

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Брянский государственный аграрный университет»

Никитин А.М.

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ И РЕЖИМЫ

Учебно-методическое пособие
по выполнению курсовой работы для студентов направления подготовки
13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника



Брянская область

2023

УДК 621.31 (076)

ББК 31.279.1

Н 62

Никитин, А. М. Электроснабжение потребителей и режимы: учебно-методическое пособие по выполнению курсовой работы для студентов направления подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника / А. М. Никитин. – Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2023. – 66 с.

Учебно-методическое пособие содержит задание для курсовой работы, общие методические указания по выполнению, содержание работы, пример выполнения курсовой работы. Предназначены для использования при выполнении курсовой работы по дисциплине «Электроснабжение потребителей и режимы» студентами направления 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника.

Рецензент:

д.т.н. профессор кафедры Автоматики, физики и математики Погоньшев В.А. (ФГБОУ ВО Брянский ГАУ);

д.т.н. профессор кафедры электроэнергетики и электротехнологий Кисель Ю.Е. (ФГБОУ ВО Брянский ГАУ).

Рекомендовано к изданию методической комиссией института энергетики и природопользования Брянского ГАУ, протокол № 7 от 28 апреля 2023 года.

© Брянский ГАУ, 2023

© Никитин А.М., 2023

Содержание

Введение	4
1. Общие положения	7
2. Методические указания по выполнению работы	16
2.1 Расчет электрической нагрузки	16
2.2 Определение количества трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ и их места расположения	18
2.3 Выбор установленной мощности трансформаторов	20
2.4 Расчет сети 0,38 кВ	22
2.5 Проверка сети 0,38 кВ по условиям пуска и устойчивой работы электродвигателей	23
2.6 Расчёт сети 10 кВ	24
2.7 Определение отклонения напряжения у потребителя	25
2.8 Расчет токов короткого замыкания	26
2.9 Защита сети от аварийных режимов	28
2.10 Техничко-экономические показатели	29
2.11 Мероприятия по охране труда	32
3. Задание на курсовую работу	37
Список использованных источников	43
Приложение 1. Пример расчета электрических нагрузок населенного пункта	44
Приложение 2. Технические характеристики аппаратов и нормативные данные	62

Введение

Современное общество трудно представить без использования электрической энергии. Она применяется во всех отраслях хозяйственной деятельности: в промышленности, городском, сельском и коммунальном хозяйстве; в быту и на транспорте. Особенности энергетического производства определяют трудности управления в отрасли, вызывающие необходимость реагирования на все изменения потребления электрической энергии. При этом существенное влияние на развитие производства оказывает зависимость режима работы предприятия от режима потребления. Эта зависимость выдвигает особые требования к планированию работы не только самого объекта электроснабжения, но и энергоснабжающей организации. Особенности энергетического производства, характерные для всех отраслей, накладывают на энергопредприятие и потребители электрической энергии особую ответственность за поддержание нормируемых параметров электроэнергии и снижение части потерь, обусловленных нерациональным управлением развития системы электроснабжения, с одной стороны, и отсутствием планомерного подхода к использованию электрической энергии – с другой. Недостаточность знаний о распределении полученных мощностей и влиянии роста нагрузок на параметры энергетической системы не позволяют разработать комплекс мероприятий по стабилизации режима энергопотребления, который определяет происхождение негативных процессов, как в распределительных сетях низкого напряжения, так и в энергосистеме в целом.

Электрическая энергия вырабатывается на электрических станциях, располагаемых, как правило, у источников первичной энергии. Электростанции связаны между собой и с потребителями, электрическими системами, объединяющими их в энергосистемы, которые имеют централизованное управление. Чтобы уменьшить стоимость электрической энергии необходимо распределять электрическую нагрузку определенным образом. Например, при достаточном запасе воды в водохранилище на гидравлических станциях (ГЭС) их нагрузку увеличивают, одновременно разгружая тепловые станции (ТЭС) и экономя при этом топливо. Создание энергосистем позволяет не только повысить экономич-

ность энергоснабжения, но и значительно увеличить его надёжность, а также повысить качество электрической энергии. Часть энергосистемы, объединяющая генераторы, распределительные устройства (РУ), трансформаторные подстанции (ТП) и потребители электрической энергии (электроприёмники – ЭП), принято называть электрической системой. Часть электрической системы, в которую входят ТП и линии различных напряжений, называют электрической сетью (ЭС). ЭС разделяются на питающие и распределительные.

Питающие электрические сети осуществляют передачу электрической энергии до распределительных пунктов (РП) или ТП и не имеют подключенных ЭП.

Распределительные электрические сети передают электроэнергию от понизительных ТП непосредственно потребителям, либо по воздушным линиям электропередачи (ВЛ), либо кабельными линиями (КЛ). На различных иерархических уровнях электроэнергетики и в различных ситуациях ведущими являются те или иные критерии. Однако во всех случаях повышение надёжности как обязательное условие повышения эффективности производства связано с увеличением затрат, вкладываемых в создание и эксплуатацию энергетических систем, их частей и элементов. Одной из важнейших задач электроснабжения, при обеспечении его надёжности в любой отрасли хозяйственной деятельности, является наиболее целесообразное сетевое строительство. Оно заключается не только в принятии профессиональных решений относительно схем электроснабжения на стадии проектирования, но и в использовании наиболее современного сетевого оборудования. Качество электрической энергии, как неотъемлемый атрибут любого товара, является наиболее всеобъемлющей характеристикой, как товаропроизводителя, так и непосредственно потребителя, являющегося источником вносимых искажений в работу энергосистемы в целом.

В данной курсовой работе необходимо выполнить полный расчет электроснабжения населенного пункта с жилыми, общественными и производственными потребителями. Требуется рассчитать общую нагрузку всех потребителей, выбрать число и тип трансформаторов, выполнить трассировку линий электропередачи, обосновать сечения проводов, рассчитать нагрузки на линии с

учетом коэффициентов одновременности, выбрать автоматику и средства защиты для сети 0,38 и 10 кВ. Необходимо проверить сети на аварийные режимы, в частности на короткие замыкания, а для трансформаторных подстанций рассчитать заземляющие устройства.

Выполнение курсовой работы следует начать с построения плана населенного пункта и нанесения на него нагрузок в соответствии с заданием. Затем определяют количество трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ и их координаты. Намечают линии электропередачи, определяют по методу экономических интервалов сечения проводов, проверяют сеть на потерю напряжения. Находят максимальную нагрузку трансформатора, учитывая коэффициенты сезонности и время суток. Далее следует рассчитать сеть 10 кВ, выбирая нагрузки из задания, последнюю нагрузку принимают из расчета ТП. Для расчетной подстанции выбирают автоматы управления и защиты.

Следует отметить, что работа предъявляет к студенту определенные требования, в отличие от других курсовых работ студент в особенности должен учитывать экономическую эффективность предлагаемых решений, т.е. должен выбирать оборудование в зависимости от его стоимости и экономической эффективности, даже игнорируя лучшие эксплуатационные характеристики. Это умение является одним из важнейших требований к современному специалисту.

1. Общие положения

Целью выполнения курсовой работы является приобретение высокого уровня профессиональной подготовки специалистов в области организации обеспечения электроэнергией и управления системами электроснабжения в агропромышленном комплексе.

В результате выполнения курсовой работы студент должен

Знать:

- Объекты профессиональной деятельности.
- Основные режимы работы объектов профессиональной деятельности
- Основные параметры оборудования объектов профессиональной деятельности.

Уметь:

- Проектировать объекты профессиональной деятельности в соответствии с техническим заданием и нормативно-технической документацией.
- Определять параметры оборудования объектов профессиональной деятельности.
- Производить необходимые расчеты режимов работы объектов профессиональной деятельности.

Владеть:

- Техническими, энергоэффективными и экологическими требованиями при проектировании объектов профессиональной деятельности.
- Способностью определять параметры оборудования объектов профессиональной деятельности;
- Способностью рассчитывать режимы работы объектов профессиональной деятельности.

Выполнение курсовой работы готовит студентов к дипломному проектированию.

Требования к оформлению работы

Текст записки набирается шрифтом Times New Roman размер 14 пт, межстрочный интервал 1,5.

Содержание пояснительной записки разделяется на разделы и подразделы, имеющие порядковые номера. Введение, содержание, список литературы, заключение не являются разделами и не нумеруются. Все страницы записки, включая рисунки и таблицы, нумеруются. Номер страницы проставляется в правом верхнем углу листа, начиная с введения, титульный лист не нумеруется.

Записка оформляется на листах с рамкой установленного образца с полями 5 мм справа, снизу и сверху и 20 мм слева. Объем пояснительной записки – 30 – 40 листов. Каждый раздел начинается на листе с большой рамкой, остальные листы печатаются с малыми рамками. В рамках проставляется шифр.

Формулы, таблицы, рисунки отделяются от текста вначале и в конце пустой строкой. Формулы нумеруются, их номера проставляются по правому краю в круглых скобках. Рисунки и таблицы также нумеруются.

Основные понятия и определения.

Электроэнергетической системой называется электрическая часть энергосистемы и питающиеся от неё приёмники электрической энергии, объединённые общим процессом производства, передачи, распределения и приёма электрической и других видов энергии.

Электрической системой (энергосистемой) называется совокупность электростанций электрических и тепловых сетей, соединённых между собой и связанных общностью режима в непрерывном процессе производства, преобразования и распределения электрической энергии и теплоты при общем управлении этим режимом.

Электрической частью системы называется совокупность электроустановок электрических станций и электрических сетей энергосистемы.

Электроснабжением называется обеспечение потребителей электрической энергией.

Системой электроснабжения называется совокупность электроустановок, предназначенных для обеспечения потребителей электрической энергией.

Централизованным электроснабжением называется электроснабжение потребителей от энергосистемы.

Электрической сетью называется совокупность электроустановок для передачи и распределения электрической энергии, состоящая из подстанций, распределительных устройств, токопроводов, воздушных (ВЛ) и кабельных линий электропередачи, работающих на определённой территории. Таким образом, электрическая сеть представляет собой устройство, соединяющее источники питания с потребителями электрической энергии. Основным назначением электрических сетей является электроснабжение потребителей, а также передача энергии на большие расстояния.

Приёмником электрической энергии называется аппарат (агрегат, устройство), предназначенный для преобразования электрической энергии в другой вид энергии.

Потребителем электрической энергии называется электроприёмник или группа электроприёмников, объединённых технологическим процессом и размещающихся на одной территории.

Независимым источником питания электроприёмника или группы электроприёмников называется источник питания, на котором сохраняется напряжение при его исчезновении на другом или других источниках питания этих электроприёмников.

Подстанция представляет собой электроустановку, предназначенную для преобразования и распределения электрической энергии, состоящее из трансформаторов или других преобразователей энергии, распределительных устройств, устройств управления и вспомогательных сооружений. Подстанции могут быть трансформаторными, преобразовательными и распределительными, в зависимости от преобладания той или иной функции.

Распределительное устройство (РУ) - устройство, предназначенное для приема и распределения электроэнергии и содержащее коммутационные аппа-

раты, сборные и соединительные шины, вспомогательные устройства (компрессорные, аккумуляторные и др.), а также устройства защиты, автоматики и измерительные приборы, входящие в состав трансформаторной или преобразовательной подстанции. Распределительные устройства подразделяются на устройства открытого и закрытого типа.

Открытое распределительное устройство (ОРУ) представляет собой РУ, все или основное оборудование которого расположено на открытом воздухе.

Закрытое распределительное устройство (ЗРУ) - РУ, оборудование которого расположено в здании.

Комплектное распределительное устройство - РУ, состоящее из полностью или частично закрытых шкафов или блоков со встроенными в них аппаратами, устройствами защиты и автоматики, поставляемое в собранном или полностью подготовленном для сборки виде. Комплектное распределительное устройство, предназначенное для внутренней установки, сокращенно обозначается КРУ, для наружной установки – КРУН.

Распределительным пунктом (РП) является РУ, предназначенное для приема и распределения электроэнергии на одном напряжении без преобразования и трансформации, не входящее в состав подстанции.

Комплектная трансформаторная подстанция (КТП) - подстанция, состоящая из трансформаторов и блоков (КРУ или КРУН и других элементов), поставляемых в собранном или полностью подготовленном для сборки виде. Комплектные трансформаторные подстанции или части их, устанавливаемые в закрытом помещении, относятся к внутренним установкам. КТП, устанавливаемые на открытом воздухе, относятся к наружным установкам.

Узловой распределительной подстанцией (УРП) является подстанция предприятия напряжением 110-220 кВ, получающая электроэнергию от энергосистемы и распределяющая ее по главным понизительным подстанциям (ГПП) или подстанциям глубокого ввода (ПГВ) по территории предприятия.

Главная понизительная подстанция (ГПП) – представляет собой трансформаторную подстанцию, получающую электроэнергию от энергосисте-

мы на напряжениях 35 кВ и выше и распределяющая ее по территории предприятия.

Подстанция глубокого ввода (ПГВ) – подстанции 110/10 и 35/0,4 кВ, выполняемые по упрощенным схемам первичной коммутации, получающая питание от энергосистемы или узловой распределительной подстанции данного предприятия и предназначенная для питания отдельного цеха, корпуса, группы цехов предприятия.

Центральный распределительный пункт (ЦРП) – РУ предприятия, получающее электроэнергию от энергосистемы на напряжении 6-10 кВ и распределяющее ее на том же напряжении по территории предприятия, производственного здания (открыто или в отдельном закрытом помещении).

Столбовая (мачтовая) трансформаторная подстанция - открытая трансформаторная подстанция, все оборудование которой установлено на конструкциях или опорах воздушных линий на высоте, не требующей ограждения подстанции.

Токопровод - устройство, предназначенное для передачи и распределения электроэнергии, состоящее из неизолированных и изолированных проводников и относящихся к ним изоляторов, защитных оболочек, ответвительных устройств, поддерживающих и опорных конструкций.

Шинопровод - жесткий токопровод до 1 кВ, поставляемый комплектными секциями.

Главный распределительный щит (ГРЩ) - распределительный щит, через который снабжается электроэнергией все здание или его обособленная часть.

Распределительный шкаф (пункт) - устройство напряжением до 1 кВ, в котором установлены аппараты защиты и коммутационные аппараты (или только аппараты защиты) для отдельных электроприемников или их групп (электродвигателей, групповых щитков) производственного здания (открыто или в отдельном закрытом помещении).

Столбовая (мачтовая) трансформаторная подстанция - открытая

трансформаторная подстанция, все оборудование которой установлено на конструкциях или опорах воздушных линий на высоте, не требующей ограждения подстанции.

Токопровод - устройство, предназначенное для передачи и распределения электроэнергии, состоящее из неизолированных и изолированных проводников и относящихся к ним изоляторов, защитных оболочек, ответвительных устройств, поддерживающих и опорных конструкций.

Шинопровод - жесткий токопровод до 1 кВ, поставляемый комплектными секциями.

Главный распределительный щит (ГРЩ) - распределительный щит, через который снабжается электроэнергией все здание или его обособленная часть.

Распределительный шкаф (пункт) - устройство напряжением до 1 кВ, в котором установлены аппараты защиты и коммутационные аппараты (или только аппараты защиты) для отдельных электроприемников или их групп (электродвигателей, групповых щитков).

Групповой щиток - устройство, в котором установлены аппараты защиты и коммутационные аппараты для отдельных групп светильников, штепсельных розеток и стационарных электроприемников - устройство, в котором установлены аппараты защиты и коммутационные аппараты (для отдельных групп светильников, штепсельных розеток и стационарных электроприемников).

Единая энергетическая система (ЕЭС) России - совокупность производственных и иных имущественных объектов электроэнергетики, связанных единым процессом производства и передачи ЭЭ в условиях централизованного оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике.

Общие требования к системам электроснабжения

Системы электроснабжения промышленных предприятий должны удовлетворять следующим требованиям:

- экономичности;

- надежности электроснабжения;
- безопасности и удобства эксплуатации;
- обеспечения надлежащего качества электрической энергии;
- гибкости системы, дающей возможности дальнейшего развития;
- максимального приближения источников питания к электроустановкам потребителей и др.

Система электроснабжения промышленного предприятия должна, как правило, выбираться на основе технико-экономического сравнения сопоставимых вариантов по минимуму дисконтированных затрат. При построении системы электроснабжения следует учитывать категорию приемников электроэнергии. При определении категории следует руководствоваться требованиями ПУЭ. При этом не следует допускать необоснованного отнесения электроприемников к более высокой категории. Электроприемники, отделения цехов разной категории следует рассматривать, как объекты с разными условиями резервирования. Надежность электроснабжения потребителя обеспечивается выполнением требуемой степени резервирования. Электроприемники первой и второй категории должны иметь резервные источники питания. Резервирование необходимо для продолжения работы основного производства в послеаварийном режиме. Питание электроприемников третьей категории не требует резервирования. В соответствии с ПУЭ для электроприемников первой категории должны предусматриваться два независимых взаимно резервируемых источника питания. Необходимо выявлять из числа электроприемников первой категории наиболее ответственные, для них предусматривается третий независимый источник питания. В качестве третьего источника питания для особой группы и в качестве второго независимого источника питания для остальных электроприемников первой категории могут быть использованы собственные электростанции или электростанции энергосистемы, агрегаты бесперебойного питания, аккумуляторные батареи и т.п. Завышение мощности третьего источника в целях его использования для продолжения работы производства при отключении двух основных независимых источников питания может быть допущено только

при выполнении в проекте технико-экономического обоснования. Схема электроснабжения электроприемников особой группы первой категории должна обеспечивать: - постоянную готовность третьего независимого источника к включению и автоматическое его включение при исчезновении напряжения на обоих основных источниках питания; - перевод независимого источника питания в режим горячего резерва при выходе из строя одного из двух основных источников питания. В обоснованных случаях может быть допущено ручное включение третьего независимого источника питания. Электроприемники второй категории рекомендуется обеспечивать электроэнергией от двух независимых взаимно резервируемых источников питания. Ко второй категории следует относить только такое технологическое оборудование, без которого невозможно продолжение работы основного производства на время послеаварийного режима. Для правильного решения вопросов надежности необходимо различать аварийный и послеаварийный режимы работы. Систему электроснабжения нужно строить таким образом, чтобы она в послеаварийном режиме обеспечивала функционирование основных производств предприятия после необходимых переключений. Мощности независимых источников питания в послеаварийном режиме определяются из требуемой степени резервирования системы. При этом используются все дополнительные источники и возможности резервирования. Схема электроснабжения должна обеспечивать требуемое качество электрической энергии в соответствии с ГОСТ Р 54149 - 2010 "Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения". На промышленных предприятиях могут быть установлены электроприемники с резкопеременными графиками нагрузок, однофазные электроприемники, электроприемники, нарушающие синусоидальность токов и напряжений. Это приводит к возникновению колебаний напряжения, к нарушению симметрии токов и напряжений, к появлению высших гармонических составляющих токов и напряжений. Снижение качества электрической энергии приводит к дополнительным потерям энергии, уменьшает пропускную способность электрических сетей, приводит к сокращению срока службы электрооборудования, электриче-

ских машин, конденсаторных установок и т.д. Решение проблемы качества электрической энергии может быть достигнуто: - для электроприемников с резкопеременной нагрузкой - применением повышенных напряжений в питающих и распределительных сетях и приближением источников питания к электроприемникам; - уменьшением реактивного сопротивления элементов схемы от источников питания до электроприемников с резкопеременной нагрузкой; - включением на параллельную работу вторичных обмоток трансформаторов, питающих резкопеременную нагрузку; - применением глубоких вводов напряжением 35 кВ и выше для питания крупных дуговых электропечей, главных электроприводов прокатных станов, преобразовательных установок большой мощности и т.д., или питание таких электроприемников от отдельных линий непосредственно от энергосистем, от ГПП или ПГВ; - применением симметрирующих устройств, фильтров высших гармоник, быстродействующих синхронных компенсаторов для выравнивания графиков электрических нагрузок и других мероприятий, уменьшающих "вредное" воздействие электроприемников на системы электроснабжения. Трансформаторные и распределительные подстанции следует максимально приближать к электроустановкам потребителей электроэнергии, сокращая число ступеней трансформации за счет внедрения глубоких вводов, повышенных напряжений питающих и распределительных сетей, дальнейшего развития принципа "разукрупнения" подстанций, внедрения магистральных токопроводов.

2. Методические указания по выполнению курсовой работы

2.1 Расчет электрической нагрузки

Режимы работы электроустановок на всех уровнях электроэнергетической системы характеризуется графиками нагрузки. Графиком нагрузки называют диаграмму изменения нагрузки электроустановки во времени.

1) По виду параметра, характеризующего нагрузку, различают графики:

-активной мощности $P=f(t)$;

-реактивной мощности $Q=f(t)$;

-полной мощности $S=f(t)$;

- реже применяется - тока $I=f(t)$

2) По продолжительности периода наблюдений:

-суточные ($t=24$ ч.)

-годовые ($t=8760$ ч/год)

-сезонные

3) По внешним условиям:

-зимние (по характерным суткам 22 декабря)

-летние (по характерным суткам 22 июня)

4) Так же могут быть:

-графики рабочих дней

-графики выходных дней

Основным обычно является зимний суточный график рабочего дня, остальные строятся в % (о.с.) к основному.

5) По способу построения (или по характеру наблюдений - регистрации)

6) По задачам использования:

-текущие: отражают изменение параметра в течении суток (года)

-по продолжительности: отражают длительность работы электроустановки в течение года с различными нагрузками.

7) По времени снятия данных:

-фактические- по данным регистрирующих приборов за определенный период времени

-перспективные - составляемые при проектировании на основании данных о количестве и составе потребителей и их номинальной мощности.

8) По иерархии электроустановки в электроэнергетической системе:

-графики нагрузки потребителей (это могут быть графики нагрузки эл. приемника или их групп, объединяемых центром питания от уровня шинных сборок 0.4 кВ цеховых подстанций до уровня сборных шин 6-10 кВ и подстанций потребителей в целом и даже по отрасли промышленности);

-сетевые графики - на шинах районных подстанций;

-графики нагрузки энергосистем, обслуживающей совокупность промышленных, городских и сельских потребителей целого региона;

-графики нагрузки электростанций.

Для проектирования систем электроснабжения населенного пункта и района необходимо знание электрических нагрузок. Прежде всего, следует определить нагрузку на вводе в отдельные объекты. В качестве их в населенных пунктах могут быть жилые дома, общественные коммунально - бытовые помещения (школы, столовые, магазины и т.д.), производственные предприятия по производству и обработке с.х. продукции (теплицы, животноводческие объекты, молокозаводы, птицефабрики и др.), а также мелкие производственные предприятия (мастерские, мельницы, пилорамы и т.д.). Электрическая нагрузка на вводе в жилой дом может быть определена различными способами, в зависимости от наличия исходной информации об электропотреблении за предыдущие годы, возможности использования газа в населенном пункте, типа застройки (старой и новой) и т.д.

Суммарные электрические нагрузки в сети напряжением 0,38кВ, определяем отдельно для дневного и вечернего максимумов нагрузки.

Если нагрузки потребителей в группе отличается по значению более чем в 4 раза, то их суммируют путем добавок к большей слагаемой нагрузке:

$$P_{(ДВ)} = P_{(ДВ)max} + \sum_{i=1}^n \Delta P_{(ДВ)i} \quad (1)$$

где: $P_{(ДВ)max}$ — наибольшая из дневных и вечерних активных нагрузок на вводе потребителя расчетного участка кВт;

$P_{(ДВ)i}$ - добавки.

$$S_{pd} = \sqrt{P_d + Q_d} \quad (2)$$

2.2. Определение количества трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ и их места расположения

При выборе количества трансформаторов на проектируемых подстанциях 10/0,4 кВ принимают во внимание категории надежности электроснабжения потребителей. К I категории относятся потребители, перерыв в электроснабжении которых может повлечь за собой опасность для жизни людей, значительный ущерб фермерским хозяйствам, повреждения дорогостоящего оборудования (для сельского хозяйства - болезнь и гибель животных), массовой продукции (порчу с.- х. продуктов), нарушение сложных технологических процессов. Ко II категории относятся потребители, перерыв в электроснабжении которых приводит к массовому недоотпуску продукции, массовым простоям рабочих и механизмов, нарушению нормальной деятельности значительного числа городских и сельских жителей. Все остальные потребители относятся к III категории.

Таким образом, если к отходящим от ТП 10/0,4 кВ ВЛ 0,38 кВ подключены потребители I категории надежности электроснабжения, то необходимо на проектируемой подстанции 10/0,4 кВ установить два трансформатора. Это связано с необходимостью обеспечения электроэнергией потребителей I категории по двум взаимно резервирующим ВЛ 0,38 кВ от двух независимых источников питания, причем переключение электроснабжения потребителя на резервную ВЛ (или на резервный источник питания) должно производиться автоматически.

Для обеспечения надежности электроснабжения потребителей II категории, мощностью 250 кВт и более также проектируют двухтрансформаторную подстанцию 10/0,4 кВ, а при меньшей мощности - однострансформаторную. Кроме того, электропитание потребителей II категории, не допускающих перерыва более 0,5 ч, осуществляют по двум ВЛ 0,38 кВ с возможностью ручного переключения с одной ВЛ на другую.

При наличии в населенном пункте только потребителей III категории по надежности электроснабжения достаточно установить на ТП 10/0,4 кВ один трансформатор.

Критерием выбора оптимального количества ТП в заданном населенном пункте является протяженность ВЛ 0,38 кВ, суммарная мощность подстанций и значения провала напряжения при запуске асинхронных электродвигателей.

Если радиус ВЛ 0,38 кВ превышает 0,5-0,7 км при проектировании одной ТП в населенном пункте, то целесообразно рассмотреть вариант установки двух и более ТП. При суммарной электрической нагрузке населенного пункта свыше 400 кВА и невозможности обеспечения допустимой глубины провала напряжения при запуске электродвигателя также целесообразно рассмотреть варианты установки двух и более подстанций в населенном пункте.

При целесообразности установки двух и более подстанций в населенном пункте желательно проектировать электроснабжение производственных и коммунально-бытовых потребителей от разных подстанций. Место расположения ТП выбирается в центре «тяжести» электрических нагрузок, присоединенных к данной подстанции который может быть определен по формулам [1]:

$$X_p = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} P_i \cdot X_i}{\sum_{i=1}^{i=n} P_i} \quad (3);$$

$$Y_p = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} P_i \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^{i=n} P_i} \quad (4)$$

При выборе места расположения подстанции на плане населенного пункта оси координат и масштаб X, Y принимаются произвольно.

Окончательное местоположение подстанции выбирается с учетом удобства ее размещения, обслуживания и возможности взаимного резервирования между ТП по ВЛ 0,38 кВ, что необходимо для потребителей первой категории по надежности электроснабжения, таких, как больницы, инкубаторы, крупные животноводческие фермы, птицеводческие комплексы и др.

2.3 Выбор установленной мощности трансформаторов

Для выбора типа и количества трансформаторов необходимо знать действующие или проектируемые нагрузки. Существует несколько методик расчетов электрических нагрузок. Их применение зависит от отрасли народного хозяйства, задач проектирования, долгосрочности планирования, срока службы проектируемой установки и от других факторов.

Для предварительного и прогнозного проектирования используются приближенные методы, позволяющие с достаточной точности определить основные показатели электроснабжения.

Правильное определение электрических нагрузок обеспечивает технически и экономически обоснованный выбор основного и вспомогательного оборудования, средств компенсации реактивной мощности, устройств регулирования напряжения, а также релейной защиты и автоматики электрических сетей.

Выбор установленной мощности трансформаторов ТП производится по условиям их работы в нормальном режиме по экономическим интервалам нагрузки исходя из условия[1]:

$$S_{\text{ЭК.мин}} = S_p/n = S_{\text{ЭК.мак}} \quad (5)$$

где S_p - расчётная нагрузка подстанций, кВА;

n - количество трансформаторов проектируемой ТП;

$S_{\text{ЭК.мин}}$, $S_{\text{ЭК.мак}}$ - минимальная и максимальная граница экономического интервала нагрузки трансформатора.

Номинальная мощность трансформаторов на двухтрансформаторной подстанции 10/0,4 кВ определяется из условий их работы в нормальном и аварийном режимах. Если нет резервирования в сетях 0,38 кВ, то номинальную мощность трансформатора выбирают по условию:

$$S_H \geq \frac{S_{\text{рас}}}{K_{\text{ПС}}} \quad (6)$$

где - $S_{\text{рас}}$ расчетная мощность подстанции 10/0,4 кВ, кВ*А;

$K_{\text{ПС}}$ - коэффициент допустимой систематической перегрузки трансформатора подстанции.

Если в сетях 0,38 кВ применяется резервирование, то номинальную мощность трансформаторов на проектируемой подстанции 10/0,4 кВ выбирают по двум условиям:

$$S_H \geq \frac{S_{\text{рас}}}{K_{\text{ПС}}} \quad \text{и} \quad S_H \geq \frac{S_{\text{рас}} + S_{\text{рез}}}{K_{\text{ПА}}} \quad (7)$$

где $S_{\text{рез}}$ - электрическая нагрузка, резервируемая по сетям 0,38 кВ, кВ-А;

$K_{\text{ПА}}$ коэффициент допустимой аварийной перегрузки подстанции, зависящий от степени загрузки трансформатора до аварии, и достигающий значений 1,5-1,9.

Для нормального режима эксплуатации подстанции номинальной мощности трансформаторов проверяются исходя из условия:

$$\frac{S_P}{S_{\text{н.п}}} \leq k_c \quad (8)$$

где k_c - коэффициент допустимой систематической нагрузки трансформатора.

2.4 Расчет сети 0,38 кВ

В качестве распределительных 0,38кВ и питающих 10 кВ используются воздушные линии. Конфигурация воздушных линий разрабатывается в соответствии с планом населенного пункта и равномерности нагрузки по линии.

Схема распределительной сети 0,38 кВ приводится на листе 1 графической части работы.

Расчет электрических нагрузок в сетях 0.38 кВ

Для каждой линии составляется расчетная схема, на которой показывают потребителей и их расчетные Нагрузки. Расчетные схемы допускается вычерчивать без масштаба. Принятые на основании расчетов марки сечений проводов проверяются по допустимой потере напряжения. Если потеря напряжения превышает допустимое значение, то линии следует применять полнофазными и при необходимости увеличивать сечения проводов, как рекомендовано в таблицах экономических интервалов нагрузок.

На ВЛ 0,38 кВ рекомендуется применять алюминиевые, сталеалюминевые провода и провода из алюминиевого сплава. На ВЛ рекомендуется применять кабели с алюминиевыми жилами с пластмассовой изоляцией.

Недопустимо использовать сечения проводов на последующих от подстанции участках больше, чем на предыдущих. Для наружного освещения принимается отдельный провод минимального сечения по механической прочности и проверяется также по допустимой потере напряжения.

Выбранные по минимуму приведенных затрат провода и кабели должны быть проверены [1]:

- на допустимое отклонение напряжения у потребителей;
- на допустимые длительные токовые нагрузки по условию нагрева в нормальном и послеаварийном режимах;
- на обеспечение надежного срабатывания защиты (предохранителей или выключателей) при однофазных и междуфазных коротких замыканиях;
- на пуск асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором;

- кабели с пластмассовой изоляцией, защищенные плавкими предохранителями, должны быть проверены на термическую устойчивость от токов короткого замыкания.

2.5 Проверка сети 0,38 кВ по условиям пуска и устойчивой работы электродвигателей

Согласно ГОСТ 32144-2013 «НОРМЫ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ» провалом напряжения называют внезапное значительное понижение напряжения, за которым следует восстановление напряжения до первоначального или близкого к нему уровня через промежуток времени от нескольких периодов до нескольких десятков секунд. Глубиной провала напряжения называют разность между номинальным значением напряжения и его минимальным действующим значением в течение провала (в процентах от номинального значения напряжения).

В сельских электрических сетях провалы напряжения наиболее часто возникают при пуске короткозамкнутых асинхронных двигателей, мощность которых соизмерима с мощностью трансформатора. При недопустимом снижении напряжения пуск двигателя может оказаться безуспешным, так как вращающий момент двигателя, в том числе и пусковой, пропорционален квадрату действующего значения напряжения. Кроме того, может произойти «опрокидывание», т.е. остановка работающих двигателей.

При пуске двигателя напряжения на его зажимах не должно снизиться более, чем на 30% от номинального напряжения линии, в то же время, напряжение на остальных электроприёмниках не должно уменьшиться более, чем на 20% от номинального напряжения [1].

Потеря напряжения при пуске электродвигателя:

$$\Delta U\% = \frac{Z_{TP} + Z_L}{Z_{TP} + Z_L + Z_{ДВ}} \quad (9)$$

где $Z_{ТР}$ - полное сопротивление фазы обмотки трансформатора;

$Z_{Л}$ - полное сопротивление линии от ТП до электродвигателя;

$Z_{ДВ}$ - полное сопротивление фазы обмотки электродвигателя.

Полное сопротивление линии

$$Z_{Л} = \sum_{i=1}^n Z_i \quad (10)$$

где $\sum_{i=1}^n Z_i$ - сумма полных сопротивлений участков.

Так как на всём участке проложен провод одного сечения:

$$Z_{Л} = \sqrt{r_0^2 + x_0^2} \cdot L \quad (11)$$

где r_0, x_0 - удельные активное и индуктивное сопротивления провода,
Ом/км;

L - длина линии, км.

Находим сопротивление электродвигателя:

$$Z_{ДВ} = \frac{U_N}{\sqrt{3} \cdot I_N \cdot K_i} \quad (12)$$

где U_N - номинальное напряжение электродвигателя,

K_i ; - кратность пускового тока,

I_N - номинальный ток электродвигателя,

Полученное значение напряжения не должно выходить за пределы допустимого (30%) значения.

2.6 Расчёт сети 10 кВ

В сети 10 кВ девять нагрузок заданы изначально, а одна определяется расчетом. Расчетная нагрузка потребителя будет складываться из нагрузок потребителя населённого пункта, потерь мощности и потерь мощности трансформатора.

$$S_{1д} = S_{др} + \Delta S_{дл} + \Delta S_{тр.д} ; \quad (13)$$

$$S_{1в} = S_{вр} + \Delta S_{вр} + \Delta S_{тр.в} ;$$

$S_{др}$ и $S_{дл}$, $S_{вр}$ и $\Delta S_{вр}$ - рассчитаны в пункте 3.2.

Для определения активной и реактивной мощности 2,3,4,5,6,7,8,9,10 потребителей считаем, что для них коэффициент мощности $\cos\varphi=0,9$, тогда:

$$P = S \cdot \cos\varphi \text{ и } Q = S \cdot \sin\varphi. \quad (14)$$

Расчет мощностей на участках линий, выбор марок проводов и сечений, определение потерь напряжения и мощности производим так же, как и для сети 0,38 кВ.

Нагрузка на ЦП будет складываться из нагрузки потребителей 10 кВ сети и потерь в ВЛ:

$$S_{ц.п} = S + \Delta S_c \quad (15)$$

2.7 Определение отклонения напряжения у потребителя

Для оценки качества напряжения у потребителей составляется таблица отклонений напряжения, из которой определяется допустимая потеря напряжения в линиях 0,38 кВ. Согласно ГОСТ 13109-97 отклонения напряжения у сельскохозяйственных потребителей не должны превышать $\pm 5\%$ в нормальном (рабочем) режиме.

С помощью таблицы отклонений напряжения осуществляют выбор оптимальных надбавок на трансформаторах ТП 10/0,4 кВ и рассчитывают допустимые потери напряжения в линиях 10 и 0,38 кВ.

При этом рассматривают граничные условия, справедливо считая, что если в них, возможно, обеспечить требуемые уровни напряжения у потребителей,

то и для потребителей остальных ТП линии это удастся сделать. Таблица составляется для ближайшего (к шинам центра питания) и удаленного ТП 10/0,4 кВ. Причем рассматриваются уровни напряжений, как у ближайшего, так и удаленного потребителей этих ТП, в двух режимах: минимальной и максимальной нагрузки. В с.х. районах минимальная электрическая нагрузка по статистическим данным составляет 25 % от максимальной.

В левую колонку таблицы заносят все элементы спроектированной схемы электроснабжения от источника энергии (шин центра питания района) до потребителей. В таблицах отклонения напряжений приводятся потери, отклонения и надбавки напряжения в процентах к номинальному напряжению для всех элементов схемы.

На первом этапе расчета в таблицу заносятся известные показатели:

- уровни напряжения на тинах 10 кВ;
- допустимые отклонения напряжений у удаленных потребителей в режиме максимума нагрузки равные 5 %;
- потери напряжения в трансформаторах ТП;
- потери напряжения в ВЛ-10 кВ для ближайшего ТП;
- потери напряжения в ВЛ-0,38 кВ для ближайших потребителей.

Далее выбирают надбавки на трансформаторах ТП и в режиме максимальной нагрузки рассчитывают допустимые потери в ВЛ 10 и 0,38 кВ .

Надбавки стараются выбрать побольше для того, чтобы допустимые потери в линиях были достаточны по величине. Выбранные надбавки проверяют в режиме минимальных нагрузок по отклонениям напряжения у ближайших потребителей.

2.8 Расчет токов короткого замыкания

Короткими замыканиями (КЗ) называется всякое непредусмотренное условиями работы соединение двух точек электрической цепи.

В трехфазных цепях переменного тока при расчетах учитывают трехфаз-

ное и двухфазное КЗ, а в системах с заземленной нейтралью также однофазные КЗ на землю (или на нулевой провод). Чаще всего токи КЗ бывают значительно больше токов нагрузки, но могут быть соизмеримы с ними по значению.

Результаты расчетов необходимы для:

- сопоставления, оценки и выбора схем электрических соединений станций, подстанций и системы электроснабжения в целом;
- выбора аппаратуры электроустановок и проверки по условиям работы при коротких замыканиях (термическая и динамическая устойчивость);
- проектирования и настройки устройств релейной защиты и автоматики. Расчет токов короткого замыкания осуществляют в следующей

последовательности:

- выбирают метод расчета и расчетные условия;
- для расчетной схемы составляют эквивалентную схему замещения;
- определяют ЭДС источников питания и сопротивления элементов схемы (генераторов, трансформаторов, линий электропередачи и т.д.) в именованных или относительных единицах;
- преобразуют схему к простейшему виду (эквивалентный источник питания - результирующее сопротивление - точка короткого замыкания);
- определяют значения токов короткого замыкания.

В сетях 0,38кВ в большинстве случаев приходится определять ток короткого замыкания не для проверки аппаратуры на термическую и электродинамическую устойчивость (запасы прочности электрооборудования весьма значительны), а для проверки надежности срабатывания автоматических выключателей и плавких предохранителей при коротких замыканиях. Эти расчеты проводят при условии, что на шинах высшего напряжения понизительного трансформатора 10/0,4 кВ напряжение неизменно и равно номинальному. Таким образом, при определении результирующего сопротивления до точки короткого замыкания можно учитывать активные и индуктивные сопротивления лишь трансформаторов и проводов линии 0,38 кВ. Расчеты сводятся, как правило, к определению максимального тока трехфазного короткого замыкания на шинах

0,4 кВ трансформатора и минимального однофазного тока короткого замыкания в наиболее удаленной точке линии электропередачи. В удаленных точках короткого замыкания учитывают только основных элементов сети: силовых трансформаторов, линий электропередачи 0,38 кВ.

Расчет токов короткого замыкания в сети 0,38 кВ ведут, как правило, в именованных единицах.

2.9 Защита сети от аварийных режимов

Сельские электрические сети напряжением 0,38 кВ работают с глухозаземленной нейтралью. Их выполняют, как правило, с воздушными четырехпроводными линиями электропередач, имеющими многократное заземление нулевого провода и зануление электрифицированного технологического оборудования потребителей.

К специфическим особенностям сельских сетей напряжением 0,38 кВ, оказывающим влияние на выполнение их защиты от аварийных режимов, можно отнести: наличие несимметрии фазных токов и тока в нулевых проводах линий; малую кратность токов КЗ; малое значение токов замыкания на землю.

К основным аппаратам защиты от междуфазным и однофазных КЗ на нулевой провод линий напряжением 0,38 кВ относят предохранители и автоматические выключатели. Для линий с однофазной нагрузкой целесообразно применять предохранители, а для линий со смешанной нагрузкой - автоматические выключатели, т.к. при этом исключаются неполнофазные режимы. На линиях применяются предохранители ПР2; ПН2; ПП17 и типа НПН или автоматические выключатели серий АП-50; АЕ-2000; АЗ700 и ВА.

Номинальное напряжение предохранителя $U_{\text{нп}}$ должно соответствовать напряжению сети $U_{\text{с}}$, а предельный ток отключения $I_{\text{пр}}$ должен быть больше максимального тока КЗ $I_{\text{кмах}}^{(3)}$ в месте установки предохранителя.

От атмосферных перенапряжений трансформатор 10/0,4 кВ потребительских подстанций типа КТП согласно типовому проекту защищается двумя ком-

плектами вентиляльных разрядников со стороны высшего напряжения – РВО-10, со стороны низшего напряжения -РВН-1 VI.

2.10 Техничко-экономические показатели

Техничко-экономическими показателями спроектированной системы электроснабжения являются стоимость и себестоимость одного киловатт-часа, отпущенного потребителю [2,3,5,6,9].

Для группы электроприемников, присоединенных к сельской электрической сети 0,38 кВ, приведенные затраты на производство и передачу электрической энергии можно рассматривать как сумму трех составляющих:

1. затрат на электроэнергию, отпускаемую с шин энергосистемы (Z_c);
2. затрат на передачу энергии по сельским сетям напряжением 110-10 кВ (Z_B);
3. затрат на ее передачу через ТП напряжением 10(35)/0,4 кВ и воздушные линии 0,38 кВ (Z_H):

$$C_{0,38} = Z_{c0} + Z_{a0} + Z_{H0} \quad (16)$$

где Z_{c0}, Z_{B0}, Z_{H0} - удельные затраты на один киловатт-час в энергосистеме, по сетям высшего напряжения и по сетям низшего напряжения; $C_{0,38}$ - стоимость выработанного и переданного по электрическим сетям одного киловатт-часа потребителям, присоединенным к сетям напряжением 0,38 кВ.

Затраты на производство и передачу одного киловатт-часа в энергосистеме $Z_c = 4,17$ руб/кВт*ч. Годовые затраты на передачу энергии по сетям напряжением 110- 10кВ определяют по формуле:

$$Z_B = \sum_{i=1}^n K_i \cdot E_H + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m I_B \quad (17)$$

где n - число элементов схемы электроснабжения, представленной на расчет; (например ВЛ 35-110 кВ, п.ст. 35-110/10 кВ; ВЛ10 кВ);

m - число учитываемых издержек производства;

K_i - капитальные вложения в i -и элемент схемы, тыс. руб.;

E_n - нормативный коэффициент сравнительной эффективности, равный 0,1;

$I_{вj}$ - издержки вида j для i -го элемента схемы электроснабжения, тыс. руб.

Издержки производства состоят из издержек на амортизацию I_a , на капитальный ремонт $I_{к.р.}$, на потери электрической энергии $I_{эл.эн.}$, на обслуживание электрических сетей $I_{обс}$ и прочие издержки $I_{пр}$:

$$\sum_{j=1}^m I_j = I_a + I_{эл.эн.} + I_{обс} + I_{пр} + I_{к.р.} \quad (18)$$

где $I_a = K_j \cdot p_{ai}$; p_{ai} - коэффициент отчислений i -го элемента схемы на восстановление (реновацию);

$$I_{эл.эн.} = c - \Delta W; \quad (19)$$

где c - стоимость потерянного киловатт-часа, руб./кВт-ч; приближенно берется равной приведенным затратам на предыдущей (к энергосистеме) ступени напряжения, т. е. $c = Z_{ср}$;

ΔW - количество потерянной электроэнергии (в сумме для элементов ВЛ 35- 110 кВ, п.ст. 35-110/10 кВ и ВЛ 10 кВ может быть приближенно принято разным 7 % от общего количества электроэнергии, переданной через п.ст. 35-110/10 кВ);

$$I_{пр} + I_{обс} = y \cdot N_{ye} , \quad (20)$$

где N_y - число условных единиц для обслуживания y -го элемента схемы;

y - стоимость одной условной единицы.

$I_{к.р.}$ - норма отчислений на капитальный ремонт.

Для расчета потерь электроэнергии в ВЛ 0,38 кВ рекомендуется использовать коэффициент связи $K_{н/м}$ между потерями напряжения и потерями мощности

$$K_{н/м} = \Delta P / \Delta U \quad (21)$$

где ΔP - потери мощности в % от активной мощности головного участка ВЛ, а ΔU - потери напряжения в % от подстанции 10(35)/0,4 кВ до наиболее удаленного потребителя.

Для сельских ВЛ 0,38 кВ этот коэффициент в среднем можно принимать равным 0,95, тогда годовые потери электроэнергии в линии 0,38 кВ равны:

$$\Delta W = \frac{\Delta U \% \cdot K_{н/м} \cdot P_{г}}{100} \quad (22)$$

где $P_{г}$ - активная мощность головного участка линии, кВт.

Стоимость 1 кВт-ч электроэнергии, отпущенной потребителю, равна отношению суммарных годовых затрат на элементы схемы (от источника питания места присоединения потребителя) к значению полезно отпущенной электроэнергии. Себестоимость 1 кВт-ч электроэнергии равна отношению суммарных годовых издержек всех элементов к значению полезно отпущенной электроэнергии.

Таким образом, стоимость 1 кВт-ч электроэнергии, отпущенной с шин 10 В ТП 35- 10/0,4 кВ, равна:

$$Z_{в} = C_{10} = Z_{с} + Z_{в} \frac{E_{н} \sum_{i=1}^n K_i + 3_{с} \cdot 0,07 \cdot P_{РТП} \cdot T_{РТП} + \sum_{i=1}^n K_i \cdot P_{к.р.} \cdot i + \gamma \sum_{i=1}^n N_{у.е.} + \sum_{i=1}^n K_i \cdot P_{ai}}{P_{РТП} T_{РТП}} + Z_{с} \quad (23)$$

где $P_{РТП} = S_{РТП} \cdot \cos\varphi$;

$T_{РТП}$ - время использования максимума нагрузок.

По аналогии стоимость 1 кВт-ч электроэнергии, отпущенной потребителю 1 сети 0,38 кВ:

Себестоимость 1 кВт-ч электроэнергии, отпущенного потребителю равна:

$$C_{0,38}^1 = Z_c + Z_B \frac{E_H \sum_{i=1}^n K_i \cdot p_{ai} + \sum_{i=1}^n K_i \cdot p_{к.р.} + \gamma \sum_{i=1}^n N_{y.e.} + (Z_c + Z_B) \Delta W_B}{P_{РТП} T_{РТП}} \quad (24)$$

2.11 Мероприятия по охране труда

В соответствии с ПУЭ, ПТЭ и ПТБ должны быть рассчитаны и выполнены заземляющие устройства ТП, выбраны повторные заземления на отходящих линиях и зануления электроустановок. Необходимо также проверить защитное отключение при повреждении электроустановок.

ОХРАНА ТРУДА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ РАБОТ В ДЕЙСТВУЮЩИХ ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ.

Работы в действующих электроустановках должны проводиться:

- по заданию на производство работы, оформленному на специальном бланке установленной формы и определяющему содержание, место работы, время ее начала и окончания, условия безопасного проведения, состав бригады и работников, ответственных за безопасное выполнение работы (далее - наряд-допуск, наряд), форма которого и указания по его заполнению предусмотрены приложением N 7 к Правилам;

- по распоряжению;

- на основании перечня работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации.

Не допускается самовольное проведение работ в действующих электроустановках, а также расширение рабочих мест и объема задания, определенных нарядом, распоряжением или утвержденным работодателем перечнем работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации.

Выполнение работ в месте проведения работ по другому наряду должно согласовываться с работником, выдавшим первый наряд (ответственным руководителем или производителем работ). Согласование оформляется до начала подготовки рабочего места по второму наряду записью "Согласовано" на лице-

вой стороне второго наряда, располагаемой в левом нижнем поле документа с подписями работников, согласующих документ.

Капитальный ремонт электрооборудования напряжением выше 1000 В, работа на токоведущих частях без снятия напряжения в электроустановках напряжением выше 1000 В, а также ремонт ВЛ независимо от напряжения, должны выполняться по технологическим картам или проекту производства работ (далее - ППР), утвержденным руководителем организации. Работы на линиях под наведенным напряжением (отключенных ВЛ, воздушных линиях связи (далее - ВЛС), на линиях для передачи электроэнергии, состоящих из участков в воздушном и кабельном исполнении, соединенных между собой (далее - КВЛ), которые проходят по всей длине линии или на отдельных участках вблизи ВЛ напряжением 6 кВ и выше или вблизи контактной сети электрифицированной железной дороги переменного тока, находящихся под рабочим напряжением, на проводах (тросах) которых при различных схемах их заземления (а также при отсутствии заземлений) при наибольшем рабочем токе влияющих ВЛ наводится напряжение более 25 В, а также всех ВЛ, сооруженных на двухцепных (многоцепных) опорах при включенной хотя бы одной цепи напряжением 6 кВ и выше (далее - ВЛ под наведенным напряжением) выполняются по ППР на выполняемую работу по наряду-допуску.

В электроустановках напряжением до 1000 В при работе под напряжением необходимо:

- снять напряжение с расположенных вблизи рабочего места других токоведущих частей, находящихся под напряжением, к которым возможно случайное прикосновение, или оградить их;

- работать в диэлектрических галошах или стоя на изолирующей подставке либо на резиновом диэлектрическом ковре;

- применять изолированный инструмент (у отверток должен быть изолирован стержень) или пользоваться диэлектрическими перчатками.

Не допускается работать в одежде с короткими или засученными рукавами, а также использовать ножовки, напильники, металлические метры.

Не допускается в электроустановках работать в согнутом положении, если при выпрямлении расстояние до токоведущих частей будет менее расстояния, указанного в таблице N 1.

Не допускается при работе около неогражденных токоведущих частей располагаться так, чтобы эти части находились сзади работника или по обеим сторонам от него.

Не допускается прикасаться без применения электробезопасных средств к изоляторам, изолирующим частям оборудования, находящегося под напряжением.

В пролетах пересечения в ОРУ и на ВЛ при замене проводов (тросов) и относящихся к ним изоляторов и арматуры, расположенных ниже проводов, находящихся под напряжением, через заменяемые провода (тросы) в целях предупреждения подсечки расположенных выше проводов должны быть перекинуты канаты из растительных или синтетических волокон. Канаты следует перекидывать в двух местах - по обе стороны от места пересечения, закрепляя их концы за якоря, конструкции. Подъем провода (троса) должен осуществляться медленно и плавно.

Работы в ОРУ на проводах (тросах) и относящихся к ним изоляторах, арматуре, расположенных выше проводов, тросов, находящихся под напряжением, необходимо проводить в соответствии с ППР, утвержденным руководителем организации или обособленного подразделения. В ППР должны быть предусмотрены меры для предотвращения опускания проводов (тросов) и для защиты от наведенного напряжения. Не допускается замена проводов (тросов) при этих работах без снятия напряжения с пересекаемых проводов.

Работникам следует помнить, что после исчезновения напряжения на электроустановке оно может быть подано вновь без предупреждения.

Не допускаются работы в неосвещенных местах. Освещенность участков работ, рабочих мест, проездов и подходов к ним должна быть равномерной, без слепящего действия осветительных устройств на работников.

При приближении грозы должны быть прекращены все работы на ВЛ, ВЛС, ОРУ, на вводах и коммутационных аппаратах ЗРУ, непосредственно подключенных к ВЛ, на линиях для передачи электроэнергии или отдельных импульсов ее, состоящих из одного или нескольких параллельных кабелей с соединительными, стопорными и концевыми муфтами (заделками) и крепежными деталями, а для маслонаполненных кабельных линий, кроме того, с подпитывающими аппаратами и системой сигнализации давления масла (далее - КЛ), подключенных к участкам ВЛ, а также на вводах ВЛС в помещениях узлов связи и антенно-мачтовых сооружениях.

Работники, работающие в помещениях с электрооборудованием (за исключением щитов управления, релейных и им подобных), в ЗРУ и ОРУ, в подземных сооружениях, колодцах, туннелях, траншеях и котлованах, а также участвующие в обслуживании и ремонте ВЛ, должны пользоваться защитными касками.

На ВЛ независимо от класса напряжения допускается перемещение работников по проводам сечением не менее 240 кв. мм и по тросам сечением не менее 70 кв. мм при условии, что провода и тросы находятся в нормальном техническом состоянии, не имеют повреждений, вызванных вибрацией, коррозией. При перемещении по расщепленным проводам и тросам строп предохранительного пояса следует закреплять за них, а в случае использования специальной тележки - за тележку.

Техническое обслуживание осветительных устройств, расположенных на потолке машинных залов и цехов, с тележки мостового крана должны производить по наряду не менее двух работников, один из которых должен иметь группу III и выполнять соответствующую работу. Второй работник должен находиться вблизи работающего и контролировать соблюдение им необходимых мер безопасности.

Устройство временных подмостей, лестниц на тележке мостового крана не допускается. Работать следует непосредственно с настила тележки или с установленных на настиле стационарных подмостей.

С троллейных проводов перед подъемом на тележку мостового крана должно быть снято напряжение. При работе следует соблюдать правила по охране труда при работе на высоте.

Передвигать мост или тележку мостового крана крановщик должен только по команде производителя работ. При передвижении мостового крана работники должны размещаться в кабине мостового крана или на настиле моста. Когда работники находятся на тележке мостового крана, передвижение моста и тележки запрещается.

При проведении земляных работ необходимо соблюдать требования строительных норм и правил.

3. Задание на курсовую работы

Исходные данные определяют по таблицам согласно шестизначному числовому коду, заданному преподавателем. Расположение потребителей в населенном пункте определяют данные таблица 1 с использованием координатной сетки, показанной на рисунок 1. Размер квадрата задается преподавателем. Такая же координатная сетка используется для получения плана расположения потребительских подстанций по данным таблица 5.

	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	И	К	Л
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										

Рисунок 1. Координатная сетка

Таблица 1 - Расположение потребителей в населенном пункте

Номер потребителя	1-ый знак кода									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	А1	А1	А5	А7	В2	А6	Г3	Г1	А3	Г1
2	Б2	Б2	Б5	Б7	В3	Б6	Д3	Д2	Б2	
3	В3	В3	В5	В7	Г1	И6	Е3	Е3	Б5	Е2
4	Г4	Г4	Г5	Г7	Г2	Г5	В4	Ж7	В3	Е4
5	Д5	Д5	Д5	Д6	Г3	Д4	Ж4	Е5	Г4	Ж3
6	Е6	Е5	Е5	Е5	Г4	Е4	В5	Д6	Г3	И5
7	Ж7	Ж4	Ж5	Ж4	Д2	Ж4	Ж5	Г4	Д5	В3
8	И8	И3	И5	И3	Д4	И5	В6	В3	Е5	А4
9	К9	К2	К5	К3	Е1	К5	Ж6	Д5	Ж5	Б3
10	Л10	Л1	Л5	Л3	К3	Л5	Е7	Б3	Е3	К6
11	Д3	Д4	Г6	В3	Ж5	Д5	Д5	Б2	К4	А6
12	Е4	Е4	Д6	Г4	В4	Е5	Г5	Г3	И5	Б5
13	Ж5	Д3	Е6	Д3	И3	В6	Е4	Ж2	Е4	В5
14	И6	Е3	Е7	Г6	Б4	Г6	Е5	Е4	Д2	Г3
15	И3	Ж2	Ж7	Е4	И2	Д6	Е6	Д7	Е6	Д4
16	Г6	К4	И4	А8	Б6	Г2	Ж8	Ж4	В7	Л7
17	Г7	Л4	К4	А9	В5	Д2	Ж9	Ж5	Д7	К8
18	Б8	К5	К3	Б8	Г6	Д3	К7	Ж6	Г8	И7
19	Д9	Л5	Л3	Б9	А9	Е2	К8	Е7	В8	Ж6
20	Г10	И6	К2	Б10	Б8	В3	И7	И6	Б6	Л9

Таблица 2 - Данные о жилых домах

Второй знак кода	Количество квартир в жилом доме				Номер в таблице нагрузок
	1	4	12	40	
0	4(1...4)	3(5...7)	2(8,9)	1(10)	69
1	7(2...8)	2(9,10)	1(1)	-	70
2	1(3)	4(4...7)	3(8,9,10)	2(1,2)	71
3	2(4,5)	2(6,7)	6(8...10,1...3)	-	72
4	4(5...7)	4(8...10,1)	1(2)	2(3,4)	73
5	5(7...10,1)	1(2)	4(3...6)	-	74
6	6(2...7)	2(8,9)	1(10)	1(1)	75
7	8(3...10)	-	2(1,2)	-	76
8	9(1...9)	-	-	1(10)	77
9	10(1...10)	-	-	-	78

Примечание. В скобках указаны номера потребителей согласно табл.1.

Таблица 3 - Производственные, общественные и коммунальные потребители

Номер потребителя	Третий знак кода									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
11	1	10	2	3	4	5	6	13	16	24
12	33	30	7	8	12	37	38	23	23	27
13	43	32	11	46	36	47	48	31	50	47
14	47	34	44	49	42	41	42	36	36	49
15	48	50	51	35	40	57	39	47	48	29
16	51	57	52	58	52	64	58	67	53	54
17	53	55	54	67	53	68	59	52	56	57
18	60	56	61	51	55	62	61	59	60	61
19	62	59	63	54	56	66	65	55	65	66
20	64	66	65	60	68	63	51	64	68	67

Таблица 4 - Расположение нагрузок питающих линий

Номер нагрузки	Четвертый знак кода									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	А1	А3	А4	Г1	Е2	А8	А6	Б5	А9	Б4
2	Б2	Б3	В4	Г3	Е4	В8	В6	Г3	Б8	Г4
3	Г3	Д3	Д4	Г5	Е6	Д8	Д5	Е5	Г6	Е3
4	Е3	Ж3	Ж4	Г7	Д7	Ж8	Ж6	И5	Е4	И2
5	Ж4	К3	К4	Г9	Ж7	К8	К6	Л5	И2	И1
6	И5	Д1	В2	В7	Г9	Е7	В4	Д4	Л1	К2
7	К6	Б1	В6	В5	И8	Е9	Б8	Е3	Г4	Л2
8	А7	Ж1	Д2	В3	В9	Ж6	Ж4	И7	Г8	Г3
9	К5	Б5	Д6	В9	К9	К10	Ж3	И9	Е2	Д5
10	Ж6	Ж5	Г2	В1	Б10	И5	Ж2	И3	Е6	Г2

Таблица 5 - Расчетные нагрузки питающей линии

Пятый знак кода										Расчетная нагрузка, кВА	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Дневной максимум	Вечерний минимум
1	10	9	8	7	6	5	4	3	2	60	80
2	1	10	9	8	7	6	5	4	3	80	70
3	2	1	10	9	8	7	6	5	4	80	160
4	3	2	1	10	9	8	7	6	5	140	150
5	4	3	2	1	10	9	8	7	6	150	120
6	5	4	3	2	1	10	9	8	7	150	180
7	6	5	4	3	2	1	10	9	8	160	270
8	7	6	5	4	3	2	1	10	9	170	210
9	8	7	6	5	4	3	2	1	10	170	280
10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	Определить расчетом	

Таблица 6 - Данные центра питания

Наименование параметра	Шестой знак кода									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Уровень напряжения при максимальной нагрузке	1	2	3	4	5	5	2	1	0	5
Уровень напряжения при минимальной нагрузке	0	0	0	0	0	1	1	1	0	2
Мощность к.з. на шинах ЦП, МВА	30	40	25	20	35	45	65	50	60	55

Примечание. Координаты центра питания задаются преподавателем.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Работа состоит из текстовой части (исходные данные, пояснительная записка) и графической части. Объем текстовой части составляет 25...30 страниц. Графическая часть включает в себя планы и расчетные схемы сети 0,38 и 10 кВ, электрическая принципиальная схема и общий вид одной из подстанции 10/0,4 кВ. Исходные данные оформляются в виде таблиц и рисунков с необходимыми пояснениями. Примерное содержание пояснительной записки:

- Введение
- Расчет электрических нагрузок населенного пункта.
- Определение количества трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ и их места расположения.
 - Расчет сети 0,38 кВ. (Обоснование схемы сети. Определение сечений проводов отходящих линий. Расчет потерь напряжения и мощности. Проверка сети 0,38 кВ по условиям пуска и устойчивой работы электродвигателей.)
 - Расчет сети 10 кВ. (Определение места расположения центра питания и схемы сети 10 кВ. Определение сечений проводов. Расчет потерь напряжения и мощности. Определение отклонений напряжения у потребителей.)
 - Расчет токов короткого замыкания. (Задачи расчета. Выбор расчетных точек. Расчет т.к.з. в сети 10 кВ. Расчет т.к.з. в сети 0,38 кВ.)
 - Защита сети от аварийных режимов. (Защита сети 10 кВ. Защита сети 0,38 кВ).
 - Подстанция 10/0,4 кВ (Конструктивное исполнение и схема подстанции. Выбор и проверка основного оборудования подстанции. Заземление подстанции).

Таблица 7 - Электрические нагрузки потребителей

№ п/п	Объект	Мощность эл. двигателя, кВт	Дневная нагрузка		Вечерняя нагрузка		Коэффициент сезонности			
			кВт	кВАр	кВт	кВАр	Зима	Весна	Лето	Осень
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Коровник без механизации процессов на 100 голов	-	4	-	4	-	1,0	0,8	0,2	0,9
2	То же, с электроподогревателем	-	10	-	10	-	1,0	0,8	0,6	0,9
3	Коровник привязного содержания с механизированной уборкой навоза на 100 голов	-	4	4	4	4	1,0	0,8	0,6	0,9
4	То же, с электроподогревателем	-	9	8	9	8	1,0	0,8	0,6	0,9
5	Коровник привязного содержания с механизированным доением, уборкой навоза и электроподогревателем на 100 голов	-	10	8	10	8	1,0	0,8	0,7	0,9
6	Помещение для ремонтного и откормочного молодняка на 170 голов	-	1	-	3	-	1,0	0,6	0,3	0,9
7	То же, с механизированной уборкой навоза	-	4	3	7	5	1,0	0,8	0,6	0,9
8	Родильное отделение с профилакторием на 48 мест	-	20	15	20	15	1,0	0,9	0,5	0,8
9	Родильное отделение на 48 мест	-	6	-	6	-	1,0	0,9	0,5	0,8
10	Телятник с родильным отделением на 120 телят	-	5	3	8	5	1,0	0,8	0,4	0,8
11	Молочный блок при коровнике на 3т/сутки	-	15	15	15	15	0,8	0,9	1,0	0,8
12	Кормоприготовительная при коровнике	-	6	5	6	5	1,0	0,8	0,5	0,9
13	Свинарник-маточник на 50 маток (подвесная дорога)	-	2	-	2	-	1,0	0,8	0,2	0,9
14	То же, с навозоуборочным транспортером	-	3	3	5	5	1,0	0,8	0,7	0,9
15	То же, с теплогенератором	-	6	5	10	6	1,0	0,8	0,4	0,8
16	То же, с электрообогревом	-	28	12	28	8	1,0	0,8	0,2	0,8
17	Свинарник-маточник на 100 маток (подвесная дорога)	-	4	-	7	-	1,0	0,8	0,2	0,9
18	То же, с навозоуборочным транспортером	-	5	4	5	4	1,0	0,8	0,7	0,9
19	То же, с теплогенератором	-	8	6	8	6	1,0	0,8	0,4	0,8
20	То же, с электрообогревом	-	55	25	55	15	1,0	0,8	0,2	0,8
21	Свинарник-откормочник на 1000-1200 голов	-	2	-	6	-	1,0	0,8	0,2	0,9
22	То же, с навозоуборочным транспортером	-	6	5	9	8	1,0	0,8	0,7	0,9
23	Кормоцех для свинофермы на 100 маток и 1000 голов откорма или на 2000 голов откорма	22	26	23	10	7	1,0	0,9	0,8	0,9
24	Птичник на 6-9 тыс. цыплят	-	25	10	25	10	1,0	1,0	1,0	1,0
25	То же, на 7 тыс. кур	-	10	5	10	4	1,0	1,0	1,0	1,0
26	То же, на 5-6 тыс. кур	-	20	10	20	10	1,0	0,9	0,8	0,9
27	Кормоцех птицефермы на 25-30 тыс. кур	14	25	20	10	7	1,0	0,9	0,9	1,0
28	Инкубаторий на 2 инкубатора	-	20	-	20	-	1,0	1,0	1,0	1,0
29	То же, на 4 инкубатора	-	30	-	30	-	1,0	1,0	1,0	1,0
30	Конюшня	-	3	-	3	-	1,0	0,8	0,5	0,8
31	Дробилка кормов ДБ-5-1	40	40	35	-	-	1,0	0,7	0,5	0,8
32	То же, КДМ-2	30	30	25	-	-	1,0	0,7	0,5	0,8
33	Измельчитель грубых кормов «Волгарь-5»	22	22	20	-	-	1,0	0,8	0,5	0,8

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
34	Ветеренарно-фельдшерский пункт	-	3	-	3	-	1,0	0,9	0,7	0,8
35	Зернохранилище емкостью 500 т	-	10	10	5	3	0,5	0,4	1,0	1,0
36	Овощехранилище на 300-600 т	-	5	3	2	-	1,0	0,5	0,7	1,0
37	То же, с отопительно-вентиляционной установкой	14	20	15	20	15	1,0	0,3	0,3	0,4
38	Холодильник для хранения фруктов на 50 т	-	8	6	8	6	0,8	0,3	0,7	1,0
39	Склад нефтепродуктов емкостью до 300 куб. м	-	5	4	2	-	1,0	1,0	1,0	1,0
40	Кузница	-	5	-	1	-	1,0	0,8	0,7	0,9
41	Лесопилка с агрегатами ЛРМ-79	22	16	18	2	-	1,0	0,8	0,7	0,9
42	То же, с агрегатами Р-65	30	23	27	2	-	1,0	0,8	0,7	0,9
43	Приемный пункт молокозавода производительностью 10т/смену	14	45	40	45	40	0,8	0,9	1,0	0,8
44	Хлебопекарня производительностью 3т/смену	-	5	4	5	4	1,0	0,9	0,8	0,9
45	Сенажная башня	-	10	8	-	-	0,5	0,5	1,0	1,0
46	Установка вентиляционная для досушивания сена	13	120	90	120	90	-	0,8	1,0	0,3
47	Материально-технический склад	-	3	2	1	-	1,0	0,8	0,7	0,9
48	Мастерская пункта технического обслуживания в бригаде 10-2- тракторов	-	15	12	5	4	1,0	0,9	0,7	0,8
49	Гараж на 10 автомашин	-	20	18	10	8	1,0	0,7	0,5	0,8
50	Котельная с двумя котлами «Универсал-6»	-	15	10	15	10	1,0	0,8	0,5	0,9
51	Начальная школа на 40 учащихся	-	5	-	2	-	1,0	0,8	0,1	0,8
52	Общеобразовательная школа с мастерской на 190 учащихся	-	14	7	20	10	1,0	0,8	0,1	0,8
53	Детские ясли/сад на 25 мест	-	4	-	3	-	1,0	0,9	0,8	0,9
54	Административное здание (контора) на 15-25 рабочих мест	-	15	10	8	-	1,0	0,8	0,7	0,9
55	Сельсовет с отделением связи	-	7	3	3	-	1,0	0,8	0,7	0,9
56	Клуб со зрительным залом на 150-200 мест	-	3	1,5	10	6	1,0	0,8	0,7	0,9
57	Дом культуры на 150-200 мест	-	5	3	14	8	1,0	0,8	0,7	0,9
58	Бригадный дом	-	2	-	5	-	1,0	0,8	0,7	0,9
59	Сельская поликлиника	-	15	8	30	20	1,0	0,8	0,7	0,9
60	Фельдшерский пункт	-	4	-	4	-	1,0	0,8	0,7	0,9
61	Столовая на 25 мест	-	5	3	2	-	1,0	0,8	0,7	0,9
62	Магазин смешанного ассортимента	-	2	-	4	-	1,0	0,6	0,4	0,7
63	Комбинат бытового обслуживания	-	3	2	1	-	1,0	0,6	0,6	0,8
64	Баня на 5 мест	-	3	2	3	2	1,0	0,9	0,8	0,9
65	То же, на 10 мест	-	7	2	7	2	1,0	0,9	0,8	0,9
66	Прачечная производительностью 0,125 т/смену	-	10	6	10	6	1,0	0,9	0,8	0,9
67	Столовая с электронагревательным оборудованием на 35 мест	-	20	6	10	4	1,0	0,9	0,8	0,9
68	То же, с электроплитой	-	35	15	15	5	1,0	0,9	0,8	0,9
69	Сельский жилой дом (квартира) с плитой на газе, жидком или твердом топливе	-	0,3	0,15	1,0	0,4	1,0	0,9	0,7	0,9
70	То же	-	0,5	0,24	1,5	0,6	1,0	0,9	0,7	0,9
71	То же	-	0,7	0,32	2,0	0,75	1,0	0,9	0,7	0,9
72	То же	-	0,9	0,4	2,5	0,9	1,0	0,9	0,7	0,9
73	То же	-	1,1	0,47	3,0	1,05	1,0	0,9	0,7	0,9
74	То же	-	1,3	0,52	3,5	1,17	1,0	0,9	0,7	0,9
75	То же	-	1,5	0,6	4,0	1,32	1,0	0,9	0,7	0,9
76	То же	-	2,0	0,72	5,0	1,45	1,0	0,9	0,7	0,9
77	Жилой дом с электроплитой	-	3,5	1,15	6,0	1,5	1,0	0,9	0,7	0,9
78	То же, и с электроводонагревателем	-	4,5	1,5	7,5	1,87	1,0	0,9	0,7	0,9

Список литературы

1. Будзко И.А., Лещинская Т.Е., Сукманов В.И. Электроснабжение сельского хозяйства. М.: Колос, 2000.
2. Руководящие материалы по проектированию. М.: РОСЭП, 1996-2003.
3. Будзко И.А., Левин М.С. Электроснабжение сельскохозяйственных предприятий и населенных пунктов. 2-е изд. М.: Агропромиздат, 1985.
4. Справочник инженера-электрика сельскохозяйственного производства. М.: Информагротех, 1999.
5. Практикум по электроснабжению сельского хозяйства / под ред. И.А. Будзко. 2-е изд. М.: Агропромиздат, 1982.
6. Курсовое и дипломное проектирование по электроснабжению сельского хозяйства / Л.И. Васильев, Ф.М. Ихтейман, С.Ф. Симоновский и др. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 1989.
7. Фролов Ю.М., Шелякин В.П. Основы электроснабжения: учебное пособие. СПб.: Лань, 2012.
8. Наумов И.В. Электроснабжение: учеб. пособие. Благовещенск: Изд-во АМГУ, 2014. 381 с.

Приложение 1

Пример расчета

Расчет электрических нагрузок населенного пункта

Изобразим расположение потребителей согласно варианту задания.

	а	б	в	г	д	у	ж	и	к	л
1										
2		2			14					
3	1		4	6		10				
4				5		13			11	
5		3			7	8	9	12		
6		20				15				
7			16		17					
8			19	18						
9										
0										

Сетка с ячейкой 100×100 м

1 - 9 - одноквартирные дома;

10 - 40 квартирный дом

11 - Свинарник маточник на 50 маток (подвесная дорога) с электрообогревом

12 - Кормоцех для свинофермы на 100 маток и 1000 голов откорма или 2000 голов откорма

13 - Овощехранилище на 300-600 т

14 - Мастерская пункта технического обслуживания в бригаде на 10-20 тракторов

15 - Котельная с двумя котлами "Универсал 6"

16 - Детский ясли/сад на 25 мест

17 - Клуб со зрительным залом на 150-200 мест

18 - Фельдшерский пункт

19 - Баня на 10 мест

20 - Столовая с электронагревательным оборудованием на 35 мест с электроплитой

Сгруппируем общественные, жилые и производственные потребители и подсчитаем максимум и минимум нагрузок с учетом коэффициентов одновременности и надбавок.

Таблица 1 - Эклектические нагрузки населенного пункта

		Дневная нагрузка, кВт	Вечерняя нагрузка, кВт	Коэффициент сезонности			
				Зима	Весна	Лето	Осень
Производственные							
11	Свинарник маточник на 50 маток (подвесная дорога) с электрообогревом	28	28	1	0,8	0,2	0,8
12	Кормоцех для свинофермы на 100 маток и 1000 голов откорма или 2000 голов откорма	26	10	1	0,9	0,8	0,9
13	Овощехранилище на 300-600 т	5	2	1	0,5	0,7	1
14	Мастерская пункта технического обслуживания в бригаде на 10-20 тракторов	15	5	1	0,9	0,7	0,8
15	Котельная с двумя котлами «Универсал 6»	15	15	1	0,8	0,5	0,9
Общественные							
16	Детский ясли/сад на 25 мест	4	3	1	0,9	0,8	0,9
17	Клуб со зрительным залом на 150-200 мест	3	10	1	0,8	0,7	0,9
18	Фельдшерский пункт	4	4	1	0,8	0,7	0,9
19	Баня на 10 мест	7	7	1	0,9	0,8	0,9
20	Столовая с электронагревательным оборудованием на 35 мест с электроплитой	35	15	1	0,9	0,8	0,9
Жилые							
1-9 10	Жилой дом с электроплитой	3,5	6	1	0,9	0,7	0,9

Для простоты расчетов умножим дневную и вечернюю коэффициенты сезонности.

	День				Ночь			
	Производственные							
Свинарник маточник на 50 маток (подвесная дорога) с электрообогревом	28	22,4	5,6	22	28	22,4	5,6	22,4
Кормоцех для свинофермы на 100 маток и 1000 голов откорма или 2000 голов откорма	26	23,4	21	23	10	9	8	9
Овощехранилище на 300-600 т	5	2,5	3,5	5	2	1	1,4	2
Мастерская пункта технического обслуживания в бригаде на 10-20 тракторов	15	13,5	11	12	5	4,5	3,5	4
Котельная с двумя котлами «Универсал 6»	15	12	7,5	14	15	12	7,5	13,5
Общественные								
Детский ясли/сад на 25 мест	4	3,6	3,2	3,6	3	2,7	2,4	2,7
Клуб со зрительным залом на 150-200 мест	3	2,4	2,1	2,7	10	8	7	9
Фельдшерский пункт	4	3,2	2,8	3,6	4	3,2	2,8	3,6
Баня на 10 мест	7	6,3	5,6	6,3	7	6,3	5,6	6,3
Столовая с электронагревательным оборудованием на 35 мест с электроплитой	35	31,5	28	32	15	13,5	12	13,5
Жилые								
Жилой дом с электроплитой	3,5	3,15	2,5	3,2	6	5,4	4,2	5,4

Просуммируем производственные потребители с учетом коэффициента одновременности для производственных потребителей, но овощехранилище прибавим по добавке, т.к. его мощность отличается более чем в 4 раза.

$$P_{\Sigma 1} = K_0 = 0,77 \cdot (28 + 26 + 15 + 15) = 64,7 \text{ кВт}$$

Добавка для 5 кВт составляет +3, в итоге получим 67,7 кВт для производственных потребителей зимним днем (в среднем) так же и для других сезонов.

День				Ночь			
Зима	Весна	Лето	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень
67,7	56,5	36,2	57,9	45,9	37,5	19,8	40,1

Те же операции произведем и для общественных потребителей.

День				Ночь			
Зима	Весна	Лето	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень
43,5	38,8	34,2	39,0	28,2	23,9	21,0	24,1

И, наконец, для жилых потребителей учтем, что дана нагрузка на 1 квартиру, таким образом, мы можем просуммировать число квартир и умножить на коэффициент одновременности.

Число квартир – 49

Коэффициент одновременности для 50 квартир с электроплитами – 0,22.

Далее произведем расчеты для разных сезонов и времени суток.

День				Ночь			
Зима	Весна	Лето	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень
37,7	34,0	26,4	34,0	64,7	58,2	45,3	58,2

Сведем в одну таблицу и просуммируем при помощи надбавок.

	День				Ночь			
	Зима	Весна	Лето	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень
Производственные	67,7	56,5	36,2	57,9	45,9	37,5	19,8	40,1
Общественные	43,5	38,3	34,2	39,0	28,2	23,9	21,0	24,1
Жилые	37,7	34,0	26,4	34,0	64,7	58,2	45,3	58,2
Сумма общественных и жилых	67,5	60,8	50,7	60,0	82,4	73,2	58,3	73,2
Общая сумма	113,7	98,8	73,7	99,5	112,9	96,2	70,8	99,7

Из таблицы мы видим, что наибольшая нагрузка приходится на день зимы, а наименьшая на летнюю ночь.

Теперь определим реактивную нагрузку для наибольшей нагрузки.

		Дневная нагрузка, кВАр	Ночная нагрузка, кВАр	Коэффициент сезонности			
				Зима	Весна	Лето	Осень
Производственные							
11	Свинарник маточник на 50 маток (подвесная дорога) с электрообогревом	12	8	1	0,8	0,2	0,8
12	Кормоцех для свинофермы на 100 маток и 1000 голов откорма или 2000 голов откорма	23	7	1	0,9	0,8	0,9
13	Овощехранилище на 300-600 т	3	-	1	0,5	0,7	1
14	Мастерская пункта технического обслуживания в бригаде на 10-20 тракторов	12	4	1	0,9	0,7	0,8
15	Котельная с двумя котлами «Универсал 6»	10	10	1	0,8	0,5	0,9
Общественные							
16	Детский ясли/сад на 25 мест	-	-	1	0,9	0,8	0,9
17	Клуб со зрительным залом на 150-200 мест	1,5	6	1	0,8	0,7	0,9
18	Фельдшерский пункт	-	-	1	0,8	0,7	0,9
19	Баня на 10 мест	2	2	1	0,9	0,8	0,9
20	Столовая с электронагревательным оборудованием на 35 мест с электроплитой	15	5	1	0,9	0,8	0,9
Жилые							
1-9 10	Жилой дом с электроплитой	1,15	1,5	1	0,9	0,7	0,9

Т.к. наибольшая нагрузка зимой днем и коэффициенты одновременности составляют для зимы 1, запишем реактивную нагрузку сразу.

Для производственных:

$$Q_{\Sigma 1} = K_o \cdot \sum Q_i + Q_{доб} = 0,77 \cdot (12 + 23 + 12 + 10) + 1,8 = 45,7 \text{ кВАр}$$

Для общественных:

$$Q_{\Sigma 2} = 15 + Q_{доб} = 16,6 \text{ кВАр}$$

Для жилых:

$$Q_{\Sigma 3} = K_o \cdot \sum Q \cdot 49 = 0,22 \cdot 1,15 \cdot 49 = 12,4 \text{ кВАр}$$

просуммируем эти мощности с помощью добавок:

$$Q_{\Sigma} = 45,7 + Q_{доб1} + Q_{доб2} = 45,7 + 10,2 + 7,6 = 63,5 \text{ кВАр}$$

$$S_{рд} = \sqrt{P_d + Q_d} = \sqrt{63,51^2 + 113,72^2} = 130,2$$

Определение количества трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ и их места расположения

$$\Delta U = \Delta U_{\text{потр}} + \Delta U_{\text{тр.доб}} + \Delta U_{\text{тр.пот}} + \Delta U_{\text{ц.п.}} = 5 + 7,5 - 4 + 5 = 13,5\%$$

Разделим потерю напряжения между 0,38 и 10 кВ:

10 кВ - 7% 0,38 кВ - 6,5%

для определения количества ТП воспользуемся формулой (1) методических

указаний: $n = P_{\text{max}} \sqrt{\frac{B}{\Delta U P_0 \cos \varphi}}$

$$P_0 = \frac{P_{\text{max}}}{F}$$

где B - коэффициент для сетей 0,4 кВ 0,6-0,7;

P_0 - плотность нагрузки;

F - площадь населенного пункта;

ΔU - допустимая потеря напряжении в сети 0,4 кВ в %.

$$n = P_{\text{max}} \sqrt{\frac{B}{\Delta U P_0 \cos \varphi}} = 113,7 \sqrt{\frac{0,6}{6,5 \cdot 236,9 \cdot 0,873}} = 2,4 \approx 2 \text{ шт}$$

Распределим потребители между этими двумя ТП. Определим координаты ТП:

$$X_p = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} P_i X_i}{\sum_{i=1}^{i=n} P_i}$$

$$X_{p1} = \frac{15 \cdot 50 + 3,5 \cdot 0,22 \cdot 40 \cdot 150 + 5 \cdot 150 + 3,5 \cdot 50 + 3,5 \cdot 150 + 15 \cdot 150 + 3 \cdot 50 + 3,5 \cdot 250 + 26 \cdot 350 + 28 \cdot 450}{15 + 30,8 + 5 + 3,5 + 3,5 + 15 + 3 + 3,5 + 26 + 28} = \frac{31795}{133,5} = 238,5$$

$$Y_{p1} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} P_i Y_i}{\sum_{i=1}^{i=n} P_i} = 261$$

$$X_{p2} = 196$$

$$Y_{p2} = 408$$

Вычертим схему питания, учитывая расчетные координаты

Выбор мощности трансформаторов

Выбор мощности трансформаторов ТП производится по условиям их работы в нормальном режиме по экономическим интервалам нагрузки исходя из условия:

$$S_{\text{эк.мин}} = S_p / n = S_{\text{эк.мах}}$$

где S_p - Расчетная нагрузка подстанции, кВА;

n – количество трансформаторов проектируемой ТП.

$S_{\text{эк.мин}}$, $S_{\text{эк.мах}}$ - минимальная и максимальная граница экономического интервала нагрузки трансформатора.

Для нормального режима эксплуатации подстанции номинальные мощности трансформаторов проверяются исходя их условия:

$$\frac{S_p}{S_{\text{н.п.}}} \leq k_c$$

где k_c - коэффициент допустимой систематической нагрузки трансформатора.

Мощность трансформатора при смешанной нагрузке - соответственно 40 и 63 кВА,

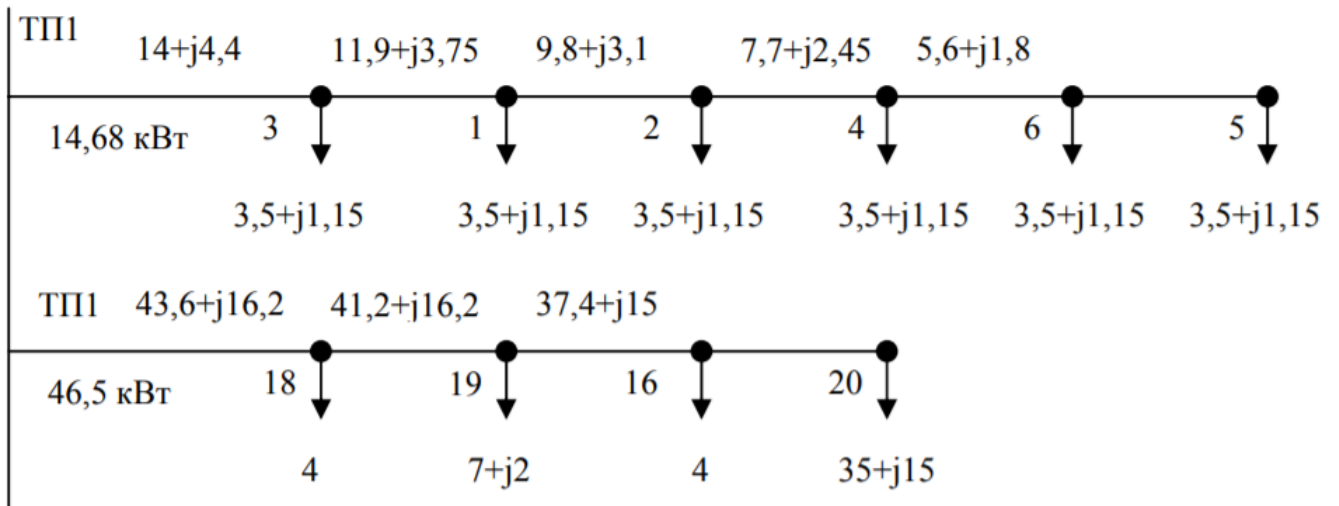
Проверяем по условию: $k_c = 1,61$

Для 1-го трансформатора:

$$\begin{aligned} \frac{S_p}{S_{\text{н.п.}}} &\leq k_c \\ \frac{55,4}{40} &\leq 1,61 \\ 1,38 &\leq 1,61 \end{aligned}$$

условие выполняется, и соответственно для второго

$$\begin{aligned} \frac{S_p}{S_{\text{н.п.}}} &\leq k_c \\ \frac{95,8}{63} &\leq 1,61 \\ 1,52 &\leq 1,61 \end{aligned}$$



На трансформатор:

$$S=52,1+j18,8=55,4 \text{ кВт}$$

На трансформатор:

$$S=82+j49,5=95,8 \text{ кВт}$$

Потери напряжения по участкам:

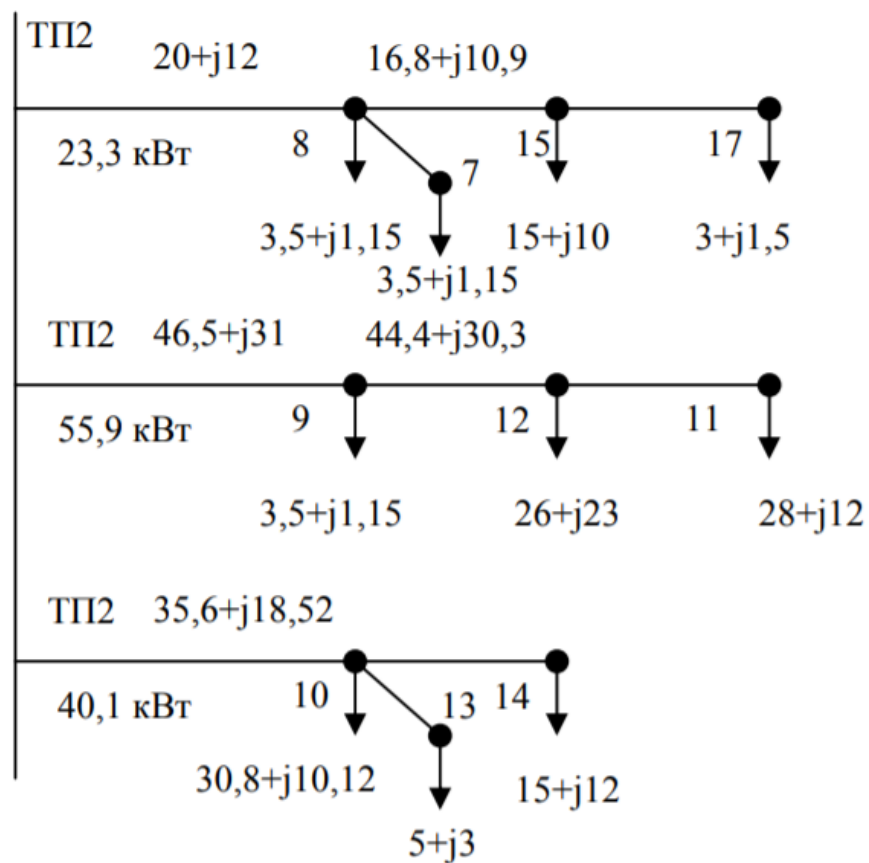


Таблица 2 - Характеристики линии 0,38 кВ по участкам

Участок	Длина участка	Потеря U, %		Марка провода	Потеря мощности, ВА
		по участку	от начала		
5-6	100	0,463	6,047	3А25+А25	13
6-4	100	0,740	5,745	3А25+А25	35
4-2	141,4	1,437	5,263	3А25+А25	93
2-1	141,4	1,828	4,327	3А25+А25	150
1-3	223,6	3,510	3,136	3А25+А25	351
3-ТП1	70,7	1,306	0,850	3А25+А25	153
Итого	777	6,047			798
18-19	100	1,293	5,869	3А70+А50	698
19-16	100	1,361	4,576	3А70+А50	782
16-20	141,4	2,111	3,215	3А70+А50	1334
20-ТП1	70,7	1,104	1,104	3А70+А50	736
Итого	412,1	5,869			3549
17-15	141,4	0,382	4,551	3А25+А25	16
15-8	100	1,567	4,169	3А25+А25	405
8-ТП12	141,1	2,602	2,602	3А25+А25	776
Итого	382,5	4,551			1197
11-12	141,4	1,462	5,257	3А70+А50	631
12-9	100	1,861	3,795	3А70+А50	1390
9-ТП2	100	1,934	1,934	3А70+А50	1503
	341,4	5,257			3525
14-10	141,4	1,581	5,033	3А35+А35	411
10-ТП2	141,4	3,452	3,452	3А35+А35	1794
Итого	282,8	5,033			2206

Проверка сети по условию пуска асинхронного двигателя

Произведем проверку ВЛ 0,38 кВ по условию пуска электродвигателя.

При пуске данного двигателя напряжение на его зажимах не должно снизиться более чем на 30% от номинального напряжения линии.

$$P_H=22 \text{ кВт}, I_H=41,3 \text{ А}, k_i=6,5; U_k\% - 4,7\%$$

$$\Delta U\% = \frac{Z_{тр}^{(3)} + Z_l}{Z_{тр}^{(3)} + Z_l + Z_{дв}} \cdot 100$$

где: $Z_{тр}^{(3)}$ - полное сопротивление трансформатора при коротком замыкании, Ом;

Z_l - полное сопротивление линии от ТП до электродвигателя, Ом;

$Z_{дв}$ - полное сопротивление электродвигателя при коротком замыкании, Ом.

Полное сопротивление линии:

$$Z_{\text{л}} = \sqrt{Z_0^2 + X_0^2} = \sqrt{(0,2 \cdot 0,412)^2 + (0,2 \cdot 0,283)^2} = 0,099967 \text{ Ом}$$

$$Z_{\text{дв}} = \frac{U_{\text{н}}}{\sqrt{3} I_{\text{н}} k_i} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 41,3 \cdot 6,5} = 0,82 \text{ Ом}$$

$$Z_{\text{тр}}^{(3)} = \frac{U_k \% \cdot U_{\text{н}}^2}{100 \cdot S_{\text{н}}} = \frac{4,7 \cdot 0,1444}{100 \cdot 63} = 0,108 \text{ Ом}$$

$$\Delta U \% = \frac{Z_{\text{тр}}^{(3)} + Z_{\text{л}}}{Z_{\text{тр}}^{(3)} + Z_{\text{л}} + Z_{\text{дв}}} \cdot 100 = \frac{0,108 + 0,1}{0,108 + 0,1 + 0,82} \cdot 100 = 20,2\%$$

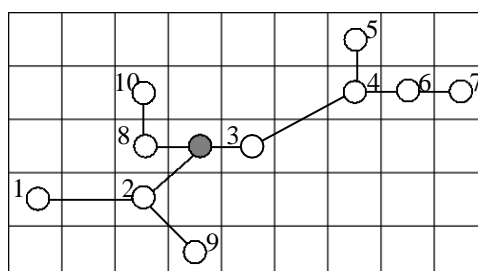
условие выполняется.

Расчет сети 10 кВ.

	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	И	К	Л
1								5		
2				10				4	6	7
3				8	ЦП	3				
4		1		2						
5					9					
6										
7										
8										
9										
10										

	Расчетная нагрузка, кВА	
	дневной максимум	вечерний максимум
1	60	80
2	80	70
3	80	160
4	140	150
5	150	120
6	150	180
7	160	270
8	170	210
9	170	280
10	131,8	129,4

Вечерний максимум определим исходя из активной вечерней нагрузки с помощью cosφ.



Принимаем для всех потребителей $\cos\varphi=0,9$ ($\sin\varphi=0,44$)

Для расчета протекающих мощностей по участкам воспользуемся добавками, приведенными в приложении, табл. 3.10

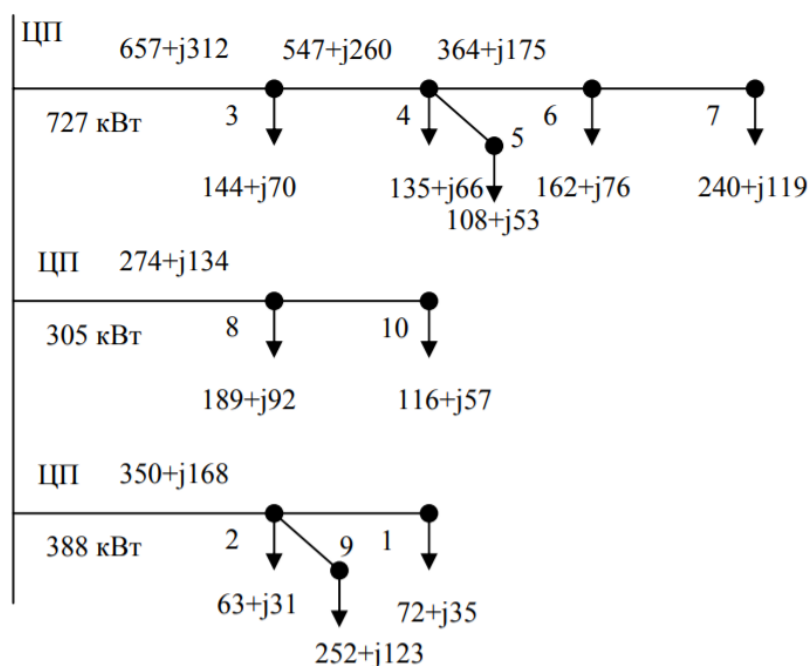


Таблица 3 - Характеристики линии 10 кВ по участкам

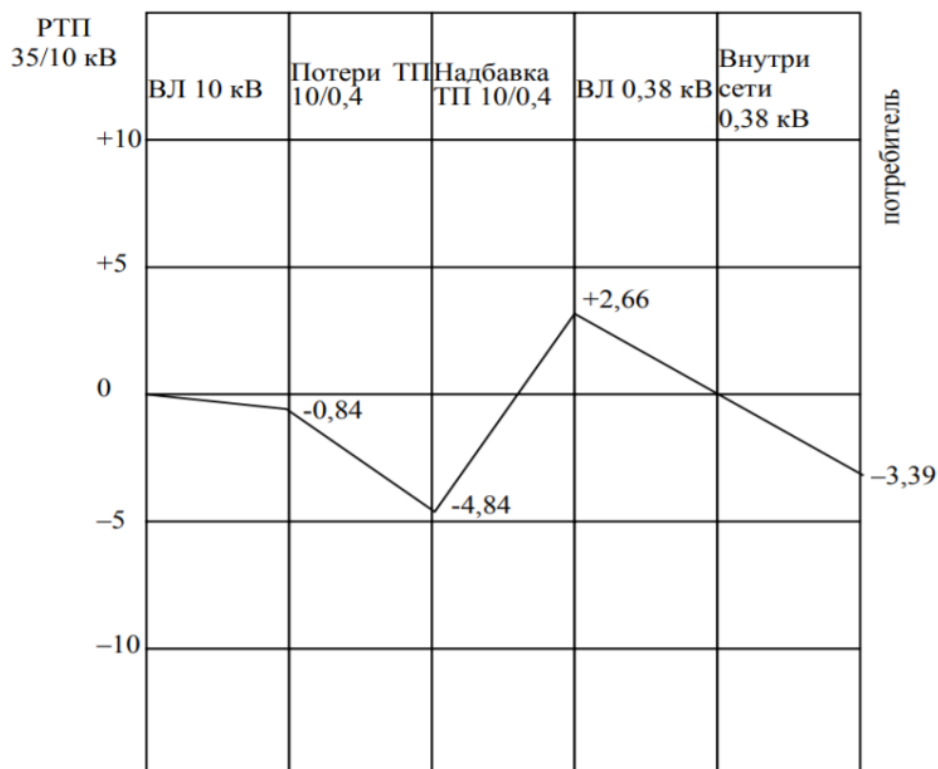
Участок	Длина участка	Потеря U, %		Марка провода	Потеря мощности, ВА
		по участку	от начала		
7-6	1	0,343	3,540	АН25	931
6-4	1	0,519	3,197	АН25	2116
4-3	2,24	1,743	2,678	АН25	10657
3-цп	1	0,935	0,935	АН25	6861
Итого	5,24	3,540			20564
10-8	1	0,249	0,838	АН16	333
8-ЦП	1	0,589	0,589	АН16	1854
Итого	2	0,838			2187
1-2	2	0,309	1,368	АН16	256
2-ЦП	1,41	1,059	1,059	АН16	4236
Итого		1,368			4491

Определение отклонения напряжения у потребителя

Таблица 4 - Отклонение напряжения в сети

Линия 10 кВ в ЦП	0
Линия 10 кВ	-0,84
ТП 10/0,4 кВ	
надбавка	+7,5
потери	-4
Линия 0,38 кВ	-6,05
Итого у дальнего потребителя:	-3,39%

График отклонения напряжения.



Расчет токов короткого замыкания

При проектировании рассчитывают токи КЗ непосредственно на шинах ТП и в самой удаленной точке отходящих линий.

Для расчета токов КЗ рассматриваем самый протяженный участок линии ОД8 кВ. Значения сопротивления схемы замещения рассматриваются следующим образом:

- сопротивление трансформатора

$$Z_{\text{тр}} = \frac{U_k \% \cdot U_H^2}{100 \cdot S_H}$$

сопротивление воздушной линии

$$Z_L = \sqrt{Z_0^2 + X_0^2}$$

рекомендуются следующие расчетные формулы для точек КЗ:

- для определения токов двухфазного короткого замыкания в самой удаленной точке

$$I_{\text{кз}}^{(2)} = \frac{U_{\text{л}}}{2(Z_{\text{T}} + Z_{\text{л}})}$$

$$Z_{\text{тр}} = \frac{U_{\text{к}} \% \cdot U_{\text{н}}^2}{100 \cdot S_{\text{н}}} = \frac{4,7 \cdot 0,1444}{100 \cdot 40} = 0,17 \text{ Ом}$$

$$Z_{\text{л}} = \sqrt{(0,78 \cdot 1,14)^2 + (0,78 \cdot 0,319)^2} = 0,853 \text{ Ом}$$

$$I_{\text{кз}}^{(2)} = \frac{380}{2(0,17 + 0,853)} = 185,7 \text{ А}$$

- однофазное короткое замыкание

$$I_{\text{кз}}^{(1)} = \frac{U_{\text{Ф}}}{Z_{\text{n}} + \frac{Z_{\text{м}}^{(1)}}{3}}$$

где Z_{n} - полное сопротивление петли фазный - нулевой провод от шин 0,4 кВ ТП 10/0,4 кВ до соответствующей точки КЗ, Ом;

$Z_{\text{м}}^{(1)}$ - полное сопротивление трансформатора току однофазного замыкания на корпус:

$$Z_{\text{n}} = 2 \cdot Z_{\text{л}} = 1,706 \text{ Ом}$$

$$Z_{\text{м}}^{(1)} = 0,562 \text{ Ом}$$

$$I_{\text{кз}}^{(1)} = \frac{220}{1,706 + \frac{0,506}{3}} = 116,2 \text{ А}$$

- определение тока трехфазного КЗ на 0,4 кВ ТП 10/0,4 кВ

$$I_{\text{кз}}^{(3)} = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{м}}}$$

где $Z_{\text{м}}$ - полное сопротивление токам трехфазного КЗ трансформатора;

$$I_{\text{кз}}^{(3)} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 0,188} = 1167 \text{ А}$$

Для расчетов токов КЗ сети 10 кВ необходимо рассчитать сопротивление системы:

$$Z_{\text{с}} = \frac{U^2}{S_{\text{с}}}$$

где $S_{\text{с}}$ - мощность КЗ на шинах ЦП (40)

$$Z_c = \frac{10^2}{40} = 2,5 \text{ Ом}$$

$$Z_{\text{л}} = \sqrt{(5,24 \cdot 1,951)^2 + (5,24 \cdot 0,405)^2} = 10,44 \text{ Ом}$$

- для самой удаленной точки

$$I_{\text{кз}}^{(3)} = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3} \cdot Z_m} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot (10,44 + 2,5)} = 460,4 \text{ А}$$

$$I_{\text{кз}}^{(2)} = 0,87 \cdot I_{\text{кз}}^{(3)} = 0,87 \cdot 460,4 = 400,5 \text{ А}$$

$$I_{\text{кз}}^{(3)} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot Z_c} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 2,5} = 2309 \text{ А}$$

- на шинах 10 кВ

Режим короткого замыкания в соответствии с первым допущением рассматривается как частный случай режима нагрузки, поэтому в расчетах используются законы Ома и Кирхгофа.

Защита сети от аварийных режимов

Сельские электрические сети напряжением 0,38 кВ работают с глухозаземленной нейтралью. Их выполняют, как правило, с воздушными четырехпроводными линиями электропередач, имеющими многократное заземление нулевого провода и зануление электрифицированного технологического оборудования потребителей.

К основным аппаратам защиты от междуфазным и однофазных КЗ на нулевой провод линий напряжением 0,38 кВ относят предохранители и автоматические выключатели.

Номинальное напряжение предохранителя $U_{\text{нп}}$ должно соответствовать напряжению сети $U_{\text{с}}$, а предельный ток отключения $I_{\text{пр}}$ должен быть больше максимального тока КЗ $I_{\text{кзmax}}^{(3)}$ в месте установки предохранителя.

Номинальный ток плавкой вставки $I_{\text{вн}}$ выбирают наибольшим исходя из следующих условий:

$$I_{\text{вн}} \geq I_{\text{раб.max}}$$

Выбранная вставка должна удовлетворять требованиям чувствительности, т.е. (1)

$$\frac{I_k^{(1)}}{I_{\text{нв}}} \geq 3$$

где $I_k^{(1)}$ - ток однофазного КЗ в наиболее удаленной точке линии.

Номинальное напряжение $U_{\text{нв}}$ и ток $I_{\text{нв}}$ автоматов должны соответствовать условиям нормального режима, т.е. $U_{\text{нв}} \geq U_{\text{с}}; I_{\text{нв}} \geq I_{\text{раб.мах}}$

Автоматы проверяют по условиям стойкости при КЗ, т.е. $I_{\text{ПКС}} \geq I_{\text{к мах}}^{(3)}$
или

$$i_{\text{ПКС}} \geq i_{\text{у мах}}^{(3)}; i_{\text{дин}} \geq i_{\text{у мах}}^{(3)}; I_T^2 t > \text{Вк} \approx 0,1 \left(I_{\text{к мах}}^{(3)} \right)^2$$

где $I_{\text{ПКС}}$ и $i_{\text{ПКС}}$ - действующие и амплитудное значение токов предельной коммутационной стойкости;

$i_{\text{дин}}$ и $i_{\text{у мах}}^{(3)}$ ток электродинамической стойкости автомата и ударный ток КЗ;

I_T и t - ток и время термической стойкости;

Вк- интеграл Джоуля.

Номинальный ток теплового расцепителя $I_{\text{н.расц}} \geq I_{\text{р.мах}}$; выбранные предохранители и автоматы должны быть проверены с предыдущей и последующей защитами.

Выбираем оборудование для схемы трансформаторной подстанции:

Разъединитель РВ, $I_{\text{н}}=400\text{А}$, амплитуда предельного сквозного тока - 41 кА, предельный ток термической устойчивости в течении 4с - 16 кА.

$$i_{\text{у мах}}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 460,4 = 1172 \text{ А}$$

$$I_T^2 t > \text{Вк} \approx 0,1 \left(I_{\text{к мах}}^{(3)} \right)^2$$

$$16^2 \cdot 4 > 0,1(460,4)^2$$

Разрядник РВО-10

Предохранители ПКТ 101 -10, номинальный ток 2-31,5 А, в нашем случае эти предохранители подходят.

Выключатель-ВБЭС21-10-20/1600, номинальный ток - 1000 А.

Автоматический выключатель на линии АЕ2050М, номинальный ток расцепителя - 100 А, (требуется 85).

Оборудование для трансформаторной подстанции выбрано.

Для сети 10 кВ выбираем вакуумный выключатель ВБКЭ-10; номинальный ток - 630 А, ток отсечки - 20;31,5А, ток термической стойкости - 20;31,5 кА (Зсек), ток динамической стойкости - 20;31,5 кА

$$3 \cdot 31,5^2 > 0,1(460,4)^2$$

условие выполняется.

Максимальную токовую защиту (МТЗ) относят к токовым защитам, реагирующим на величину тока в защищаемом элементе и приходящем в действие, если ток превысил некоторое заранее установленное значение. Возрастание тока по сравнению с его значением в нормальном режиме работы системы электроснабжения - характерный признак коротких замыканий.

Основные параметры МТЗ: ток срабатывания и время срабатывания (выдержка времени). Кроме того, защита должна обладать требуемой чувствительностью, описываемой коэффициентом чувствительности.

Токовое измерительное реле защиты не должно срабатывать в рабочем режиме, в том числе и в режиме длительных допустимых перегрузок.

Чувствительность защиты оценивают коэффициентом чувствительности, представляющим собой отношение минимального тока КЗ в конце защищаемой зоны, к току срабатывания защиты.

Для основной зоны обязательное значение коэффициента чувствительности $k_q > 1,5$, а для зоны резервирования - $k_q \geq 1,2$

$$I_{k \min} = 116,2$$

$$I_{сз} \geq \frac{k_H k_{сзп}}{k_B} I_{раб. max}$$

$$I_{сз} \geq \frac{1,2 \cdot 1,3 \cdot 25}{0,65} = 60 \text{ А}$$

$$n_{T/T} = \frac{60}{5}$$

$$I_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{сз}}}{n_{T/T}} = 5 \text{ A}$$

$$I_{\text{сз}} = \frac{I_{\text{ср}}}{k_{\text{с.х.}}^{(3)}} n_{T/T} = \frac{5 \cdot 12}{1} = 60 \text{ A}$$

$$k_{\text{ч.осн.}} = \frac{I_{\text{к}}}{I_{\text{сз}}} = \frac{116,2 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}}{60} = 1,67 > 1,5$$

$$k_{\text{ч.рез.}} = \frac{93 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}}{60} = 1,34 > 1,2$$

общую оценку МТЗ проводят с учетом основных требований: селективности, чувствительности, быстродействия и надежности функционирования.

Расчет заземления ТП

Для трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ при использовании заземляющего устройства одновременно для электроустановок высшего и низшего напряжений сопротивление заземляющего устройства должно быть в пределах:

$$10 \text{ Ом} \geq R_3 \geq \frac{125}{I_3}$$

Удельное сопротивление грунта - $0,6 \cdot 10^4$ Ом см.

В качестве заземлителей используют угловую сталь 50/50/4 длиной 2,5м, заземлители углублены на 0,7м и связаны полосой 40×4.

$$R = \frac{0,16 \cdot \rho}{l} \left(\ln \frac{2,1 \cdot l}{b} + \frac{1}{2} \ln \frac{4h_{\text{ср}} + l}{4h_{\text{ср}} - l} \right)$$

$$\rho = k \cdot \rho_T = 1,2 \cdot 10^4$$

$$R = \frac{0,16 \cdot 1,2 \cdot 10^4}{250} \left(\ln \frac{2,1 \cdot 250}{5} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 160 + 250}{4 \cdot 160 - 250} \right) = 39 \text{ Ом}$$

$$R = \frac{0,16 \cdot \rho}{l} \ln \frac{2 \cdot l^2}{b \cdot h} = 3,4 \text{ Ом}$$

Затем определяют ориентировочное количество заземлителей для оценки значений коэффициентов экранирования.

$$n = \frac{R_3}{R_d} = 10 \text{ шт}$$

Отношение $\frac{a}{L} = \frac{7000}{10}$; $\frac{a}{L} = \frac{7}{2,5} = 2,8$

Из таблицы находим $\eta_3 = 0,75$

Уточнением количество $n' = \frac{n}{\eta_3} = 13,3 \approx 13$

$$\eta'_3 = 0,69$$

$$\frac{a}{L} = \frac{7000}{10}$$

для помещений $\eta_3 = 0,4$

$$R_{3y} = \frac{1}{\frac{\eta'_3 n'}{R_y} + \frac{R_{3.n.}}{R_n}} = 4 \text{ Ом}$$

Расчетное сопротивление заземляющего устройства 4 Ом.

Заключение

Согласно выполненным расчетам, максимальная расчетная нагрузка потребителей составляет 393,6 кВА. Электроснабжение села предполагается осуществить от трех трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ общей мощностью 420 кВА. Годовое потребление электроэнергии 904,4 тыс. кВт*ч потери электроэнергии в сети 0,38 кВ составляют 3,5% от полезно отпущенной электроэнергии.

Приложение 2

Технические характеристики аппаратов и нормативные данные

Таблица 1 - Коэффициент одновременности в сетях напряжением 0,38 кВ в зависимости от числа потребителей для различных объектов

Число потребителей	Жилые дома с нагрузкой на вводе		Жилые дома с электроплитами и водонагревателями	Производственные предприятия
	до 2 кВт на 1 дом	свыше 2 кВт на 1 дом		
2	0,76	0,75	0,73	0,85
3	0,66	0,64	0,62	0,80
5	0,55	0,53	0,50	0,75
10	0,44	0,42	0,38	0,65
20	0,37	0,34	0,29	0,55
50	0,30	0,27	0,22	0,47
100	0,26	0,24	0,17	0,4
200	0,24	0,20	0,15	0,35
500 и более	0,22	0,18	0,12	0,30

Таблица 2 - Добавка мощностей для суммирования нагрузок в сетях напряжением 0,38 кВ

Р	Рдоб	Р	Рдоб	Р	Рдоб	Р	Рдоб
0,2	+0,2	12,	+7,3	50	+34,0	170	+123
0,4	+0,3	14	+8,5	55	+37,5	180	+130
0,6	+0,4	16	+9,8	60	+41,0	190	+140
0,8	+0,5	18	+11,2	65	+44,5	200	+150
1,0	+0,6	20	+12,5	70	+48,0	210	+158
2,0	+1,2	22	+13,8	80	+55,0	220	+166
3,0	+1,8	24	+15,0	90	+62,0	230	+174
4,0	+2,4	26	+16,4	100	+69,	240	+182
5,0	+3,0	28	+17,7	110	+76	250	+190
6,0	+3,6	30	+19,0	120	+84	260	+198
7,0	+4,2	32	+20,4	130	+92	270	+206
8,0	+4,8	35	+22,8	140	+100	280	+214
9,0	+5,4	40	+26,5	150	+108	290	+222
10	+6,0	45	+30,2	160	+116	300	+230

Таблица 3 - Характеристики проводов воздушных линий

Сечение, мм ²	Марка А			Марка АС		
	Масса	Длит. ток.	Акт. сопр.	Масса	Длит. ток.	Акт. сопр.
	кг/км	А	Ом/км	кг/км	А	Ом/км
16	44	105	1.98	62	105	2.06
25	68	135	1.28	92	130	1.38
35	95	170	0.92	128	175	0.85
50	137	215	0.64	193	210	0.65
70	190	265	0.46	269	265	0.46
95	266	320	0.34	431	330	0.33
120	323	375	0.27	504	380	0.27
150	419	440	0.21	623	445	0.21
185	516	500	0.17	781	510	0.17

Таблица 4 - Индуктивные сопротивления воздушных линий, Ом/км

Сечение, мм ²	Марки А, АС			
	до 1 кВ	6-10 кВ	35 кВ	110 кВ
16	0.358	0.391	0.460	
25	0.345	0.377	0.446	
35	0.336	0.366	0.435	0.453
50	0.325	0.355	0.423	0.441
70	0.309	0.341	0.410	0.428
95	0.300	0.332	0.401	0.419
120	0.292	0.324	0.393	0.411
150	-	0.319	0.388	0.406
185	-	0.313	0.382	0.400

Таблица 5- Технические данные трансформаторов ТМ и ТМН

Номинальная мощность, кВА	Номинальное напряжение обмоток, кВ		Напряжение короткого замыкания, %	Ток холостого хода, %	Потери мощности			Сопротивление трансформатора, приведенное к напряжению 0,4 кВ ЗТ, Ом
	ВН	НН			холостого хода, кВт		краткого замыкания	
					уровень А	уровень Е		
25	6; 10	0,4	4,5/4,7	3,2	0,130	0,135	0,6/0,69	0,29/0,3
40	6; 10	0,4	4,5/4,7	3,0	0,175	0,19	0,88/1,0	0,18/0,188
63	6; 10	0,4	4,5/4,7	2,8	0,240	0,265	1,28/1,47	0,115/0,119
	20	0,4	5,3	2,8	0,265	-	1,28	0,126
100	6; 10	0,4	4,5/4,7	2,6	0,33	0,365	1,97/2,27	0,072/0,075
	20; 35	0,4	6,5/6,8	2,6	0,42	0,465	1,97/2,27	0,104/0,106
160	6; 10	0,4	4,5/4,7	2,4	0,51	0,565	2,65/3,1	0,045/0,047
	20; 35	0,4	6,5/6,8	2,4	0,62	0,7	2,65/3,1	0,065/0,067
250	6; 10	0,4	4,5/4,7	2,3	0,74	0,82	3,7/4,2	0,029/0,030
	20; 35	0,4	6,5/6,8	2,3	0,9	1,0	3,7/4,2	0,042/0,043
400	6; 10	0,4	4,5/-	2,1	0,95	1,05	5,5/-	0,18/-
	20; 35	0,4	6,5/-	2,1	1,2	1,35	5,5/-	0,026/-
630	6; 10	0,4	5,5/-	2,0	1,31	1,56	7,6/-	0,014/-
	20; 35	0,4	6,5/-	2,0	1,6	1,9	7,6/-	0,0165/-
630	20; 35	10,5/11	6,5/-	2,0	1,6	1,9	7,6	
1000	20; 35	10,5/11	6,5	1,5	2,35	2,75	11,6	
1600	20; 35	10,5/11	6,5	1,4	3,1	3,65	16,5	
2500	20; 35	10,5/11	6,5	1,1	4,35	5,1	23,5	
4000	20; 35	10,5/11	7,5	1,0	5,7	6,7	33,5	
6300	20; 35	10,5/11	7,5	0,9	8,0	9,4	46,5	

Таблица 6 - Номинальные токи плавких вставок предохранителей, рекомендуемых для защиты трансформаторов 6...20/0,4 кВ

Номинальная мощность трансформатора, кВА	Номинальный ток (А) трансформатора на стороне			Номинальный ток плавкой вставки предохранителя, А		
	6 кВ	10 кВ	20 кВ	6 кВ	10 кВ	20 кВ
25	2,40	1,44	-	8	5	-
40	3,83	2,31	-	10	8	-
63	6,06	3,64	1,82	16	10	5
100	9,62	5,77	2,90	20	16	8
160	15,4	9,25	4,63	32	20	16
250	24,0	14,5	7,25	50	40(32)	20
400	38,6	23,1	11,55	80	50	32
630	60,5	36,4	18,2	160	80	40

Таблица 7 - Разъединители наружной установки

Тип	Амплитуда сквозного тока, кА	Ток термической стойкости, кА	Тип провода
РЛНДА-10/200	20	8	ПРН-10М
РЛНДА-1-10/200	20	8	ПРНЗ-10
РЛНДА-10/400	25	10	ПРН-10М
РЛНДА-1-10/400	25	10	ПРНЗ-10
РЛНД-10/400	25	10	ПРН-10М
РЛНД-1-10/400	25	10	ПРНЗ-10
РЛНДА-10/630	35,5	12,5	ПРН-10
РЛНДА-1-10/630	35,5	12,5	ПРНЗ-10
РЛНД-10/630	35,5	12,5	ПРН-10
РЛНД-1-10/630	35,5	12,5	ПРНЗ-10
РОК-10К/4000	250	90	ПЧН
РОК-10К/5000	180	71	ПЧН
ЗРН-20/200	23	5	ПРНУ
ЗРН-20/400	23	5	ПРНУ
РНД(З)-35/1000	64	25	ПР-90
РНД(З)-35Б/1000	64	25	ПВН-20 (ПРН-110В)
РНД(З)-35/2000	84	31,5	ПР-У1
РНД(З)-35Б/2000	84	31,5	ПВН-20 (ПРН-110В)
РНД(З)-35/3200	128	50	ПР-90
РНД(З)-35У/1000	64	25	ПР-90
РНД(З)-35У/2000	84	31,5	ПР-90

ПРИМЕЧАНИЯ. Обозначения типа разъединителя - буквенная часть: Р- разъединитель, В- внутренней установки или вертикальный (типа РНВ), Н- наружной установки, Л - линейный, О - однополюсный, Д - двухколонковый, З - заземляющим ножом (в скобках - возможность варианта без заземляющего ножа), К- коробчатого профиля, М - модернизированный, П - наличие рычажной передачи для уменьшения момента на валу привода или подвесное исполнение, А - алюминиевый нож, У - усиленный вариант исполнения изоляции, Б - исполнение с увеличенным расстоянием между полюсами.

Таблица 8 - Технические характеристики автоматических выключателей

Тип автомата.	Номинальный ток автомата, А.	Число полюсов.	Вид расцепителя	Номинальный ток расцепителя, А	Обозначение типа	Отсечка
АП-50	50	3	Комбинированный	1,6 2,5 4 6,4 10 16 25 40 50	АП-50-3МТ	11 $I_{ном}$.
A3160	50	3	Тепловой	15 20 25 30 40 50	A3163	-
A3110	100	3	Комбинированный	15 20 30 40 50 60 80 100	A3114/1	10 $I_{ном}$
A3120	100	3	Комбинированный	15 20 25 30 40 50 60 80 100	A3124	430 600 800
A3130	200	3	Комбинированный	120 150 200	A3134	7 $I_{ном}$
A3140	600	3	Комбинированный	250 300 400 500 600	A3144	7 $I_{ном}$
AE2030	25	3	Комбинированный	0,6 0,8 1 1,25 1,6 2 2,5 3,2 4 5 6 8 10 12,5 16 20 25	AE2036	12 $I_{ном}$
AE2040	63	3	Комбинированный	10 12,5 16 20 25 32 40 50 63	AE2046	12 $I_{ном}$
AE2050	100	3	Комбинированный	16 20 25 32 40 50 63 80 100	AE2056	12 $I_{ном}$
A3710	160	3	Комбинированный	16 20 25 32 40 50 63 80 100 125 160	A3716ф	1600
A3720	250	3	Комбинированный	160 200 250	A3726ф	2500
A3730	400	3	Комбинированный	250 320 400	A3736ф	4000
A3740	630	3	Комбинированный	400 500 630	A3746ф	6300

Учебное издание

Никитин Антон Михайлович

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ И РЕЖИМЫ

Учебно-методическое пособие

по выполнению курсовой работы для студентов направления подготовки

13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника

Редактор Осипова Е.Н.

Подписано к печати 19.06.2023 г. Формат 60x84¹/₁₆.

Бумага офсетная. Усл. п. л. 3,83. Тираж 25 экз. Изд. № 7551.

Издательство Брянского государственного аграрного университета
243365 Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянский ГАУ