Взрыво- и пожароопасные помещения, жилые торговые помещения и т.п.	Невзрыво- пожароопасные производственные помещения промышленных предприятий		
Номинальный ток плавкой вставки предохранителей	1,25	1,0	1,0	0,33
Ток расцепителя автоматического выключателя с независимой защитной характеристикой	1,25	1,0	1,0	0,22
Ток расцепителя автоматического выключателя с регулируемой зависимой защитной характеристикой	1,0	1,0	1,0	1,00
Ток расцепителя автоматического выключателя с регулируемой зависимой защитной характеристикой	1,0	1,0	0,8	0,8

Таблица п.6.15 – Сечение нулевого рабочего проводника N и совмещенного pEN-проводника

Сечение фазного проводника L	Сечение нулевого рабочего проводника N и совмещенного pEN-проводника
В однофазных двухпроводных цепях	Равно сечению фазного проводника
В многофазных цепях и однофазных трехпроводных цепях: – с медной жилой сечением 16 мм ² и менее – с алюминиевой жилой сечением 25 мм ² и менее	Равно сечению фазного проводника Равно сечению фазного проводника
В многофазных цепях с медной жилой сечением более 16 мм ² и алюминиевой жилой сечением более 25 мм ²	Нулевой рабочий проводник N или pEN-проводник могут иметь сечение меньше, чем фазный проводник при одновременном выполнении следующих условий: – нулевой проводник защищен от сверх токов; – сечение нулевого рабочего проводника N и pEN-проводника по крайней мере равно 16 мм ² для медных и 25 мм ² для алюминиевых проводников

Таблица п.6.16 – Минимальное сечение защитных проводников S , мм², изготовленных из того же материала, что и фазные проводники

Сечение фазных проводников, S , мм ²	Минимальное сечение защитных проводников S , мм ² , изготовленных из того же материала, что и фазные проводники
$S < 16$	S
$16 < S < 35$	16
$S > 35$	$S/2$

Таблица п.6.17 – Минимальное сечение защитных проводников из меди

Возможность механических повреждений	Минимальное сечение защитных проводников из меди, мм ²
При наличии защиты от механических повреждений	2,5
При отсутствии защиты от механических повреждений	4,0

Таблица п.6.18 – Минимальные сечения заземляющих проводников

Заземляющие проводники	Минимальное сечение проводников
Защищенные от коррозии : – имеющие защиту от механических повреждений; – не имеющие защиты от механических повреждений	Согласно требованиям п. 543.1 ГОСТ Р 50571.10-96(5) стальные проводники – 16 мм ² , медные проводники – 16 мм ²
Не защищенные от коррозии и не имеющие защиты от механических повреждений	стальные проводники – 50 мм ² , медные проводники – 25 мм ²

Таблица п.6.19 – Активное и индуктивное сопротивления проводников

Сечение проводников, мм	Активное сопротивление проводника при температуре 35°C, Ом/км		Индуктивное сопротивление проводников среднее значение, Ом/км		
	медных	алюминиевых	провода в трубе	Трехжильные кабели с бумажной изоляцией	Провода, проложенные открыто
1,5	13,3	–	0,126	0,113	0,374
2,5	8,0	13,2	0,116	0,104	0,358
4	5,0	8,3	0,107	0,095	0,343
6	3,3	5,5	0,0997	0,09	0,33
10	2,0	3,3	0,099	0,073	0,307
16	1,25	2,06	0,095	0,0675	0,293
25	0,8	1,32	0,0912	0,0622	0,278
35	0,57	0,95	0,0879	0,0637	0,268
50	0,4	0,66	0,0854	0,0625	0,256
70	0,28	0,47	0,0819	0,0612	0,245
95	0,21	0,35	0,0807	0,0602	0,236
120	0,167	0,276	0,0802	0,0600	0,229
150	0,133	0,22	0,08	0,0600	0,230
185	0,108	0,179	0,08	0,0600	0,230

Таблица п.6.20 – Значения коэффициентов C

Номинальное напряжение сети, В	Система сети и род тока	Значения коэффициентов C для проводников	
		медных	алюминиевых
380/220	Трехфазная с нулем	72	44
380	Трехфазная без нуля	72	44
220/127	Трехфазная с нулем	24	14,7
220	Трехфазная без нуля	24	14,7
36		0,648	0,396
24		0,288	0,176
12		0,072	0,044
380/220	Двухфазная с нулем	32	19,5
220/127		10,7	6,5
220	Двухпроводная переменного или постоянного тока	12	7,4
127		4	2,46
36		0,324	0,198
24		0,144	0,088
12		0,036	0,622

Приложение 7

Таблица п.7.1 - Ограничители перенапряжений нелинейные с полимерной изоляцией

Наименование параметров	Значение параметров для типоразмеров	
	ОПН-П-0,38 УХЛ1	ОПН-П-0,66 УХЛ1
Класс напряжения сети, кВ	0,38	0,66
Наибольшее рабочее напряжение (продолжительно действующее) кВ	0,4	0,8
Номинальный разрядный ток, кА	2,5	2,5
<ul style="list-style-type: none"> Остающееся напряжение при импульсном токе 8/20 мкс, кВ, не более, с амплитудой тока: 		
250 А	1,4	2,8
2500 А	1,6	3,2
5000 А	1,7	3,4
Длина пути утечки внешней изоляции, см, не менее	2,5	3,0
Расчётный ток коммутационного перенапряжения на волне 30/60 мкс, А	125	125
Остающееся напряжение при расчётном токе коммутационного перенапряжения, кВ, не более	1,3	2,6
Двадцатикратная (20 воздействий) токовая пропускная способность: при прямоугольной волне тока продолжительностью 2000 мкс, А при волне импульсного тока 8/20 мкс, кА		
	125	125
	3	3
Срок службы, лет	25	25

Таблица п.7.8 – Ограничители перенапряжений нелинейные серии TEL

Наименование параметров	Значение параметров для типов			
	ОПН-Н/TEL 0,4/0,4	ОПН-Н/TEL 0,4/0,45	ОПН-Н/TEL 0,7/0,7	ОПН-Н/TEL 0,7/0,8
Класс напряжения сети, В	380	380	660	660
Наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение, В	400	450	700	800
Номинальный разрядный ток, кА	10	10	10	10
Остающееся напряжение на ограничителе, В, не более, при импульсе тока:				
100 А 30/60 мкс	950	1050	1650	1900
500 А 8/20 мкс	1000	1120	1750	2000
5000 А 8/20 мкс	1190	1330	2080	2380
10 000 А 8/20 мкс	1260	1440	2200	2520
Максимальная амплитуда импульса большого тока 4/10 мкс, кА	100	100	100	100
Пропускная способность, А, не менее	450	450	450	450

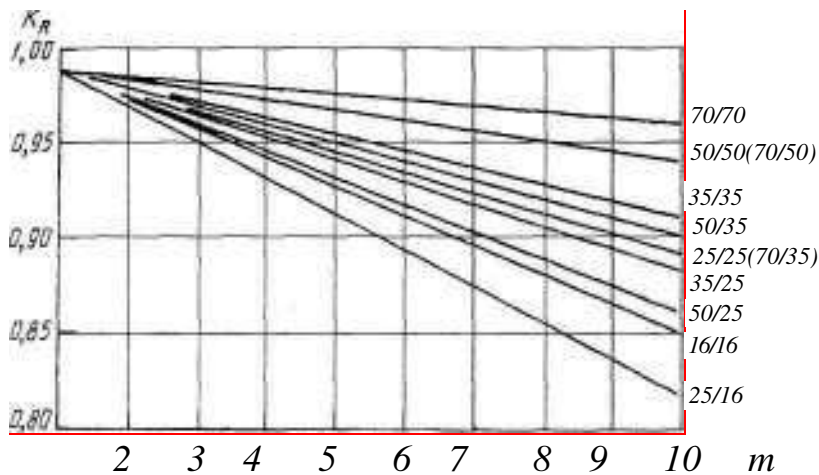


Рисунок п.8.1 – Поправочный коэффициент к активному сопротивлению петли «фаза-нуль» воздушной линии

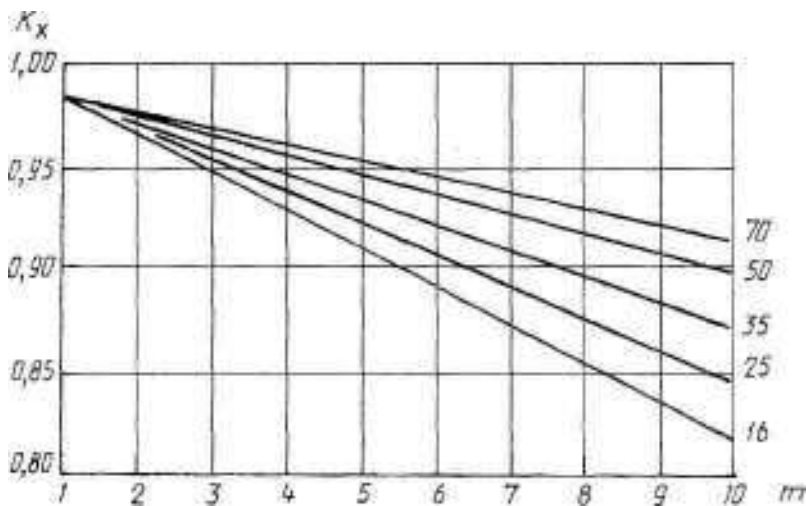


Рисунок п.8.2 – Поправочный коэффициент к индуктивному сопротивлению петли «фаза-нуль» воздушной линии

Примечания.

1. На рисунке п.8.1 справа от кривых даны сечения проводов петли: в числителе - фазного, в знаменателе - нулевого провода.
 2. На рисунке п.8.2 справа от кривых даны сечения нулевых проводов петли.
- На рисунках п.8.1 и п.8.2 «m» - число повторных заземлений на линии.

Таблица п.8.2 – Параметры шинопроводов серии ШМА и ШРА

Тип шинопровода	$U_n, кВ$	$I_n, А$	Сопротивление фазы, мОм/м		Сопротивление нулевого провода, мОм/м	
			r_l	x_l	r_{nn}	x_{nn}
ШМА4-1250	0,38/0,66	1250	0,034	0,016	0,054	0,053
ШМА1-1600	0,38/0,66	1600	0,030	0,014	0,037	0,042
ШМА4-3200	0,38/0,66	3200	0,010	0,005	0,064	0,035
ШМА68П	0,38/0,66	2500	0,020	0,020	0,070	0,046
ШМА68П	0,38/0,66	4000	0,013	0,015	0,070	0,045
ШРА73	0,38/0,66	250	0,210	0,210	0,120	0,210
ШРА73	0,38/0,66	400	0,150	0,170	0,162	0,164
ШРА73	0,38/0,66	630	0,1	0,13	0,162	0,164

Таблица п.8.3 – Сопротивления разъёмных контактов коммутационных аппаратов, мОм

Номинальный ток аппарата, А	Автоматический выключатель	Рубильник	Разъём
50	1,3	—	—
70	1,0	—	—
100	0,75	0,5	—
150	0,65	—	—
200	0,60	0,40	—
400	0,40	0,20	0,20
600	0,25	0,15	0,15
1000	0,12	0,08	0,08

Таблица п.8.4 – Параметры кабеля с алюминиевыми жилами

Сечение	$r'_{КБ} = r'_{2КБ},$ мОм/м	$x'_{КБ} = x'_{2КБ},$ мОм/м	$r'_{0КБ},$ мОм/м	$x'_{0КБ},$ мОм/м
2,5	15,29	0,102	18,63	2,26
4	9,61	0,098	11,71	2,31
6	6,41	0,094	8,71	2,274
10	3,84	0,088	5,9	2,24
16	2,4	0,084	4,39	2,2
25	1,54	0,072	3,42	2,17
35	1,1	0,068	2,97	2,14
50	0,769	0,066	2,449	2,08
70	0,549	0,65	2,039	2,07
95	0,405	0,064	1,665	2,05
120	0,32	0,064	1,54	2,03
150	0,256	0,063	2,276	2,0

Таблица п.8.5 – Параметры кабеля с медными жилами

Сечение	$r'_{1КБ} = r'_{2КБ},$ мОм/м	$x'_{1КБ} = x'_{2КБ},$ мОм/м	$r'_{0КБ},$ мОм/м	$x'_{0КБ},$ мОм/м
1,5	14,9	0,113	17,14	1,85
2,5	8,96	0,108	9,87	1,81
4	5,6	0,101	6,15	1,77
6	3,54	0,094	4,07	1,69
10	2,13	0,088	2,66	1,65
16	1,33	0,082	1,86	1,61
25	0,85	0,082	1,38	1,57
35	0,61	0,079	1,14	1,54
50	0,43	0,078	0,96	1,51
70	0,3	0,065	0,83	1,48
95	0,22	0,064	0,75	1,45
120	0,18	0,062	0,71	1,43
150	0,14	0,061	0,67	1,41
185	0,115	0,061	0,65	1,39
240	0,089	0,06	0,62	1,36

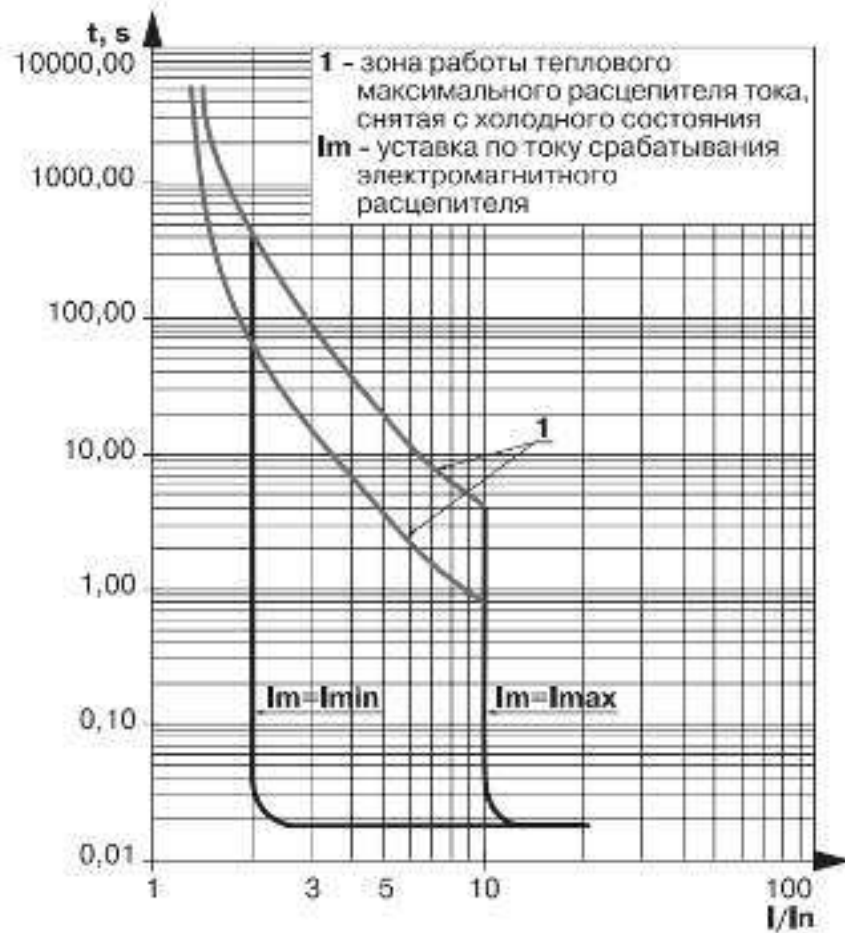


Рисунок 8.1. Время токовая характеристика выключателя ВА 57-39

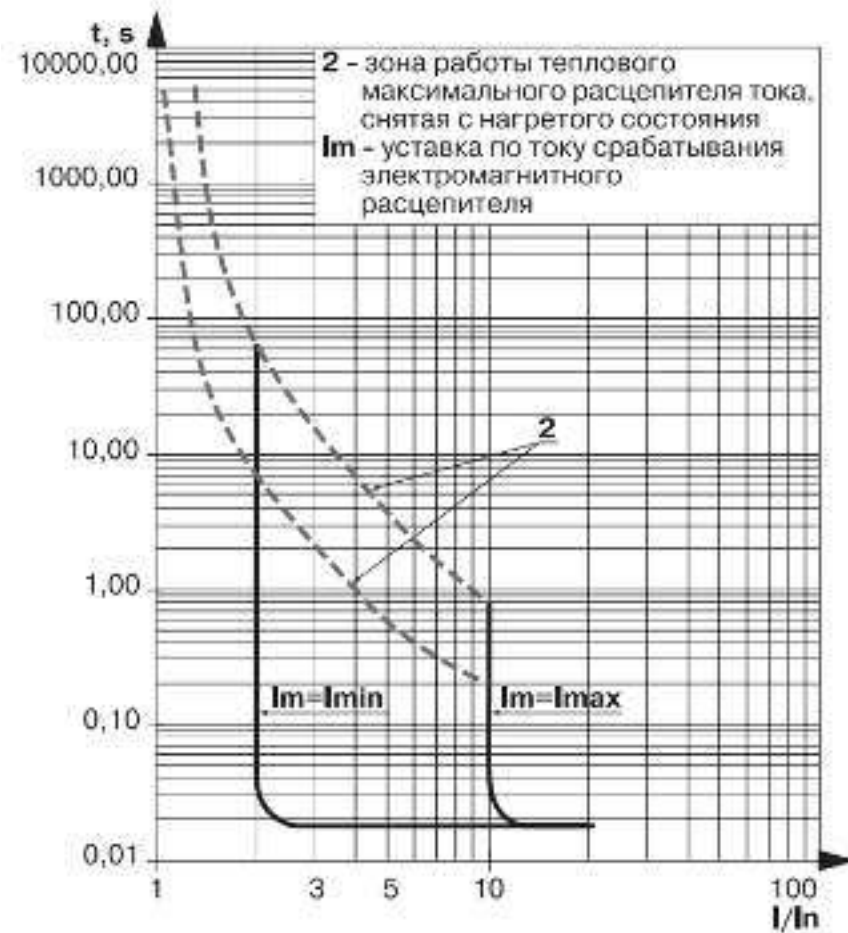


Рисунок 8.2. Время токовая характеристика выключателя ВА 57-39

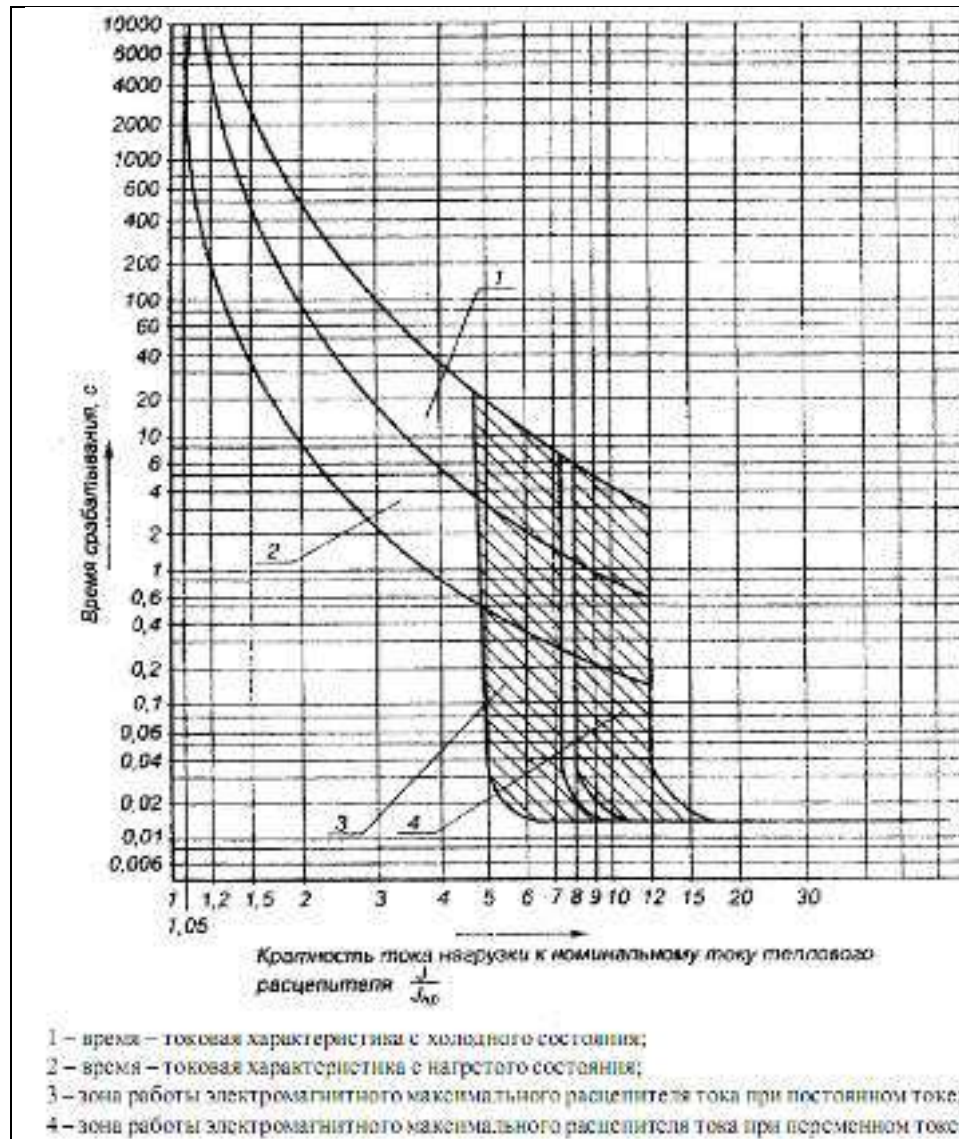


Рисунок 8.3. Время токовая характеристика выключателя
 ВА 52-39

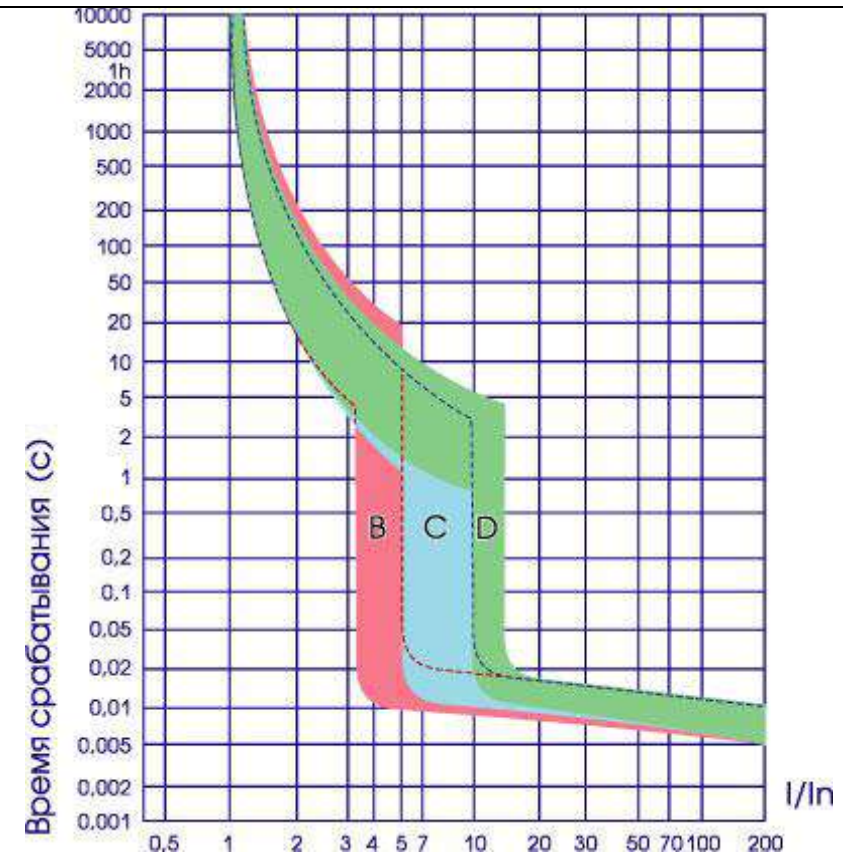
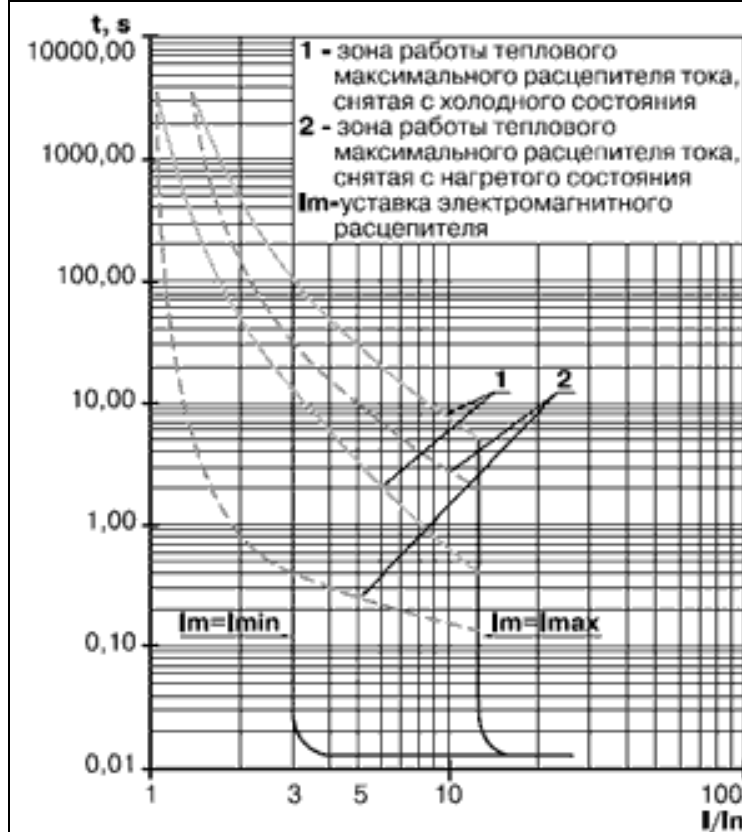
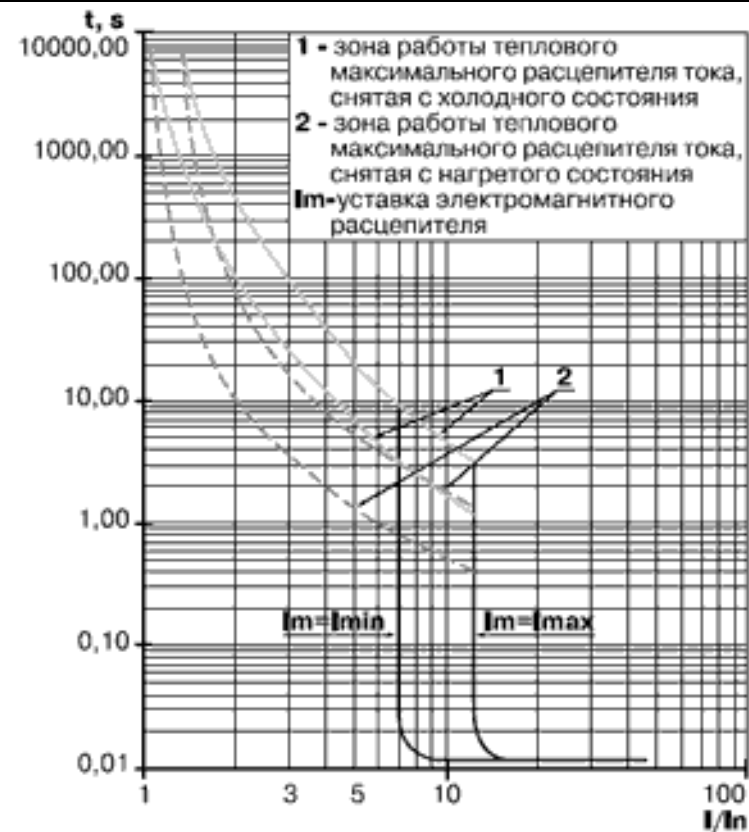


Рисунок 8.4. Время токовая характеристика выключателей
 ВА 47-63, ВА 47-100, ВА 63



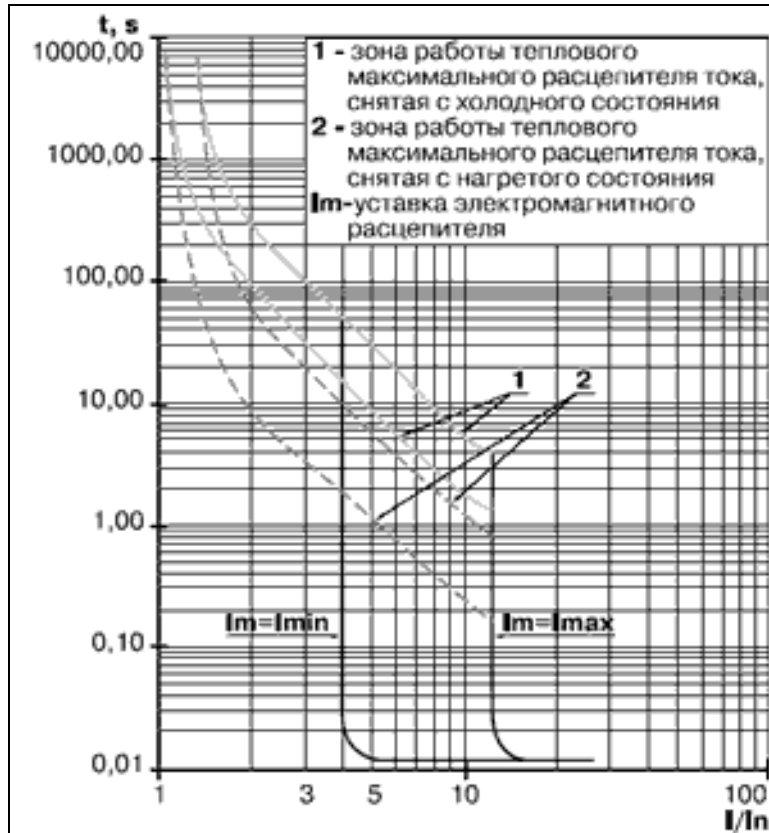
Номинальные токи тепловых максимальных расцепителей тока: 16; 20; 25; 31,5; 40; 50 А

Рисунок 8.5.Время токовая характеристика выключателей
BA 57Ф35, BA 57-35



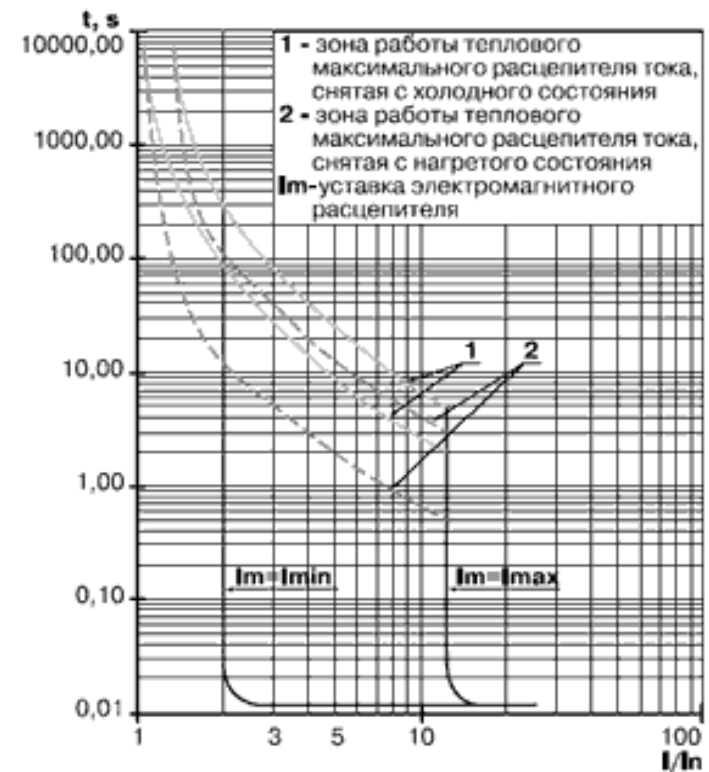
Номинальные токи тепловых максимальных расцепителей тока: 63; 80А

Рисунок 8.6.Время токовая характеристика выключателей BA 57Ф35, BA 57-35



Номинальные токи тепловых максимальных расцепителей тока: 100; 125 А

Рисунок 8.7. Время токовая характеристика выключателей
BA 57Ф35, BA 57-35



Номинальные токи тепловых максимальных расцепителей тока: 160; 200; 250 А

Рисунок 8.8. Время токовая характеристика выключателей
BA 57Ф35, BA 57-35

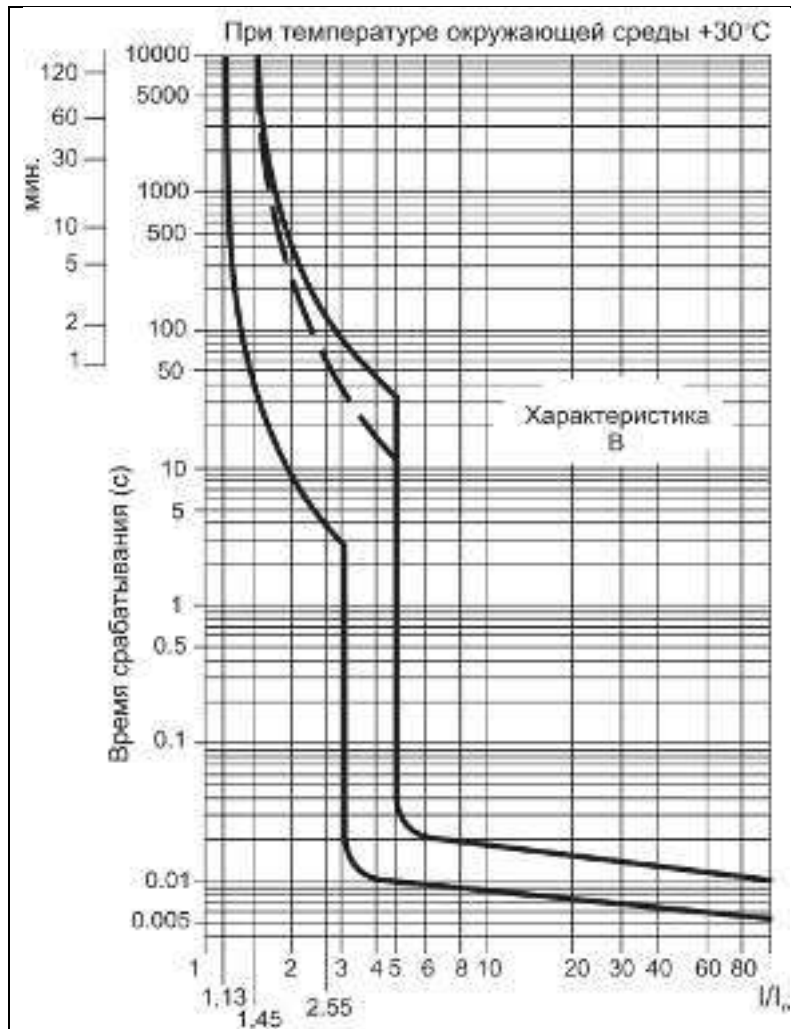


Рисунок 8.10. Время токовая характеристика выключателя ВА47-29

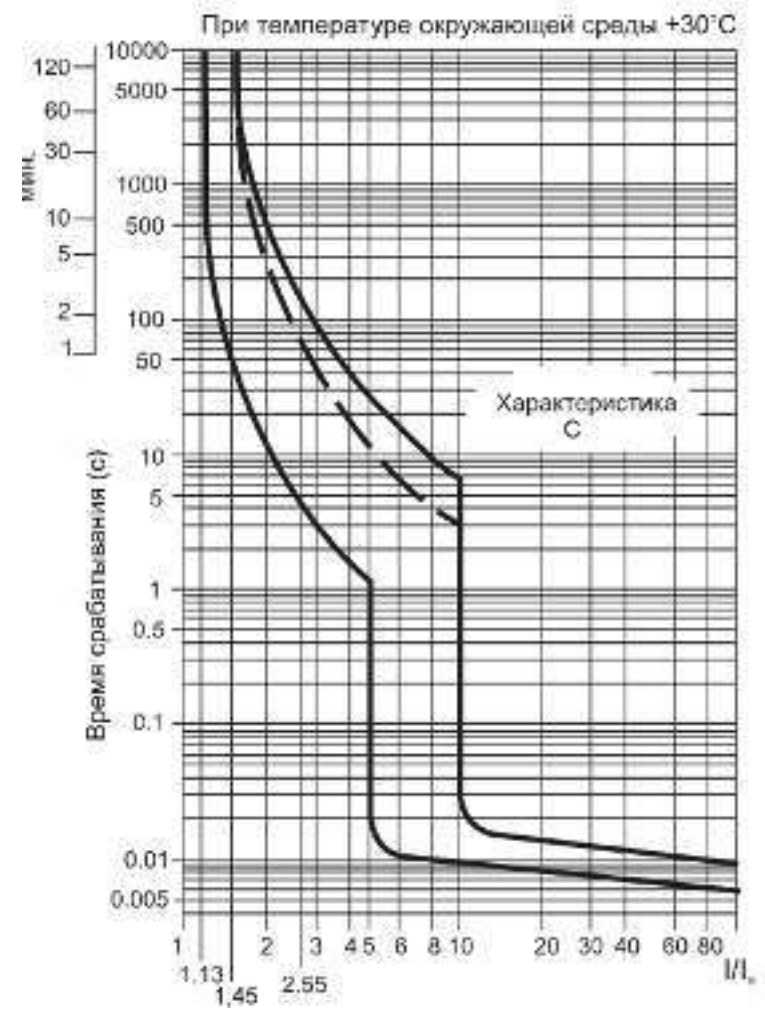


Рисунок 8.11. Время токовая характеристика выключателя В7-29

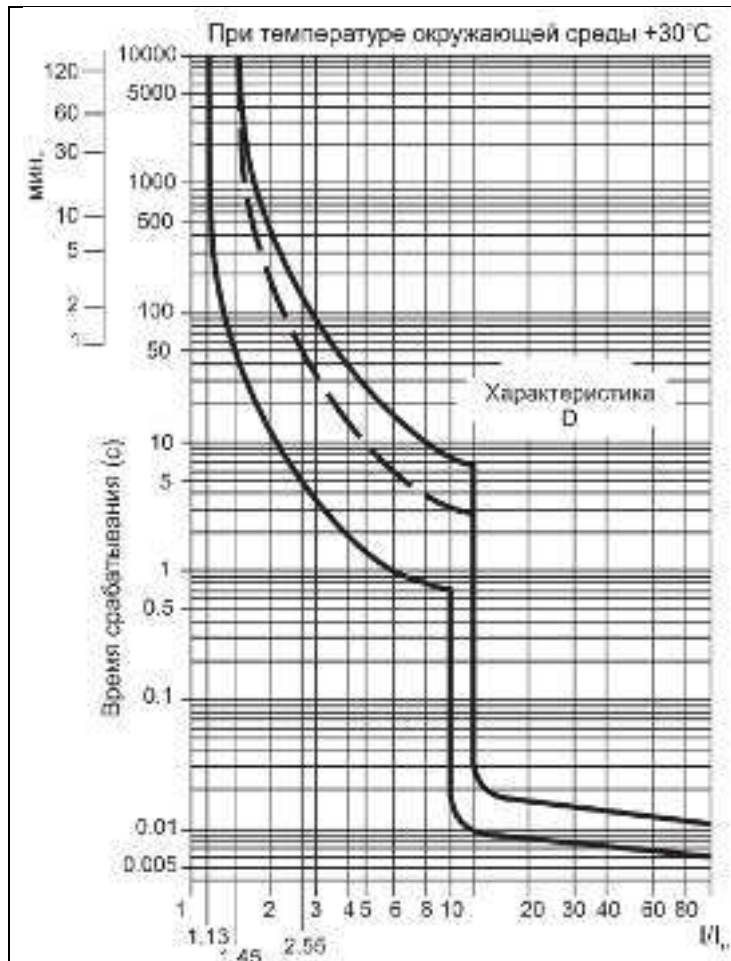


Рисунок 8.12. Временная характеристика выключателя
ВА47-29

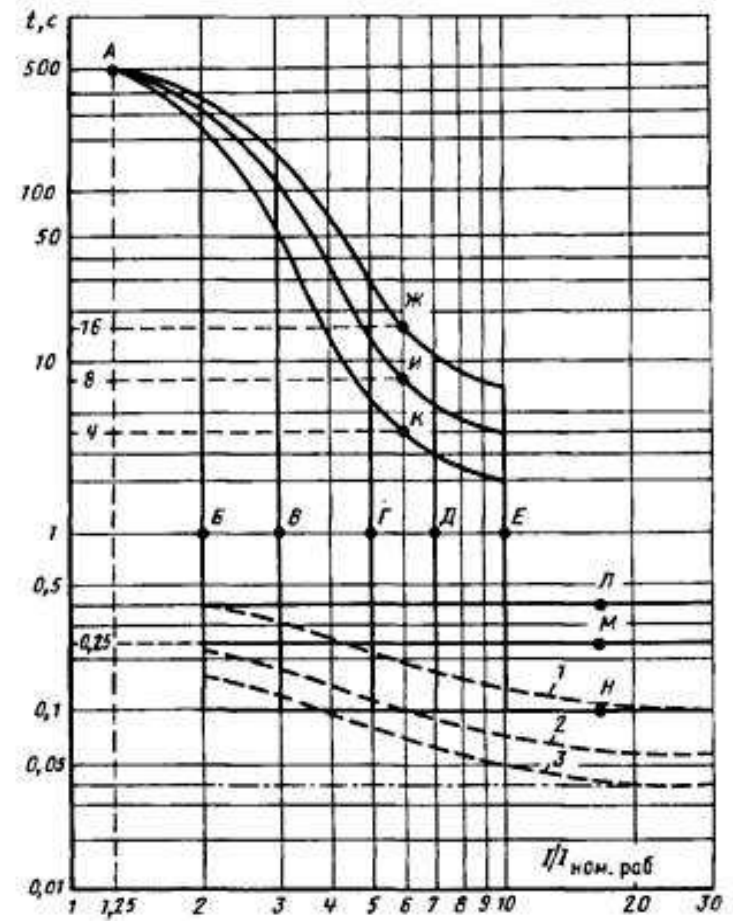


Рисунок 8.13. Временные характеристики выключателей ВА53. ВА55. ВА75 с полупроводниковым расцепителем. Наличие регулировки в точках Г, Д, К, Л, М зависит от типа и номинального тока выключателя

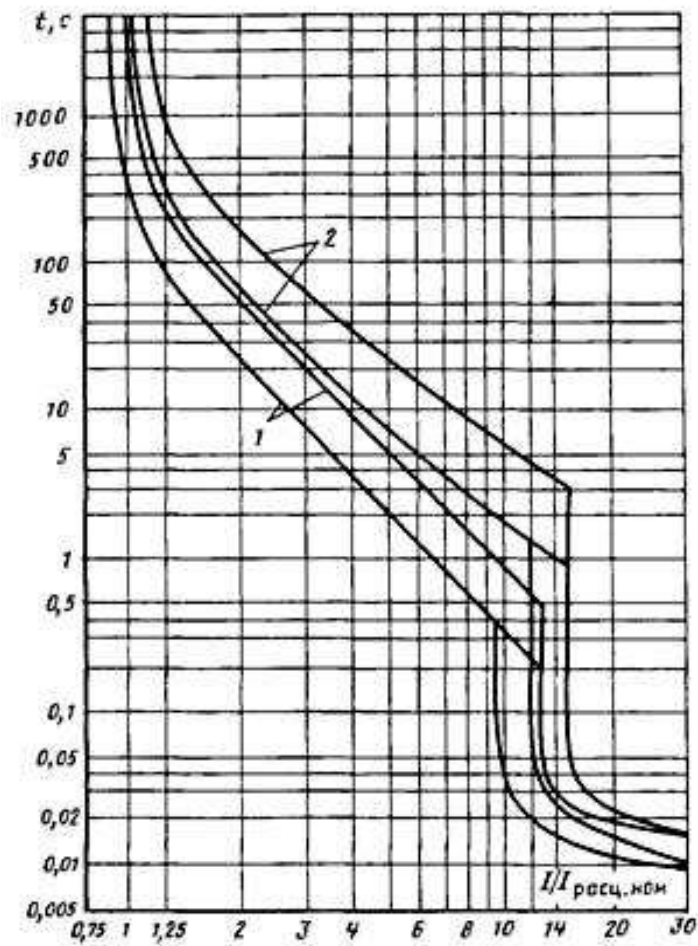


Рисунок 8.14. Время токовая характеристика выключателей АЕ2046М (температурная компенсация + 69°) — кривая 1 и ВА52Г25 (плюс 45°) — кривая 2

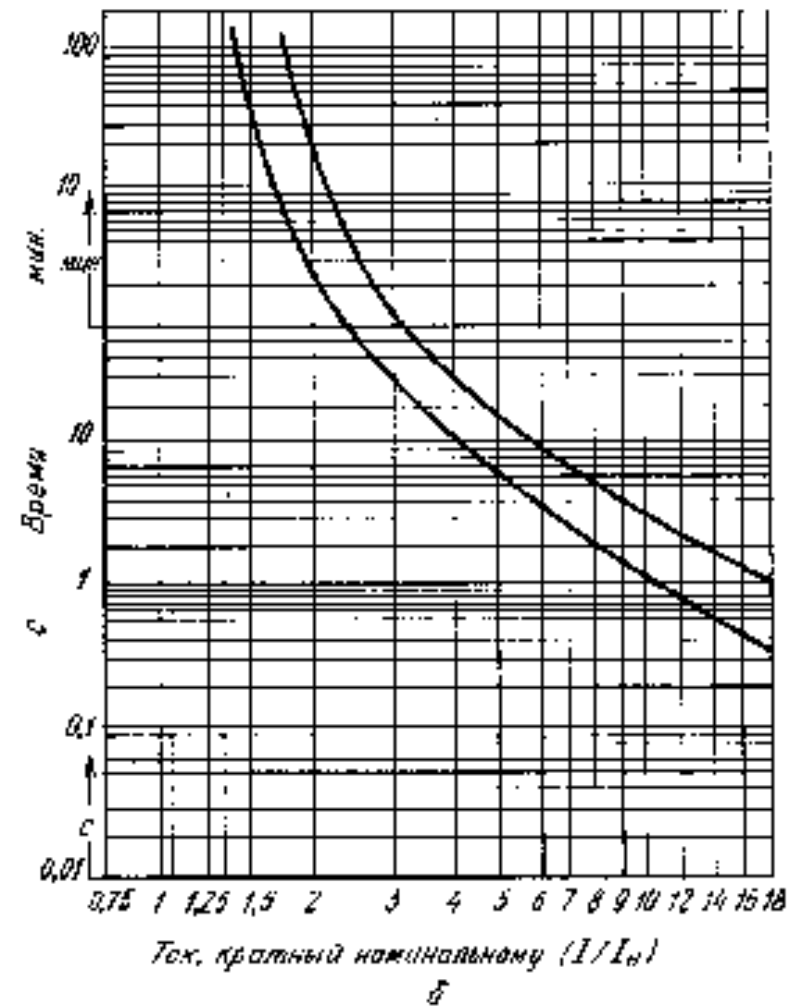


Рисунок 8.15. Время токовая характеристика выключателей АЕ1031 при температуре -40 °С

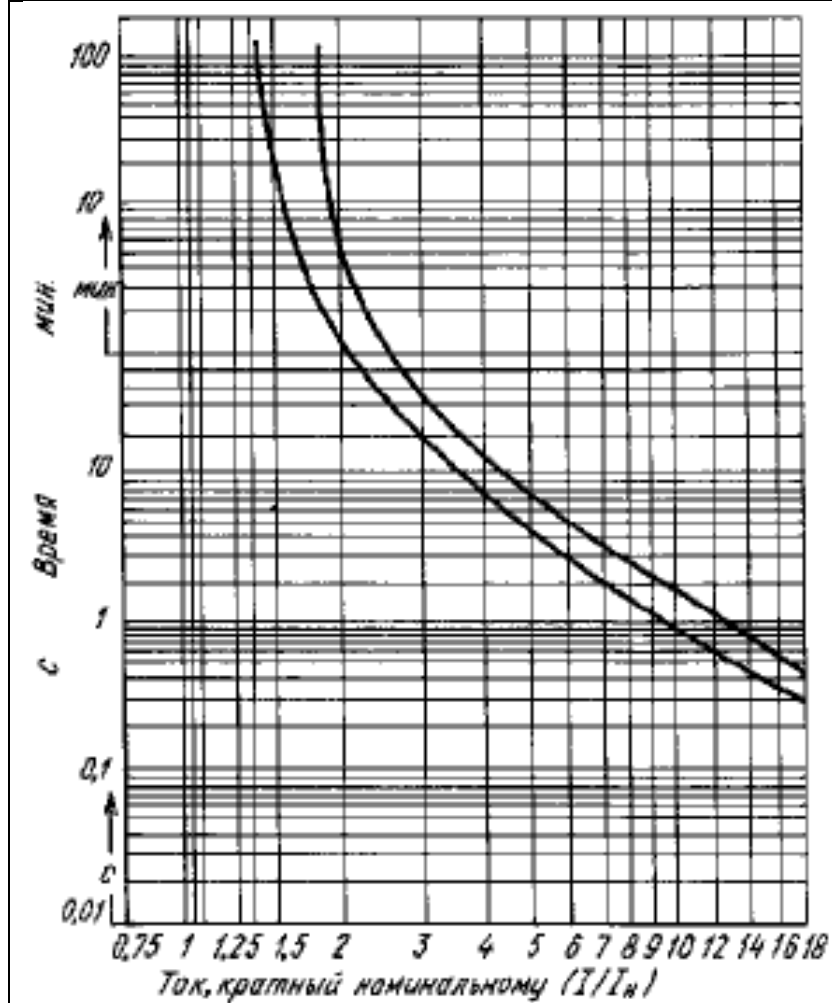


Рисунок 8.16. Время токовая характеристика выключателей AE1031 при температуре 1 °C

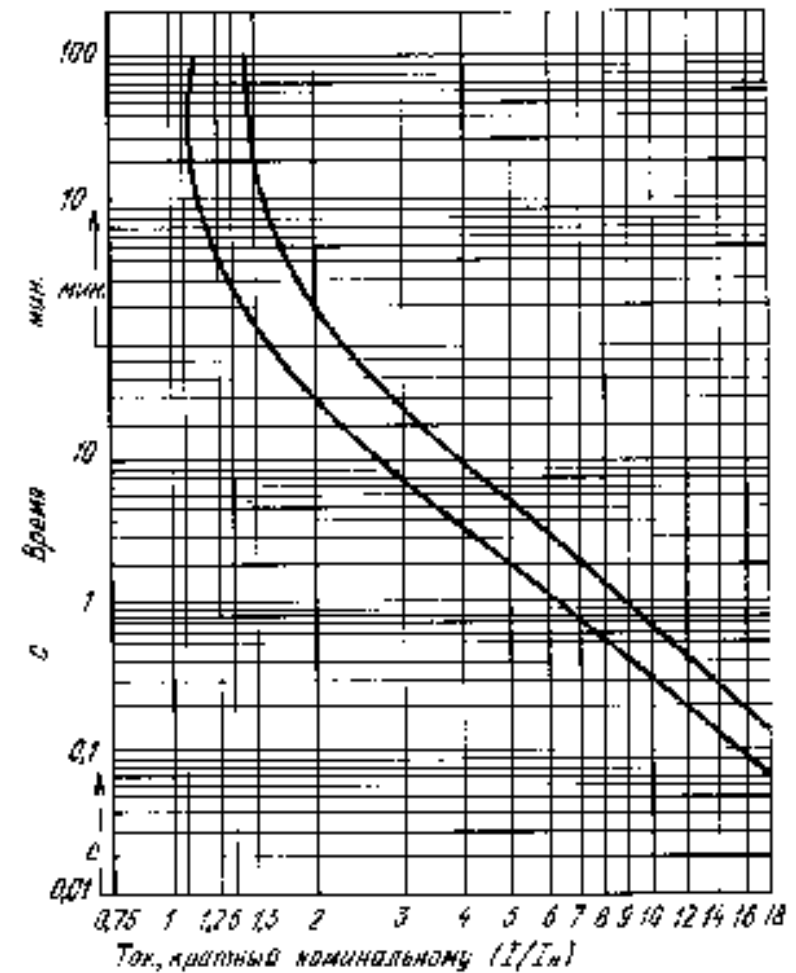


Рисунок 8.17. Время токовая характеристика выключателей AE1031 при температуре 40 °C

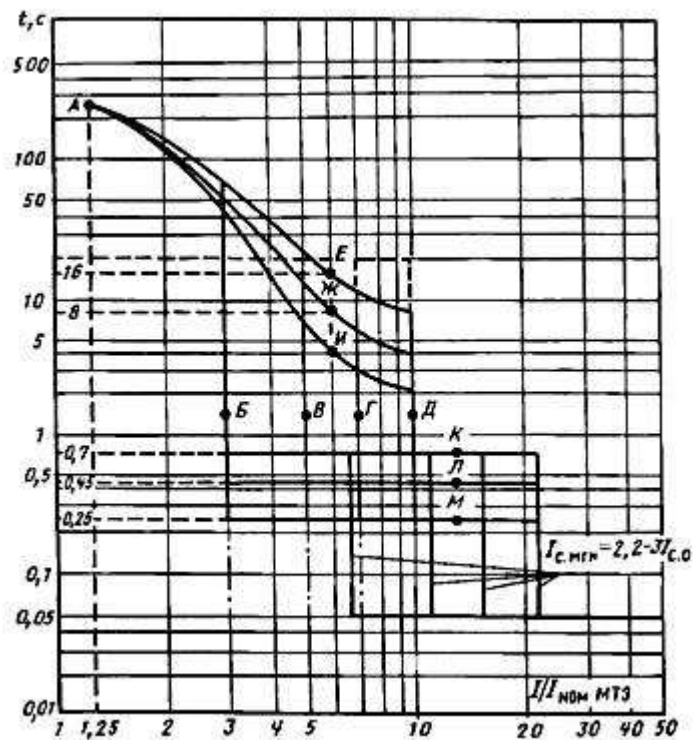


Рисунок 8.18. Время токовая характеристика выключателей выключателя "Электрон" с полупроводниковым реле серии РТМ. Наличие регулирования в точках Г и Д зависит от номинального тока выключателя

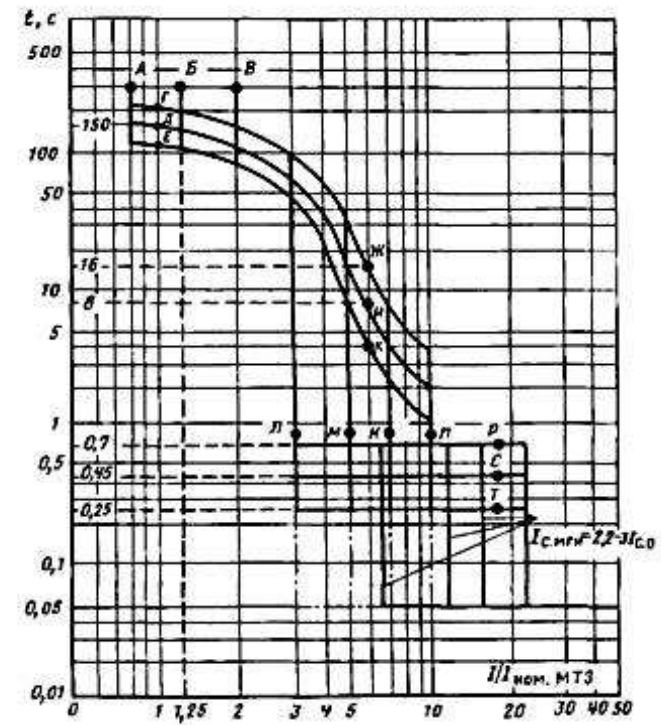


Рисунок 8.19. Время токовая характеристика выключателей "Электрон" с полупроводниковым реле серии МТЗ. Наличие регулирования в точках Н и П зависит от номинального тока выключателя

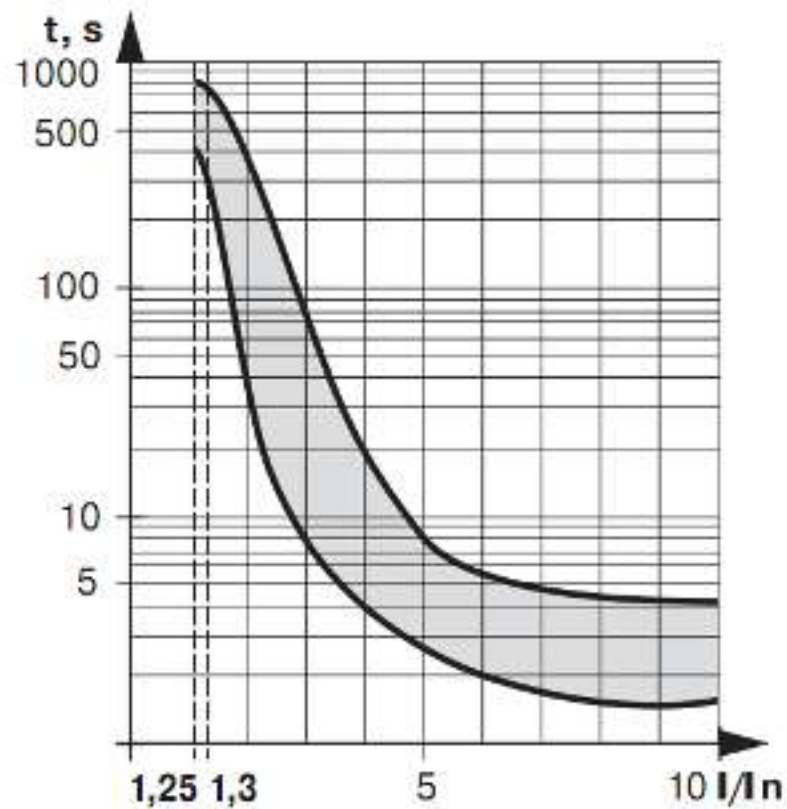


Рисунок 8.20. Время токовая характеристика выключателя А3700 с полупроводниковым расцепителем.
При значении времени срабатывания, установленном на шкале 4 с.

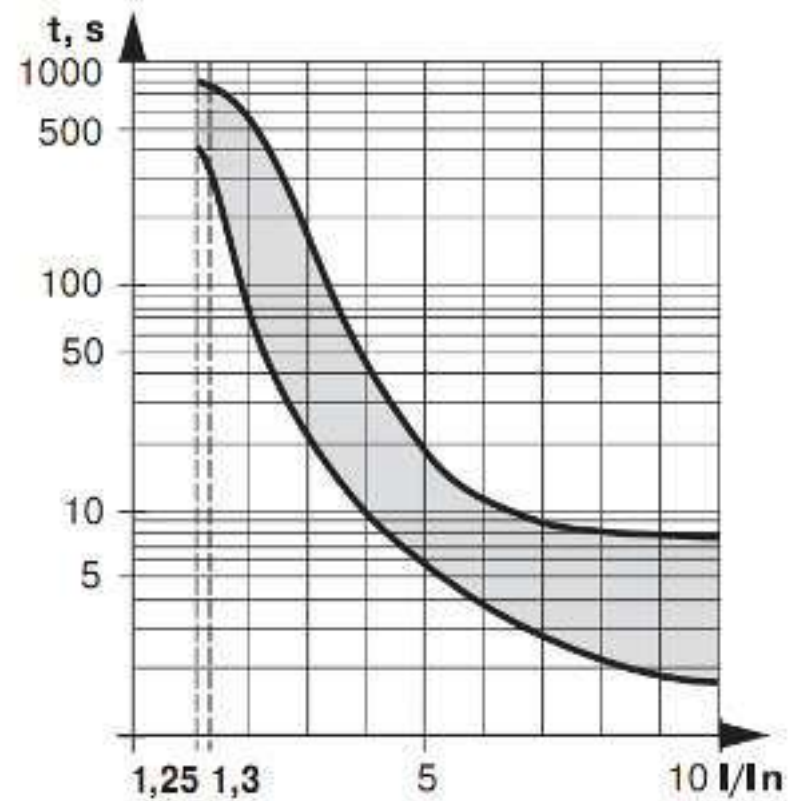


Рисунок 8.21. Время токовая характеристика выключателя А3700 с полупроводниковым расцепителем.
При значении времени срабатывания, установленном на шкале 8 с.

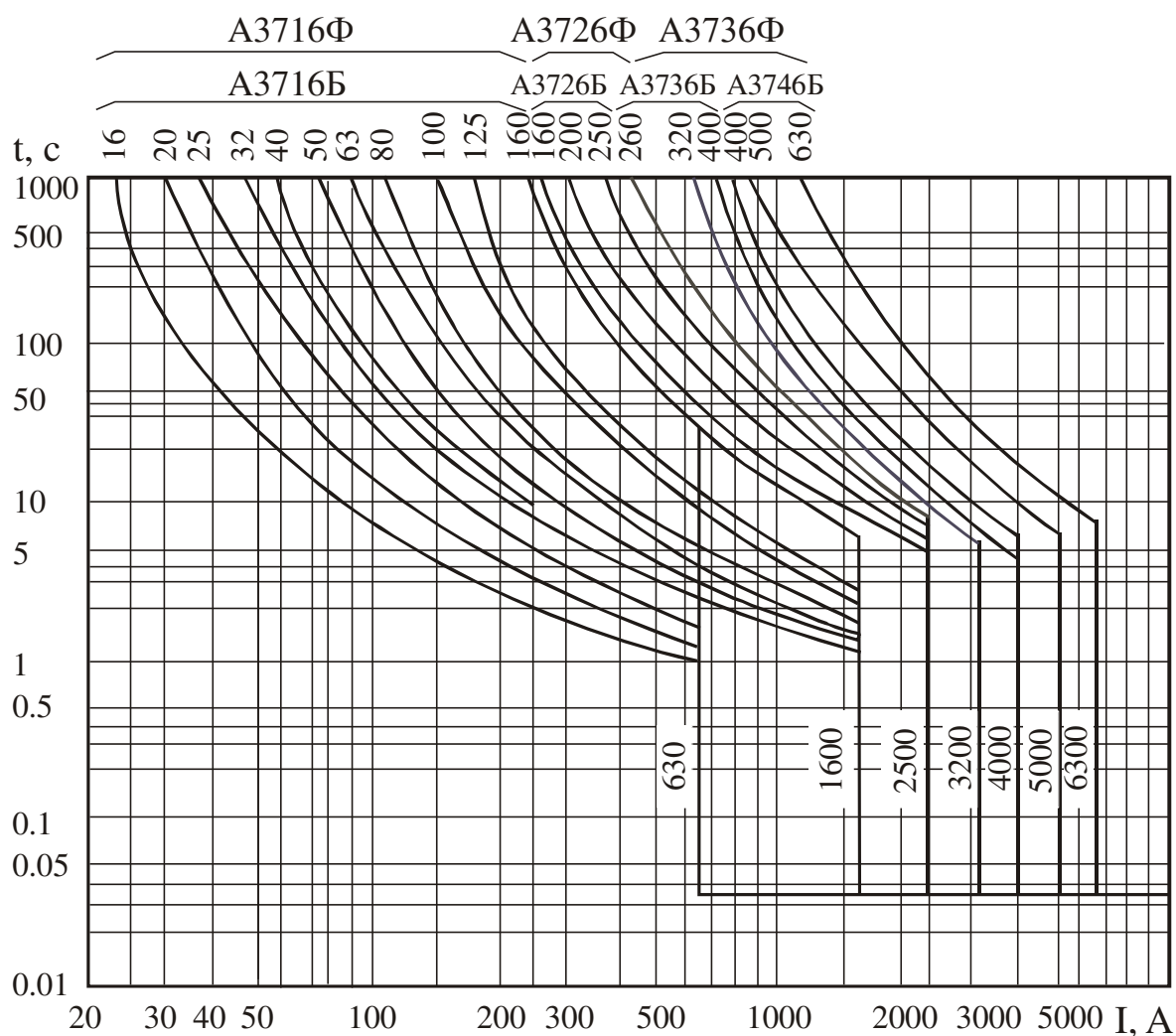


Рисунок 8.22. Время-токовые характеристики автоматических выключателей А3700 с комбинированными (термобиметаллическими и электромагнитными) расцепителями в исполнениях токоограничивающем – А3700Б и нетокоограничивающем – А3700Ф.

1. На кривых указаны номинальные токи расцепителей и уставки тока срабатывания их электромагнитных элементов.
2. Расцепители с номинальными токами 32-160 А включительно для выключателей 1-й величины по заказу поставляют с уставками тока мгновенного срабатывания 630 или 1600 А.
3. Кривые пригодны как для трехполюсных, так и для однополюсных выключателей переменного и постоянного токов при температуре окружающей среды 40 °С и прохождении тока по всем фазам (полюсам) выключателя.

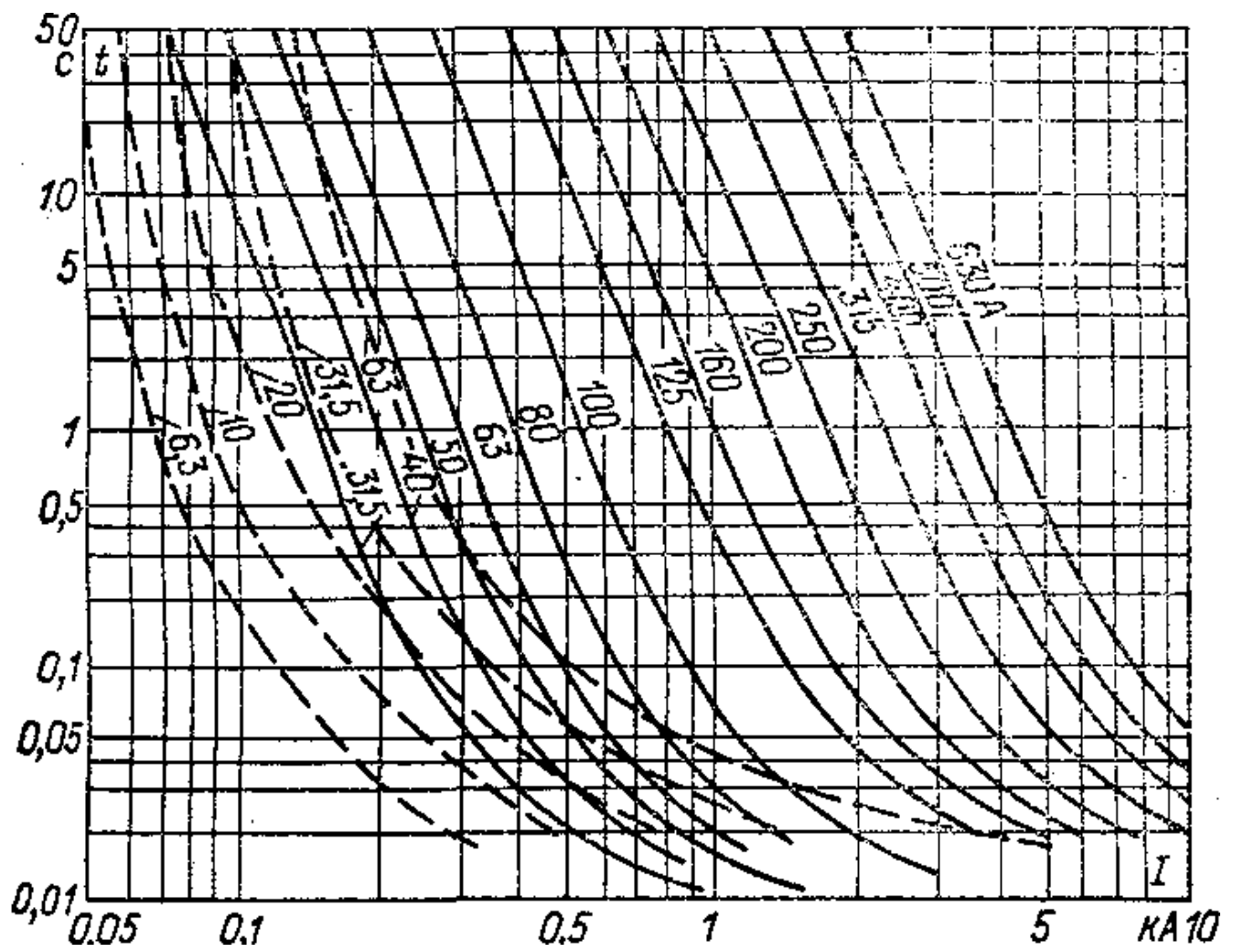


Рисунок 8.23. Время-токовые характеристики предохранителей:
НПН 2 – штриховая; ПН2 – сплошная

Таблица п.9.1 – Удельные сопротивления некоторых грунтов

Наименование грунта	Удельное сопротивление грунта, Ом·м	
	предельное значение	рекомендуемое для расчетов
Песок	200–1000	700
Супесок	150–400	300
Суглинок	200–300	100
Глина, смешанная с известняком и щебнем	50–200	150
Садовая земля	40	40
Торф	20	20
Сухой чернозем	200	200
Мегрель, известняк, крупнозернистый песок	1000–2000	2000

Таблица п.9.2 – Коэффициенты сезонности для электродов в зависимости от климатической зоны

Климатическая зона	Климатический признак зоны			Коэффициент сезонности k_c для электродов			
	средняя многолет- няя температура, °С		продолжитель- ность замерзания вод, дней	вертикальных длиной 2,5–3 м	вертикальных длиной 5 м	горизонтальных длиной 10 м	горизонтальных длиной 50 м
	низшая (январь)	высшая (июль)					
Архангельская и Кировская обла- сти, Карельская АССР	От – 20 до – 15	От 15 до 18	170– 190	1,65	1,35	5,5	4,4
Ленинградская, Вологодская, Московская об- ласти	От – 15 до – 10	От 18 до 22	~ 150	1,45	1,25	3,5	3,0
Смоленская и Курская области	От – 10 до 0	От 22 до 24	100	1,3	1,15	2,5	2,0
Ставропольский и Краснодарский края	От 0 до 5	От 24 до 26	0	1,1	1,1	1,5	1,4

Таблица п.9.3 – Коэффициенты, учитывающие состояние грунта при измерении

Тип электрода	Коэффициенты к значениям удельного сопротивления земли, учитывающие её состояние во время измерения		
	грунт значительно увлажнённый	грунт средней влажности	сухой грунт
Вертикальный: длинной 3 м длинной 5 м	1,15	1	0,92
	1,1	1	0,95
Горизонтальный: длинной 10 м длинной 50 м	1,7	1	0,75
	1,6	1	0,8

Таблица 9.4 – Значения коэффициента использования вертикальных стержней в ряду η_e в зависимости от отношения расстояния между стержнями к длине и их числа

$Q = a/L_b$	Число стержней									
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0,86	0,81	0,77	0,74	0,72	0,7	0,67	0,65	0,62	0,6
2	0,95	0,92	0,89	0,86	0,84	0,82	0,79	0,77	0,75	0,73
3	0,97	0,94	0,92	0,90	0,88	0,87	0,85	0,83	0,82	0,81

Q – отношение расстояния между стержнями a к длине стержня L_b

Таблица 9.5 – Значения коэффициента использования вертикальных стержней в замкнутом контуре η_e в зависимости от отношения расстояния между стержнями к длине и их числа

$Q = a/L_e$	Число стержней					
	4	8	12	16	20	40
0,5	0,59	0,47	0,4	0,35	0,3	–
1,0	0,66	0,56	0,50	0,47	0,44	0,41
1,5	0,71	0,63	0,59	0,56	0,51	–
2,0	0,76	0,68	0,65	0,63	0,61	0,58
3,0	0,84	0,77	0,73	0,70	0,68	0,66

Таблица 9.6 – Значения коэффициента использования горизонтальных соединительных элементов в ряду вертикальных стержней η_r в зависимости от отношения расстояния между стержнями к длине и их числа

$Q = a/L_e$	Число стержней									
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0,84	0,76	0,71	0,67	0,64	0,62	0,60	0,58	0,56	0,55
2	0,90	0,85	0,81	0,79	0,77	0,75	0,74	0,73	0,72	0,71
3	0,97	0,90	0,87	0,85	0,83	0,82	0,81	0,80	0,79	0,78

Таблица 9.7 – Значения коэффициента использования горизонтальных соединительных элементов в замкнутом контуре из вертикальных стержней η_r в зависимости от отношения расстояния между стержнями к длине и их числа

$Q = a/L_s$	Число стержней					
	4	8	12	16	20	40
0,5	0,41	0,34	0,30	0,28	0,25	—
1,0	0,45	0,36	0,32	0,30	0,27	0,22
1,5	0,49	0,40	0,35	0,32	0,29	—
2,0	0,55	0,43	0,38	0,35	0,32	0,29
3,0	0,70	0,60	0,54	0,50	0,45	0,39

Королев Антон Михайлович

канд. техн. наук, доцент,

Таран Андрей Александрович

канд. техн. наук, доцент

**ВНУТРЕННЕЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ
ПРОМЫШЛЕННЫХ И ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ**

Учебное пособие к курсовой работе

Редакция – авторская

Объем ЭИ: 4,8 Мб.

Формат ЭИ: Portable Document Format (PDF).