

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНЖЕНЕРНЫЙ ИНСТИТУТ

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ

Методические указания
для самостоятельной работы, выполнения
практических занятий и курсовой работы

Новосибирск 2022

Кафедра техносферной безопасности и электротехнологий

Составитель канд. техн. наук, доц. *Н.П. Гужов*

Рецензент

Электроснабжение: метод. указания для самост. работы, выполнения практических занятий и курсовой работы /Новосиб. гос. аграр. ун-т, Инженер.ин-т; сост. Н.П. Гужов. – Новосибирск, 2022. – 32 с.

Методические указания предназначены для самостоятельного изучения дисциплины студентами очной и заочной форм обучения по направлению подготовки 35.03.06 – Агроинженерия, профиль «Электрооборудование и электротехнологии в агропромышленном комплексе». Приведены задания и методические указания по выполнению практических занятий и курсовой работы по электроснабжению фрагмента населенного пункта сельскохозяйственного района, представлена справочная информация по расчету электрических нагрузок, выбору сечения проводников линий электропередачи, мощности трансформаторов и электрических аппаратов.

Утверждены и рекомендованы к изданию методической комиссией Инженерного института (протокол № __ от _____ 2022 г.).

© Новосибирский государственный аграрный университет, 2022

© Инженерный институт, 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОМУ ИЗУЧЕНИЮ ТЕМ И РАЗДЕЛОВ КУРСА.....	5
1.1. Цель и задачи курса	5
1.2. Общие методические рекомендации по изучению курса «Электроснабжение»	5
1.2.1. Постановка задачи.....	5
1.2.2. Схемные решения элементов системы электроснабжения	6
1.2.3. Электрические нагрузки	6
1.2.4. Выбор и проверка элементов системы электроснабжения	7
1.2.5. Компенсация реактивной мощности	8
1.2.6. Качество электрической энергии.....	9
1.2.7. Регулирование напряжения в электрических сетях.....	9
1.2.8. Защита и автоматика в системах электроснабжения.....	9
1.2.9. Эксплуатация систем электроснабжения с/х районов.....	10
2. ЗАДАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ.....	11
2.1. Задание для практических занятий	11
2.2. Методические рекомендации и справочная информация	11
3. ЗАДАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ	20
3.1. Задание на курсовую работу.....	20
3.2. Содержание и объем работы.....	20
3.3. Методические указания по выполнению курсовой работы.....	21
3.3.1. Обоснование схемы электрической сети	21
3.3.2. Расчет электрических нагрузок.....	21
3.3.3. Расчет электрической сети	24
3.3.4. Проверка элементов электрической сети на действия тока короткого замыкания.....	27
3.4. Вопросы по защите курсовой работы.....	28
4. ВОПРОСЫ ДЛЯ ЭКЗАМЕНА (в форме собеседования).....	30
Библиографический список	31
Приложение.....	32

ВВЕДЕНИЕ

Электроснабжение – это процесс производства, преобразования, передачи и распределения электрической энергии среди электроприемников в электрифицированной жизнедеятельности человека, т.е. по сути это процесс обеспечения электроприемников электрической энергией. Получая электрическую энергию, электроприемники преобразуют её в другие виды (механическую, тепловую, лучистую и т.д.). В настоящее время, когда электрическая энергия проникла во все сферы жизни человека и появилась потребность в огромных её количествах, в большинстве случаев её производство осуществляется централизованно – электроэнергетической системой. В этих условиях задача электроснабжения – передача, преобразование и распределение электрической энергии, которая реализуется так называемой системой электроснабжения.

Указанная сфера деятельности человека – производство электрической энергии на промышленной основе (в электроэнергетических системах) и доведение её до электроприемников системами электроснабжения – относится к электроэнергетике, объединяющей различные формы собственности технических средств. Несмотря на многообразие систем электроснабжения, можно сформировать понятие некоторой типовой структуры системы электроснабжения, имеющей наибольшее распространение в жизни.

В решении вопросов электроснабжения, естественно, необходимо учитывать особенности потребителя как совокупности электроприемников: надежность его электроснабжения, территориальное расположение и плотность электрических нагрузок, технологические взаимосвязи между электроприемниками. При этом важное значение имеет оценка расчетных электрических нагрузок, которые определяют мощности элементов системы электроснабжения.

В итоге изучения курса «Электроснабжение» необходимо

знать:

- основные требования ГОСТов, ПУЭ, нормативных и руководящих материалов по проектированию систем электроснабжения;
- особенности систем электроснабжения сельскохозяйственных районов;
- современные методы расчетов электрических сетей с учетом технических требований и экономического обоснования;
- устройство высоковольтного и низковольтного электротехнического оборудования;
- методы расчета токов коротких замыканий и проверки элементов систем электроснабжения на термическую и динамическую устойчивость.

Уметь:

- оценивать электрические нагрузки на элементы электрических сетей;
- производить диагностику аварийных ситуаций;
- выбирать элементы электрических сетей в соответствии с требованиями ПУЭ и нормативной документации;
- управлять режимами работы системы электроснабжения с целью улучшения качества электроэнергии и повышения технико-экономических показателей.

Владеть:

- современными технологиями проектирования и монтажа систем электроснабжения сельскохозяйственных районов.

1. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОМУ ИЗУЧЕНИЮ ТЕМ И РАЗДЕЛОВ КУРСА

1.1. Цель и задачи курса

Дисциплина ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ предназначена для того, чтобы дать будущим бакалаврам знания по методике исследования, расчета и практическому применению теоретических основ системы электроснабжения сельскохозяйственных потребителей.

В соответствии с назначением основной целью дисциплины является формирование у будущих бакалавров системы знаний и практических навыков для решения профессиональных задач электроснабжения сельского хозяйства.

Исходя из цели, в процессе изучения дисциплины решаются следующие задачи:

- Освоение современных методов проектирования систем электроснабжения сельскохозяйственных объектов;
- Знакомство с конструкциями элементов систем электроснабжения сельского хозяйства и принципами их монтажа;
- Изучение основ эксплуатации сельских электрических сетей напряжением 0,38 – 110 кВ.

1.2. Общие методические рекомендации по изучению курса «Электроснабжение»

1.2.1. Постановка задачи

Необходимо ознакомиться с задачами электрификации и электроснабжения, рассмотреть особенность электроснабжения сельскохозяйственных районов России. При этом затрагиваются такие понятия как электроприемники и потребители электрической энергии, изучить их классификацию.

Необходимо рассмотреть обобщенную структуру системы электроснабжения: центр электрического питания (ГПП, ЦРП); высоковольтная распределительная сеть; трансформаторные подстанции 10/0,4 кВ; низковольтная распределительная сеть.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое приемник и потребитель электрической энергии?
2. Что понимается под электрификацией жизнедеятельности человека?
3. Как классифицируются потребители электроэнергии по надежности электроснабжения?
4. Чем обосновано деление электроприемников по напряжению до и свыше 1000 В?
5. Какие бывают режимы работы электроприемников?
6. Что характеризует коэффициент продолжительности включения?
7. Что такое электропривод с точки зрения приемника электрической энергии?
8. Что такое система электроснабжения?
9. Что такое граница раздела балансовой принадлежности электрических сетей?
10. Что такое центр электропитания систем электроснабжения?

11. Приведите классификацию центров электропитания и покажите их связь с напряжением питающих сетей.

12. Перечислите основные структурные части системы электроснабжения предприятия.

13. Какова роль распределительных пунктов в распределительных сетях системы электроснабжения?

1.2.2. Схемные решения элементов системы электроснабжения

Изучить принципы построения принципиальных схем структурных частей системы электроснабжения: центр электрического питания (ГПП, ЦРП); высоковольтная распределительная сеть; трансформаторные подстанции 10/0,4 кВ; низковольтная распределительная сеть.

Проанализировать типовые схемные решения указанных структур, рассмотреть их особенности и конструктивное исполнение.

Вопросы для самопроверки

1. Укажите все возможные схемы распределительного устройства высокого напряжения главных понизительных подстанций.

2. Когда применяется глухое подключение питающей линии к силовому трансформатору ТП 10/0,4 кВ?

3. Какие бывают схемы распределительного устройства высокого напряжения ТП 10/0,4 кВ?

4. Какой способ размещения трансформаторных подстанций является наиболее экономичным?

5. Чем отличается схема электрической сети с двусторонним питанием от кольцевой схемы?

6. В чем заключаются основные особенности радиальных схем электрических сетей систем электроснабжения в отличие от магистральных?

7. В чем состоит назначение распределительных пунктов низковольтных распределительных сетей?

8. Перечислите типовые схемы распределительных сетей.

9. Перечислите виды конструктивной реализации кабельных линий.

10. Перечислите виды конструктивной реализации линий электропередачи до 1000 В.

11. Из каких структурных частей состоит трансформаторная подстанция?

12. Какие виды комплектного оборудования используются для реализации распределительных устройств напряжением 10 кВ?

1.2.3. Электрические нагрузки

Ознакомиться с понятием электрической нагрузки и расчетной нагрузки. Рассмотреть расчетную нагрузку как эквивалентную по нагреву. Ознакомиться с методами определения расчетной нагрузки, проанализировать особенности оценки расчетной нагрузки для сельскохозяйственных районов.

Рассмотреть принципы построения графиков электрической нагрузки, ознакомиться с численной оценкой их характеристик.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое электрическая нагрузка?
2. В чем заключается понятие расчетной нагрузки?
3. Что такое принцип максимума средней нагрузки?
4. Назовите три вида допустимой температуры перегрева элемента электрической сети.
5. В чем заключается физический смысл постоянной времени нагрева элемента электрической сети?
6. Какие величины электрической нагрузки являются расчетными для проводников и трансформаторов?
7. Перечислите методы оценки расчетной нагрузки и дайте их краткую характеристику.
8. Представление электрической нагрузки графиком, его числовые характеристики.

1.2.4. Выбор и проверка элементов системы электроснабжения

Изучить вопросы связанные с выбором сечения проводников линий электропередачи по: допустимому току, экономической плотности тока, допустимой потере напряжения, механической прочности, потере на корону. Рассмотреть принципы оценки мощности трансформаторов и критерии выбора электрических аппаратов. Изучить методику проверки оборудования электрических сетей на термическое и электродинамическое действия токов коротких замыканий.

Вопросы для самопроверки

1. Чем определяется количество трансформаторов на подстанциях?
2. Поясните физический смысл перегрузочной способности трансформаторов.
3. Как определяется наилучшее место установки подстанции на территории потребителя?
4. Что понимается под номинальной мощностью трансформатора?
5. Перечислите критерии выбора сечения линии электропередачи исходя из условий нормального режима работы.
6. Чем определяется допустимая токовая нагрузка на линию электропередачи?
7. Чем обоснован критерий выбора сечения линии электропередачи по допустимой потере напряжения?
8. Чем обоснован критерий выбора сечения линии электропередачи по экономической плотности тока?
9. Как влияет способ прокладки проводника на его длительно допустимый ток?
10. Что такое электрический аппарат?
11. В чем состоит функциональное назначение автоматического выключателя, предохранителя, рубильника?
12. В чем заключаются особенности применения автоматических выключателей вместо предохранителей?

13. Перечислите условия выбора электрических аппаратов.
14. Поясните смысл времятоковых характеристик защитных аппаратов.
15. В чем состоит принципиальное отличие автоматических выключателей от неавтоматических?
16. В чем состоят основные причины возникновения коротких замыканий?
17. Какие существуют виды коротких замыканий?
18. В чем заключается термическое действие тока короткого замыкания на элемент электрической сети?
19. В чем заключается электродинамическое действие тока короткого замыкания на элемент электрической сети?
20. Что является критерием проверки элементов электрических сетей на термическую стойкость?
21. Что является критерием проверки элементов электрических сетей на электродинамическую стойкость?
22. Что является расчетной точкой и какой вид короткого замыкания принимается при проверке элементов электрических сетей на термическую и электродинамическую устойчивость?
23. Для решения каких задач рассчитываются токи однофазных коротких замыканий в электрических сетях до 1000 В?
24. В чем заключаются принципы проверки элементов электрических сетей на термическую и электродинамическую устойчивость?

1.2.5. Компенсация реактивной мощности

Рассмотреть понятие реактивной мощности (энергии), её природу, что является потребителем и источником реактивной мощности. Изучить схемы и конструкции источников реактивной мощности. Рассмотреть принципы решения задачи компенсации реактивной мощности при присоединении потребителя к энергоснабжающей организации.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое реактивная мощность, в чем состоит ее физический смысл?
2. В чем состоит принципиальное отличие реактивной энергии от активной?
3. Поясните понятия выработки и потребления реактивной энергии.
4. Какие физические устройства являются потребителями реактивной энергии?
5. Перечислите источники реактивной энергии и дайте их сравнительную характеристику.
6. В чем состоит смысл компенсации реактивной мощности?
7. Поясните преимущества и недостатки индивидуальной компенсации реактивной мощности.
8. Поясните принцип решения задачи компенсации реактивной мощности в системе электроснабжения.
9. Почему в конденсаторных установках конденсаторы соединяются по схеме «треугольник», а не «звезда»?
10. С какой целью выполняется регулирование мощности компенсирующих устройств?

1.2.6. Качество электрической энергии

Ознакомиться с понятием качества электрической энергии, свойствами напряжения, определяющие её качество. Изучить показатели качества электрической энергии в соответствии с ГОСТ 32144-2013: отклонение и колебание напряжения; несинусоидальность напряжения; несимметрия трехфазных напряжений; отклонение частоты. Проанализировать причины ухудшения качества электроэнергии и пути его улучшения.

Вопросы для самопроверки

2. В чем состоят качественные свойства электрической энергии?
3. Чем характеризуется электромагнитная совместимость системы электроснабжения с электрифицированным технологическим процессом?
4. В каких узлах электрической сети оценивается качество электрической энергии?
5. В виде каких значений оцениваются показатели качества электрической энергии?
6. Перечислите показатели качества электрической энергии.
7. Каковы допустимые и предельно допустимые отклонения напряжения?
8. Каковы допустимые и предельно допустимые значения коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения?
9. Какими параметрами характеризуется степень несимметрии трехфазной системы напряжений и каковы их допустимые и предельно допустимые значения?
10. Что такое доза фликера?
11. Чем отличаются провал и импульс напряжения от отклонения напряжения?

1.2.7. Регулирование напряжения в электрических сетях

Изучить технические средства регулирования напряжения и принципы их использования в электрических сетях сельскохозяйственных районов. Проанализировать методы регулирования напряжения.

Вопросы для самопроверки

1. Каковы принципы расчета режима электрической сети по напряжению?
2. Каковы причины, приводящие к отклонению напряжения в узле электрической нагрузки?
3. Назовите технические средства регулирования напряжения в системах электроснабжения.
4. Поясните смысл местного и централизованного регулирования напряжения в системах электроснабжения.
5. Что такое РПН и ПБВ, в чем их различие и какую функцию они выполняют?

1.2.8. Защита и автоматика в системах электроснабжения

Ознакомиться с назначением релейной защиты и автоматики в системах электроснабжения. Изучить принципы выбора трансформаторов тока и трансформаторов напряжения. Изучить защиту линий электропередачи и трансформаторов, защиту электрических сетей до 1000 В.

Вопросы для самопроверки

1. Каково назначение релейной защиты и автоматики в системах электроснабжения?
2. Как выбираются трансформаторы тока и трансформаторы напряжения, их назначение.
3. Каковы причины возникновения режимов перегрузки и коротких замыканий систем электроснабжения?
4. Как защищаются трансформаторы напряжением 10/0,4 кВв системах электроснабжения от ненормальных режимов?
5. Назначение и защитная характеристика максимально-токовой защиты (МТЗ).
6. Пояснить принцип работы МТЗ по принципиальной схеме.
7. Назначение и защитная характеристика токовой отсечки (ТО).
6. Пояснить принцип работы ТО по принципиальной схеме.
7. Как реализуется защита от ненормальных режимов в сетях напряжением до 1000 В?

1.2.9. Эксплуатация систем электроснабжения с/х районов

Каковы цели и задачи эксплуатации систем электроснабжения? Назначение и проведение планово-предупредительных ремонтов. Рассмотреть технические средства и методы диагностики элементов электрических сетей.

Вопросы для самопроверки

1. Какова цель эксплуатации системы электроснабжения?
2. Что такое планово-предупредительные ремонты и каково их назначение?
3. Дать характеристику техническим средствам диагностики элементов электрических сетей.

2. ЗАДАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

2.1. Задание для практических занятий

Для заданного фрагмента схемы электроснабжения (рис. 2.1) ремонтно-механических мастерских рассчитать и выбрать следующие элементы:

1. Сечение провода воздушной линии ВЛ-10 (отпайка от существующей ВЛЭП-10);
2. Сечения жил кабельных линий Л1 и Л2;
3. Сечение проводки в трубе (Л3);
4. Разъединители QS1 и QS2;
5. Предохранитель FU;
6. Трансформатор Т;
7. Автоматические выключатели QF2, QF3, QF4, QF5.
8. Необходимо кратко описать особенности схемы.

Задано:

1. Электрические нагрузки:
 ТП – $P_{ТП}=150$ кВт, $Q_{ТП}=90$ квар;
 РП1 – $P_1=50$ кВт, $Q_1=30$ квар;
 РП2 – $P_2=40$ кВт, $Q_2=25$ квар;
 станок (АД) – $P_{АД}=10$ кВт,
 $\cos\varphi=0,7$.
2. Длины линий: Л1 – 30 м; Л2 – 20 м; Л3 – 10 м.

ВЛ-10 существующая

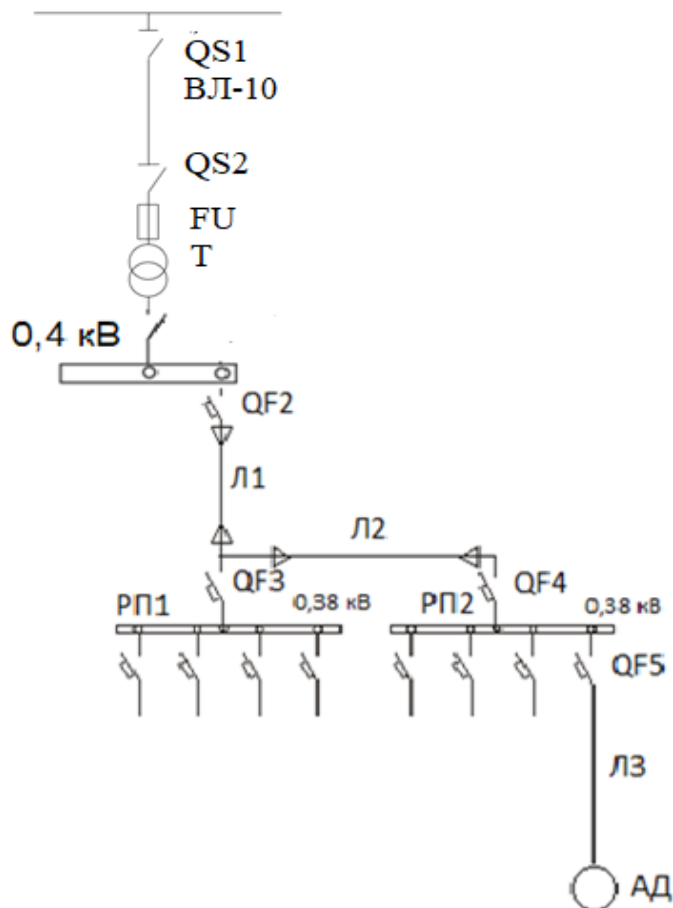


Рис. 2.1. Схема электроснабжения

2.2. Методические рекомендации и справочная информация

2.2.1. Выбор мощности трансформатора

Для однитрансформаторных подстанций номинальная мощность трансформатора оценивается по условию

$$S_{нт} > S_p,$$

где S_p – расчетная нагрузка.

$$S_p = S_{ТП} = \sqrt{P_{ТП}^2 + Q_{ТП}^2}.$$

Трансформатор выбрать из табл. 2.1 и выписать его электротехнические параметры.

Таблица 2.1

ТИП ТРАНСФОРМА- ТОРА	СОЧЕ- ТАНИЕ НАПРЯЖЕ- НИЯ	СХЕМА И ГРУППА СОЕДИНЕ- НИЯ	УСТАНО- ВОЧНЫЕ РАЗМЕРЫ, МхК, мм	ПОТЕРИ КОРТОК- ГО ЗАМЫ- КАНИЯ, кВт	НАПРЯЖЕ- НИЕ КО- РОТКОГО ЗАМЫКА- НИЯ, %	ТОК ХО- ЛОСТОГО ХОДА, %	РАЗМЕРЫ, мм				МАССА, кг
							L	B	H	C	
ТМ-63/10У1*	6/0,4 10/0,4	У/Ун-0 Д/Ун-11	400х350	1,28 1,46	4,5	2,4	1036	490	1125	800	500
ТМ-100/10У1	6/0,4 10/0,4	У/Ун-0 Д/Ун-11	550х550	1,97 2,2	4,5	2,5	1040	831	1200	804	700
ТМ-160/10У1	6/0,4 10/0,4	У/Ун-0 Д/Ун-11	550х550	2,65 3,1	4,5	2,0	1150	831	1311	914	880
ТМ-250/10У1	6/0,4 10/0,4	У/Ун-0 Д/Ун-11	550х550	3,7 4,2	4,5	1,9	1150	756	1620	1139	1200
ТМ-400/10У1	6/0,4 10/0,4	У/Ун-0 Д/Ун-11	660х660	5,5 5,9	4,5	1,8	1233	892	1630	1080	1500
ТМ-630/10У1	6/0,4 10/0,4	У/Ун-0 Д/Ун-11	660х660	8,1	5,5	1,5	1650	1160	1770	1315	2100

2.2.2. Выбор сечения проводников ЛЭП

Выбор сечения проводов и кабелей, исходя из условия нормального режима работы, производится:

а) по наибольшему длительно допустимому току (I_D) нагрузки по условиям нагрева $I_p < I_D$ (этот критерий применяется для всех линий);

Для проводов воздушной линии информацию взять из табл. 2.2, а для кабельной – из табл. 2.3.

Таблица 2.2

Допустимый длительный ток (I_D) для неизолированных проводов

Номинально е сечение, мм ²	Сечение (алюминий / сталь), мм ²	Ток, А, для проводов марок					
		АС, АСКС, АСК, АСКП		М	А и АКП	М	А и АКП
		вне помещений	внутри помещений	вне помещений	внутри помещений		
10	10/1,8	84	53	95	-	60	-
16	16/2,7	111	79	133	105	102	75
25	25/4,2	142	109	183	136	137	106
35	35/6,2	175	135	223	170	173	130
50	50/8	210	165	275	215	219	165
70	70/11	265	210	337	265	268	210

Расчетные нагрузки для линий равны

$$P_{Л2} = P_{РП2}, \quad Q_{Л2} = Q_{РП2},$$

$$P_{Л1} = K_0 \cdot (P_{РП1} + P_{РП2}), \quad Q_{Л1} = K_0 \cdot (Q_{РП1} + Q_{РП2}),$$

где K_0 – коэффициент одновременности (для двух составляющих равен 0,95).

Расчетный ток через элемент электрической сети рассчитывается по выражению (номинальные напряжения 10 кВ и 0,38 кВ)

$$I_p = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}}$$

Расчетная мощность для АД определяется по выражению

$$S_{\text{ад}} = P_{\text{н}} / (\eta \cdot \cos \varphi),$$

где η - коэффициент полезного действия асинхронного двигателя, принимаемый равным 0,9.

Таблица 2.3

Допустимые токовые нагрузки для Al проводов и кабелей с ПВХ изоляцией

Номинальное сечение жилы, мм ²	Допустимые токовые нагрузки, А					
	Одножильные				Многожильные ²	
	на постоянном токе		на переменном токе ¹		на переменном токе	
	в воздухе	в земле	в воздухе	в земле	в воздухе	в земле
2,5	30	32	22	30	21	28
4	40	41	30	39	29	37
6	51	52	37	48	37	44
10	69	68	50	63	50	59
16	93	83	68	82	67	77
25	117	159	92	106	87	102
35	143	192	113	127	106	123
50	176	229	139	150	126	143
70	223	282	176	184	161	178
95	275	339	217	221	197	214
120	320	388	253	252	229	244

б) по допустимой потере напряжения, она равна 5% (этот критерий применяется для линий Л1, Л2 и Л3);

Выбор сечения по данному критерию необходимо проводить тогда, когда сечения проводников для Л1, Л2 и Л3 предварительно выбраны по допустимому току.

Потеря напряжения для линий с подключенной в конце нагрузкой рассчитывается по выражению

$$\Delta U = \frac{PR + QX}{U^2 10} \%,$$

где P, Q – активная и реактивная составляющие электрической нагрузки, кВт, квар; R, X – активное и реактивное сопротивление линии, Ом; U – номинальное напряжение сети, кВ.

Активное и реактивное сопротивления линии определяются исходя из удельных сопротивлений r_0, x_0 и длины линии L по выражениям

$$R = r_0 \cdot L, \quad X = x_0 \cdot L,$$

где $x_0 = 0,06$ Ом/км, r_0 определяется по табл. 2.4 (взять для температуры окружающей среды 30 °С).

После расчета потерь напряжения для Л1, Л2 и Л3 определяется суммарная потеря напряжения

$$\Delta U_{\Sigma} = \Delta U_{\text{Л1}} + \Delta U_{\text{Л2}} + \Delta U_{\text{Л3}}.$$

Если суммарная потеря напряжения больше допустимой величины (5 %), то увеличиваются сечения линий до выполнения условия.

Таблица 2.4

Удельное активное сопротивление (Ом/км)

Сечение, мм ²	Активное для провода				
	медного			алюминиевого	
	Температура,				
	30	40	50	30	45
1,5	12,3	12,8	13,3	-	-
2,5	7,4	7,7	8	12,5	13,3
4	4,63	4,81	5	7,81	8,34
6	3,09	3,2	3,34	5,21	5,56
10	1,85	1,92	2	3,12	3,33
16	1,16	1,2	1,25	1,95	2,08
25	0,741	0,77	0,8	1,25	1,33
35	0,53	0,55	0,572	0,894	0,951
50	0,371	0,385	0,4	0,625	0,666
70	0,265	0,275	0,286	0,447	0,447
95	0,195	0,202	0,21	0,329	0,351
120	0,154	0,16	0,167	0,261	0,278

в) по экономической плотности тока (этот критерий применяется для линии ВЛ-10);

Экономическое сечение линии электропередачи определяется по выражению

$$S_э = \frac{I_p}{j_э},$$

где $j_э$ – экономическая плотность тока, нормируемые значения которой для алюминиевых проводов приведены в табл. 2.5. Число часов использования максимальной мощности принять $T_m = 5600$ часов.

Таблица 2.5

Экономическая плотность тока

T_m , ч	1000-3000	3000-5000	Более 5000
$j_э$, А/мм ²	1,3	1,1	1,0

г) по механической прочности. Для ВЛ-10 для Западной Сибири из условия механической прочности рекомендуется применять провод сечением не менее 35 мм².

С использованием перечисленных критериев для каждой линии могут быть получены разные значения сечений проводников. Для реализации окончательно принять наибольшее из них.

2.2.3. Выбор электрических аппаратов

На напряжении 10 кВ выбрать QS1, QS2, FU по следующим критериям:

- По номинальному напряжению

$$U_{ном. у} \leq U_{ном. а}$$

- По функциональному назначению (QS1 и QS2 – коммутационные, FU – защитный)
- Выбор по номинальному току

$$I_p \leq I_{ном. а}$$

- Предохранитель (как защитный аппарат) по номинальному току плавкой вставки $I_{н.в} > K_3 \cdot I_p$,
где $K_3 = 1,2 \div 1,3$ – коэффициент запаса.
Разъединители и предохранители выбрать на основе нижеприведенной информации (рис. 2.1, 2.2).



3.1. РАЗЪЕДИНИТЕЛЬ РЛНД-1-10/400-У1
(С ПРИВОДОМ ПР-1 ТИПА ПРНЗ)

Сертификат соответствия
№ РОСС RU.АЮ18.В01350
ГОСТ 689-83, ТУ 3414-010-00109719-98





НАЗНАЧЕНИЕ, ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ.

Разъединитель предназначен:

- для отключения и включения под напряжением участков электрической цепи высокого напряжения при отсутствии нагрузочного тока, а также заземления отключенных участков линии;
- для отключения и включения тока холостого хода трансформаторов.

Привод ПР-1 предназначен для ручного включения и отключения главных и заземляющих ножей разъединителей.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ	
НАИМЕНОВАНИЕ	ЗНАЧЕНИЕ
Номинальное напряжение, кВ	10
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	12
Номинальный ток, А	400
Ток термической стойкости, кА	10
Ток электродинамической стойкости, кА	25
Допустимая механическая нагрузка на выводы от присоединяемых проводов (с учетом ветровых нагрузок и образования льда), не менее, Н	200
Наибольшее усилие, прилагаемое к приводу (при длине рукоятки оперирования разъединителем не более 1,5 м), не более, Н	200
Температура окружающего воздуха	-45°C – +40°C
Скорость ветра с гололедом, не более, м/с	15
Скорость ветра без гололеда, не более, м/с	34
Толщина корки льда, не более, мм	10
Габаритные размеры, не более, мм (без привода)	450x395x1120
Масса, не более, кг	57

Рис. 2.1. Технические параметры разъединителя

Предохранители токоограничивающие для защиты трансформаторов и линий электропередачи от токов перегрузки и токов коротких замыканий.

НАИМЕНОВАНИЕ	ЗНАЧЕНИЕ
Ном. напряжение (наиб. рабочее напряжение), кВ	6,0/7,2; 10,0/12,0
Ном. ток предохранителя (ном. ток отключения), А/кА	5,0/20; 8,0/20; 10,0/20; 16,0/20; 20,0/20; 31,5/20; 40,0/31,5
ПКТ 101-6-У2	50,0/31,5; 80,0/31,5
ПКТ 103-6-У2	5,0/12,5; 8,0/12,5; 10,0/12,5; 16,0/12,5; 20,0/12,5; 31,5/12,5; 40,0/20,0
ПКТ 101-10-У2	50,0/20; 80,0/20
ПКТ 103-10-У2	50,0/20; 80,0/20

Рис. 2.2. Технические параметры предохранителя

На напряжении 0,38 кВ выбрать автоматы QF2, QF3, QF4, QF5 по следующим критериям:

- По номинальному напряжению
- По функциональному назначению (защитно-коммутационные аппараты)
- Выбор по номинальному току

$$U_{ном. у} \leq U_{ном. а}$$

$$I_p \leq I_{ном. а}$$

- Для адаптации защитной функции автомата необходимо выбрать номинальный ток теплового расцепителя

$$I_{нр} \geq K_3 \cdot I_p,$$

где $I_{нр}$ – номинальный ток теплового расцепителя, K_3 – коэффициент запаса, принимаемый равным $1,2 \div 1,3$.

Если окажется, что номинальный ток теплового расцепителя получился больше номинального тока автомата, то необходимо принять автомат с большим номинальным током.

Автоматы выбрать на основе информации, приведенной ниже. Для установки в РУ-0,4 кВ подстанции ориентироваться на автоматы серии ВА88 (рис. 2.3), а для установки в РП1 и РП1 ориентироваться на модульные автоматы ВА47-29 (автоматы QF3 и QF4 принять с характеристикой С), (рис. 2.4).

Технические характеристики

Наименование параметра	ВА88-32	ВА88-33	ВА88-35	ВА88-37	ВА88-40	ВА88-43
Максимальный номинальный ток (установочный габарит) $I_{нм}$, А	125	160	250	400	800	1600
Номинальный ток теплового расцепителя, А	12,5; 16; 20; 25; 32; 40	50; 63; 80; 100; 125	16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160	125; 160; 200; 250	250; 315; 400	400; 500; 630; 800
						800; 1000; 1250; 1600

Рис. 2.3. Технические характеристики автоматов серии ВА88

Автомат QF5 должен позволить, с одной стороны, осуществить пуск асинхронного электродвигателя, а с другой – обеспечить условия безопасности при пробое изоляции на корпус АД.

Для реализации первого условия необходимо рассчитать номинальный ток АД, на основе которого оценить пусковой ток, исходя из максимально возможной кратности пускового тока равной $K_{п} = 7$

$$I_{п} = K_{п} \cdot I_p.$$

Пусковой ток необходимо представить в виде кратности по отношению к номинальному току расцепителя автомата QF5, т.е. в виде $K_1 = I_{п} / I_{нр}$, и выбрать защитную характеристику автомата по рис. 3. При этом данная кратность должна быть меньше левой границы зоны уставки срабатывания электромагнитного расцепителя (табл. 2.6). Данное условие позволяет выбрать защитную характеристику автомата (В, С или D) с точки зрения уверенного пуска АД. Защитные характеристики автоматов ВА47-29 приведены в приложении.



- Автоматический выключатель для защиты электрических цепей от перегрузки и короткого замыкания
- Наибольшая отключающая способность 4,5 кА
- Около 200 типоразмеров на 18 номинальных токов от 0,5 до 63 А
- Пластины из серебросодержащего композита на неподвижных контактах
- Возможность монтажа дополнительных устройств
- Гарантия 3 года

Технические характеристики

Соответствуют стандартам	ГОСТ Р 50345-99, ТУ 2000 АГИЕ.641235.003
Номинальное напряжение частотой 50 Гц, В	230/400
Номинальный ток I_n , А	0,5; 1,6; 2,5; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 8; 10, 13; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63
Номинальная отключающая способность, А	4500
Напряжение постоянного тока, В/полюс	48
Характеристики срабатывания электромагнитного расцепителя	B, C, D

Рис. 2.4. Технические характеристики автоматов серии ВА47-29

Таблица 2.6

Уставки электромагнитного расцепителя автоматов ВА47-29

Тип защитной характеристики	Кратность уставки электромагнитного расцепителя	
	min	max
B	3	5
C	5	10
D	10	14

2.2.4. Проверка условия срабатывания защиты при однофазном коротком замыкании в сети до 1000 В

В соответствии с требованиями ПУЭ в электрических сетях напряжением до 1000 В с глухим заземлением нейтрали при коротком однофазном замыкании защитные аппараты должны надежно обеспечивать отключение. В этой связи рекомендуется групповую защиту электроприемников выполнять таким образом, чтобы обеспечивалось отключение группы при однофазных замыканиях в любом из присоединенных электроприемников. При этом время автоматического отключения не должно превышать 5 с. Это время определяется по защитной характеристике автомата при однофазном

коротком замыкании в наиболее удаленной точке электрической сети. Индивидуальная защита реализуется с помощью аппарата, к которому присоединяется идущая к электроприемнику линия (в данной работе это автомат QF₅), при этом время срабатывания защиты при однофазном коротком замыкании у электроприемника не должно превышать 0,4 с.

Для проверки условия срабатывания защиты ток однофазного короткого замыкания определяется приближенно по формуле:

$$I_K^{(1)} = \frac{U_\phi}{\frac{Z_T}{3} + Z_{II}},$$

где U_ϕ - фазное напряжение сети, В; $Z_T/3$ - полное сопротивление понижающего трансформатора в режиме однофазного короткого замыкания на корпус (Ом), значения которого приведены в табл. 2.7; Z_{II} - полное сопротивление петли фаза-нуль до АД (Ом), определяемое по выражению

$$Z_{II} = z_1 \cdot L_1 + z_2 \cdot L_2 + z_3 \cdot L_3,$$

где z_1, z_2, z_3 – удельные сопротивления для соответствующих сечений проводников и конструктивных реализаций линий, принимаемые по табл. 2.8 и табл. 2.9; L_1, L_2, L_3 – длины соответствующих линий.

После определения тока однофазного короткого замыкания у электроприемника, оценивается кратность этого тока к номинальному току теплового расцепителя автомата QF₅ по выражению

$$K = \frac{I_K^{(1)}}{I_{HP}}.$$

Если полученная по (10) кратность тока больше кратности правой границы зоны уставки электромагнитного расцепителя, определяемой защитной характеристикой автомата типа В, С или D (табл. 6, приложение), то условие срабатывания защиты выполнится, так как автомат отключит ток однофазного короткого замыкания за время не более 0,4 с. В противном случае необходимо увеличить сечения линий или использовать трансформатор с другой схемой соединения обмоток с целью увеличения тока однофазного короткого замыкания и выполнения условия срабатывания защиты.

Таблица 2.7

Расчетное сопротивление трансформаторов
при вторичном напряжении 400/230 В

Мощность трансформатора, кВ·А	Первичное напряжение, кВ	$Z_T/3$, Ом	
		Схема соединения трансформатора	
		Y/Y_0	$\Delta/Y_0, Y/Z_0$
63	6 – 10	0,412	0,12
100	6 – 10	0,259	0,0754
160	6 – 10	0,162	0,047
250	6 – 10	0,104	0,03

Таблица 2.8

Полное сопротивление петли фаза-нуль четырехжильного кабеля с алюминиевыми жилами и пластмассовой изоляцией, Ом/км

Сечение проводника, мм ²		Z _п , Ом/км	Сечение проводника, мм ²		Z _п , Ом/км
фазного	нулевого		фазного	нулевого	
2,5	2,5	29,64	50	50	1,48
4	2,5	24,08	70	35	1,59
4	4	18,52	70	50	1,27
6	4	15,43	70	70	1,06
6	6	12,34	95	50	1,13
10	6	9,88	95	70	0,92
10	10	7,41	95	95	0,78
16	10	5,92	120	50	1,05
16	16	4,43	120	70	0,84
25	10	5,19	120	95	0,7
25	16	3,7	150	70	0,82
25	25	2,96	150	95	0,67
35	16	3,35	150	120	0,52
35	25	2,54	185	70	0,59
35	35	2,12	185	95	0,53
50	25	2,22	185	120	0,51
50	35	1,8			

Таблица 2.9

Полное сопротивление петли фаза-нуль проводок, выполненных проводами с алюминиевыми жилами с пластмассовой изоляцией, проложенных в металлических трубах, Ом/км

Сечение жилы, мм ²		Наружный диаметр x толщина стальной трубы, мм					Сечение жилы, мм ²		Наружный диаметр x толщина стальной трубы, мм				
фазной	нулевой	20x1,6	26x1,8	32x2	47x2	59x2	фазной	нулевой	20x1,6	26x1,8	32x2	47x2	59x2
2,5	2,5	17,93	17,64	-	-	-	25	25	-	-	-	2,68	2,48
4	2,5	12,44	12,21	11,66	-	-	35	16	-	-	-	2,5	2,25
4	4	12,12	11,84	11,47	-	-	35	25	-	-	-	2,32	2,11
6	4	9,1	8,81	8,42	8,0	-	35	35	-	-	-	2,18	1,98
6	6	8,77	8,54	8,22	7,86	-	50	25	-	-	-	-	1,83
10	6	-	6,17	5,82	5,44	5,12	50	35	-	-	-	-	1,72
10	10	-	5,79	5,51	5,22	4,96	50	50	-	-	-	-	1,61
16	10	-	-	4,1	3,79	3,52	70	35	-	-	-	-	1,55
16	16	-	-	3,8	3,54	3,33	70	50	-	-	-	-	1,45
25	10	-	-	-	3,2	2,82	70	70	-	-	-	-	1,37
25	16	-	-	-	2,85	2,64							

3. ЗАДАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

3.1. Задание на курсовую работу

Электрифицированным объектом жизнедеятельности человека для реализации задачи курсовой работы является населенный пункт сельско-хозяйственного района, состоящего из определенного количества жилых домов одноэтажной застройки (ориентировочно 80-100 квартир), а также административных, бытовых, социально-культурных, детских учреждений и учреждений здравоохранения.

В качестве исходной информации студенты при консультации с преподавателем формируют ситуационный план объекта с экспликацией зданий и сооружений, указывают расчетные нагрузки (активные и реактивные) на вводе указанных потребителей. В целом объект является потребителем III категории по надежности электроснабжения.

Источником питания является проходящая на расстоянии 500-800 м от поселка воздушная линия электропередачи 10 кВ.

3.2. Содержание и объем работы

Расчетно-пояснительную записку курсовой работы объемом около 20-25 страниц целесообразно сформировать в виде следующего содержания:

ВВЕДЕНИЕ

В.1. Постановка задачи

В.2. Характеристика объекта и исходной информации

1. ПРОЕКТ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ 10 кВ

1.1. Обоснование схемы

1.2. Расчет электрических нагрузок

1.3. Расчет электрической сети

1.3.1. Выбор мощности трансформатора

1.3.2. Расчет сечения линии электропередачи

1.3.3. Выбор электрических аппаратов

1.4. Проверка элементов электрических сетей на действия токов короткого замыкания

1.5. Конструктивное исполнение

2. ПРОЕКТ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ 0,38 кВ

2.1. Обоснование схемы

2.2. Расчет электрических нагрузок

2.3. Расчет электрической сети

2.3.1. Расчет сечения линий электропередачи

2.3.2. Выбор электрических аппаратов

2.5. Конструктивное исполнение

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Список использованных источников

3.3. Методические указания по выполнению курсовой работы

3.3.1. Обоснование схемы электрической сети

Система электроснабжения – это совокупность электротехнических устройств (трансформаторов, электрических аппаратов, сборных шин, линий электропередачи), предназначенных для преобразования, передачи и распределения электрической энергии среди электроприемников электрифицированной жизнедеятельности человека. Приемникам электрической энергии и электрическим сетям в сельскохозяйственных районах присущи следующие особенности:

- разнообразие технологических процессов и режимов их работы;
- сезонность работы;
- существенное колебание нагрузок в течение как суток, так и года;
- при коротких замыканиях в сельских электрических сетях аварийные токи иногда мало отличаются от максимальных рабочих токов, что осложняет решение вопросов защиты;
- большая разветвленность сетей и передача по ним на значительные расстояния малых электрических мощностей.

В курсовой работе разрабатываются схемы распределительной сети до 1000 В, трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ и сети 10 кВ для передачи электроэнергии до этой подстанции от источника, которым является проходящая мимо поселка магистральная воздушная линия электропередачи напряжением 10 кВ.

Выбор схем электроснабжения потребителей сельскохозяйственных районов производится в зависимости от категории по надежности, территориального расположения, характера источников питания и перспективы развития.

Трансформаторные подстанции рекомендуется приближать к центрам электрических нагрузок. Для потребителей I категории и части потребителей II категории необходимо предусматривать резервирование электроснабжения. Потребители III категории в сельскохозяйственных районах обычно снабжаются электроэнергией по магистральным воздушным линиям электропередачи 10 кВ с подключением к ним комплектных однотрансформаторных подстанций 10/0,4 кВ открытой установки (КТПН).

Распределительная сеть 0,38 кВ для бытовых потребителей с одноэтажной застройкой выполняется воздушными линиями электропередачи, для производственных потребителей, расположенных на небольшой территории, она может выполняться кабелем.

Схема электрической сети 0,38 кВ обычно радиально-магистральная. Количество отходящих с трансформаторной подстанции линий определяется схемой КТПН (зачастую 3 линии). Если в результате дальнейшего расчета электрических нагрузок по элементам схемы окажется, что некоторые элементы схемы загружены неравномерно или перегружены (недогружены), или выясняются какие-либо другие недостатки намеченной схемы, то она должна быть скорректирована.

3.3.2. Расчет электрических нагрузок

При проектировании систем электроснабжения важное значение имеет оценка расчетных нагрузок, на основании которых определяются мощности элементов

электрических сетей. Здесь под расчетной нагрузкой понимается такая постоянная во времени величина, которая эквивалентна по максимальному нагреву элемента электрической сети реальной его загрузке в наиболее загруженный период года и суток.

Исходной информацией для оценки расчетной нагрузки являются нагрузки на вводах к потребителям, в курсовой работе которыми являются жилые дома, общественные и коммунальные потребители.

Сельским жилым домом при расчете электрических нагрузок считается многоквартирный дом или квартира в многоквартирном доме, имеющие отдельный счетчик электроэнергии.

Расчетная нагрузка на дом принимается равной:

- в населенных пунктах преимущественно старой застройки с газификацией – 1,5 кВт, без газификации – 1,8 кВт;
- в пунктах преимущественно новой застройки с газификацией – 2 кВт, без газификации – 3 кВт;
- в благоустроенных квартирах поселков городского типа, поселков при животноводческих комплексах, птицефабриках и тепличных комбинатах с газификацией – 4 кВт, без газификации – 5 кВт.

Расчетные нагрузки на вводах в производственные, общественные и коммунальные предприятия некоторых типичных потребителей приведены в табл. 42.1 [8].

В сельских населенных пунктах нагрузки уличного освещения играют существенную роль. Они определяются по нормам, помещенным в табл. 3.1.

Расчет электрических нагрузок в сетях 0,38 кВ производится суммированием нагрузок на вводе или на участках сети с учетом коэффициентов одновременности отдельно для дневного и для вечернего максимумов нагрузки.

Максимумы нагрузок потребителей в населенном пункте сельскохозяйственного района: жилые дома, детские и административные учреждения, общественные и коммунальные предприятия и т.д., реализуются практически в один и тот же период – вечер рабочего дня зимнего периода. Поэтому расчет электрических нагрузок можно производить без деления на дневной и вечерний максимумы.

Таблица 3.1

Нормы нагрузок уличного освещения

Характеристика улицы	Норма освещенности, лк	Удельная мощность, Вт/м
Поселковые улицы с асфальтированными и переходными типами покрытий при ширине проезжей части, м:	5-7	4,5-11
	9-12	6-13
То же с покрытиями простейшего типа при ширине проезжей части, м:	5-7	5,5
	9-12	7
Улицы и дороги местного значения и пешеходные шириной, м:	5-7	3
	9-12	4,5

Тогда расчетная нагрузка на участке линии или на шинах трансформаторной подстанции для однородных потребителей определится по выражению

$$P_p = K_0 \sum_{i=1}^n P_i,$$

где K_0 – коэффициент одновременности, принимаемый по табл. 3.2; P_i – расчетная нагрузка на вводе i -го потребителя или i -го участка сети.

Если нагрузки однородных потребителей отличаются по значению более чем в 4 раза, то суммирование их рекомендуется производить не с учетом коэффициента одновременности, а по табл. 3.3. попарно. По этой таблице производится суммирование разнородных нагрузок – бытовой и производственной.

Таблица 3.2

Коэффициенты одновременности для электрических нагрузок в сетях 0,38 кВ

Потребители	Количество потребителей										
	2	3	5	7	10	15	20	50	100	200	500 и ≥
Жилые дома с удельной нагрузкой на вводе: до 2 кВт/дом	0,76	0,66	0,55	0,49	0,44	0,4	0,37	0,3	0,26	0,24	0,22
	свыше 2 кВт/дом	0,75	0,64	0,53	0,47	0,42	0,37	0,34	0,27	0,24	0,2
Жилые дома с электрическими плитами и водонагревателям	0,73	0,62	0,5	0,43	0,38	0,32	0,29	0,22	0,17	0,15	0,12
Производствен- ные потребители	0,85	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6	0,55	0,47	0,4	0,33	0,3

Так, например, для двух нагрузок P_B и P_M (большой и меньшей) суммарная нагрузка определяется по выражению

$$P_p = P_B + \Delta P_M,$$

где ΔP_M – определено по табл. 3.3. для меньшей нагрузки P_M .

Таблица 3.3

Суммирование нагрузок в сетях 0,38 кВ

P	ΔP	P	ΔP	P	ΔP	P	ΔP	P	ΔP	P	ΔP
1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
0,2	0,2	19	11,8	52	33,4	100	69	166	120	232	176
0,3	0,2	20	12,5	53	36,1	102	70	168	122	234	177
0,4	0,3	21	13,1	54	36,8	104	72	170	123	236	179
0,5	0,3	22	13,8	55	37,5	106	73	172	124	238	180

0,6	0,4	23	14,4	56	38,2	108	75	174	126	240	182
0,8	0,5	24	15	57	38,9	110	76	176	127	242	184
1	0,6	25	15,7	58	39,6	112	78	178	129	244	185
1,5	0,9	26	16,4	59	40,3	114	80	180	130	246	187
2	1,2	27	17	60	41	116	81	182	132	248	188
2,5	1,5	28	17,7	61	41,7	118	82	184	134	250	190
3	1,8	29	18,4	62	42,4	120	84	186	136	252	192
3,5	2,1	30	19	63	43,1	122	86	188	138	254	193
4	2,4	31	19,7	64	43,8	124	87	190	140	256	195
4,5	2,7	32	20,4	65	44,5	126	89	192	142	258	196
5	3	33	21,2	66	45,2	128	90	194	144	260	198
5,5	3,3	34	22	67	45,9	130	92	196	146	262	200
6	3,6	35	22,8	68	46,6	132	94	198	148	264	201
6,5	3,9	36	23,5	69	47,3	134	95	200	150	266	203
7	4,2	37	24,2	70	48	136	97	202	152	268	204
7,5	4,5	38	25	72	49,4	138	98	204	153	270	206
8	4,8	39	25,8	74	50,2	140	100	206	155	272	208
8,5	5,1	40	26,5	76	52,2	142	102	208	156	274	209
9	5,5	41	27,2	78	53,6	144	103	210	158	276	211
9,5	5,7	42	28	80	55	146	105	212	160	278	212
10	6	43	28,8	82	56,4	148	106	214	161	280	214
11	5,7	44	29,5	84	57,8	150	108	216	163	282	216
12	7,3	45	30,2	86	59,2	152	110	218	164	284	217
13	7,9	46	31	88	60,6	154	111	220	166	286	219
14	8,5	47	31,8	90	62	156	113	222	168	288	220
15	9,2	48	32,5	92	63,4	158	114	224	169	290	222
16	9,8	49	33,2	94	64,8	160	116	226	171	292	224
17	10,5	50	34	96	66,2	162	117	228	172	294	225
18	11,2	51	34,7	98	67,6	164	119	230	174	296	227

Нагрузка уличного освещения учитывается в общей суммарной нагрузке как постоянная составляющая.

В результате определения расчетных нагрузок для каждого элемента системы электроснабжения должны быть определены активная, реактивная и полная мощности.

3.3.3. Расчет электрической сети

Выбор мощности трансформатора. Для наружной установки всегда применяются масляные трансформаторы. Выбор мощности трансформаторов

производится с учетом допустимой систематической перегрузки и регламентирован ГОСТ 14209-85.

Применительно к однострансформаторным подстанциям 10/0,4 кВ номинальная мощность трансформатора равна

$$S_{HT} > S_{CM},$$

где S_{CM} – средняя за наиболее загруженную смену мощность нагрузки (по сути она равна расчетной нагрузке по ТП).

При этом трансформатор в часы максимума нагрузки может оказаться перегружен сверх номинальной мощности, но так как в часы минимальных нагрузок он оказывается не догретым до длительно-допустимой температуры, то в связи с тепловой инерционностью он не успевает перегреться свыше нее за время действия перегрузки.

Выбор сечения проводников линий электропередачи. Выбор сечения проводов и кабелей, исходя из условия нормального режима работы, производится:

- по наибольшему длительно допустимому току нагрузки по условиям нагрева;
- по допустимой потере напряжения;
- по экономической плотности тока.

Длительно протекающий по проводнику ток, при котором устанавливается длительно-допустимая температура нагрева, называется допустимым током по нагреву I_d . Величина его зависит как от марки проводникового материала, так и от условий прокладки и температуры окружающей среды.

Длительно допустимые токи нагрузки проводов и кабелей указаны в таблицах правил устройства электроустановок (ПУЭ), либо в справочниках или в каталогах заводов изготовителей проводниковой продукции.

Выбор сечения проводника по нагреву длительным током нагрузки сводится к сравнению расчетного тока I_p с допустимым табличным значением для принятых марок проводов и кабелей и условий их прокладки. При выборе должно соблюдаться условие

$$I_p < I_d.$$

Выбор сечения проводника только по нагреву допустимым током приводит к большим потерям активной мощности в ЛЭП и значительной потере напряжения. Поэтому для окончательного выбора сечения следует провести все расчеты, требуемые ПУЭ, и принять наибольшее, определенное этими расчетами сечение проводника.

Выбор сечения по допустимой потере напряжения целесообразно проводить для сетей, где отсутствуют регулирующие устройства. Для систем электроснабжения – это сети 0,38 кВ.

Потеря напряжения для линий с подключенной в конце нагрузкой рассчитывается по выражению

$$\Delta U = \frac{PR + QX}{U^2 10} \%,$$

где P, Q – активная и реактивная составляющие электрической нагрузки (кВт, квар); R, X – активное и реактивное сопротивление линии (Ом), U – номинальное напряжение сети (кВ).

Активное и реактивное сопротивления линии определяются исходя из удельных сопротивлений r_0, x_0 и длины линии по выражениям

$$R = r_0 \cdot L, \quad X = x_0 \cdot L,$$

где g_0 , x_0 определяются по табл. 50 [7], а длина линии оценивается по планировке трассы ЛЭП на объекте.

Для воздушных линий с равномерно распределенной нагрузкой (линии жилищного сектора) в качестве эквивалентной принимается линия половинной длины с той же расчетной нагрузкой, присоединенной в конце линии.

Потеря напряжения до удаленного потребителя, подключенного к распределительной сети 0,38 кВ не должно превышать 4-6%. Если это условие не соблюдается, то необходимо увеличить сечение, что приводит к уменьшению активного сопротивления, и соответственно, к уменьшению потери напряжения.

Расчет сечения по экономической плотности тока производится для электрических сетей выше 1000 В (для систем электроснабжения это сети 10 кВ) и для сетей до 1000 В с числом часов использования максимальной нагрузки $T_m \geq 5000$ часов.

Экономическое сечение линии электропередачи определяется по выражению

$$S_э = \frac{I_p}{j_э},$$

где $j_э$ - экономическая плотность тока, нормируемые значения которой для алюминиевых проводов (для центральной Сибири) приведены в табл. 3.4.

Таблица 3.4

Экономическая плотность тока

T_m , час	1000-3000	3000-5000	более 5000
$j_э$, А/мм ²	1,3	1,1	1,0

После расчета экономического сечения принимается ближайшее стандартное.

Выбранные сечения проводов воздушных линий электропередачи по вышеприведенным критериям необходимо сопоставить с ограничениями по механической прочности и принять окончательное решение.

Выбор электрических аппаратов. Электрическим аппаратом принято называть электротехническое устройство, предназначенное для управления потоком электрической энергии.

Понятие «электрический аппарат» охватывает очень обширный круг всевозможных устройств, применяемых в быту, промышленности и энергетике. В данной работе речь идет об электрических аппаратах, устанавливаемых в основном потоке электрической энергии, т.е. в потоке от её источников до электрических приемников. Эти аппараты относятся к классу электрических аппаратов распределительных устройств и выбираются по следующим признакам: напряжению, функциональному назначению, номинальному току, по исполнению защиты от окружающей среды, по климатическому исполнению. После выбора по указанным признакам электрические аппараты проверяются на термическое и динамическое действия токов коротких замыканий, т.е. на термическую и динамическую устойчивость.

Выбор по номинальному напряжению. Номинальное напряжение аппарата, указанное в паспорте, соответствует уровню его изоляции, причем нормально всегда имеется некоторый запас электрической прочности, позволяющий аппарату

неограниченно длительное время работать при напряжении на 10-15% выше номинального. Это напряжение называют максимальным рабочим напряжением аппарата. Так как отклонения напряжения в условиях эксплуатации обычно не превышают 10-15% номинального, то при выборе аппаратов по напряжению достаточно выполнить условие

$$U_{\text{ном.у}} \leq U_{\text{ном.а}},$$

где $U_{\text{ном.у}}$ – номинальное напряжение установки, $U_{\text{ном.а}}$ – номинальное напряжение аппарата.

Обычно, исходя из условия электробезопасности организации работ, электрические аппараты по номинальному напряжению разделяют на две группы: аппараты низкого напряжения (с номинальным напряжением до 1000 В) и высокого напряжения (с номинальным напряжением более 1000 В).

Выбор аппаратов по функциональному назначению реализуется на этапе обоснования электрических схем, когда на основании соответствующих условий и требований применяются коммутационные аппараты, защитные либо защитно-коммутационные.

Выбор по номинальному току. Номинальный ток $I_{\text{ном.а}}$ аппарата – это ток, который при номинальной температуре окружающей среды может проходить по аппарату неограниченно длительное время и при этом температура наиболее нагретых частей его не превышает длительно допустимых значений.

Правильный выбор аппарата по номинальному току обеспечивает отсутствие опасных перегревов частей аппарата при его длительной работе в нормальном режиме. Для этого необходимо, чтобы максимальный действующий рабочий ток цепи (расчетный ток) I_p не превышал номинального тока аппарата $I_p \leq I_{\text{ном.а}}$.

В данной работе необходимо выбрать электрические аппараты: разъединители (QS) и предохранитель (FU) в электрической сети напряжением 10 кВ; линейные автоматы (QF) в распределительном устройстве 0,4 кВ трансформаторной подстанции.

Автомат QF выбирается по нагреву максимальным рабочим током

$$I_{\text{ном.а}} \geq I_p, \quad I_{\text{нр}} \geq 1,25I_p,$$

где коэффициент 1,25 – коэффициент запаса; $I_{\text{нр}}$ – номинальный ток теплового расцепителя.

Предохранитель FU выбирается по условиям:

- по напряжению $U_{\text{нр}} \geq U_{\text{сети}}$;
- по номинальному току предохранителя $I_{\text{н.п}} > I_p$;
- по номинальному току плавкой вставки $I_{\text{н.в}} > K_3 \cdot I_p$,

где $K_3 = 1,2 \div 1,3$ – коэффициент запаса.

3.3.4. Проверка элементов электрических сетей на действия тока короткого замыкания

Токи, протекающие по токоведущим частям элементов электрических сетей, вызывают термические и динамические процессы, то есть нагрев элементов и механические воздействия.

В нормальных режимах работы действия этих процессов невелики, а в режимах коротких замыканий они могут привести к недопустимому перегреву или разрушению этого элемента. Поэтому элементы электрических сетей должны проверяться на

термическую и динамическую стойкость, то есть на их способность противостоять указанным действиям наибольших токов короткого замыкания.

В системах электроснабжения сельскохозяйственных районов (это сети удаленные от электрических станций за относительно большим электрическим сопротивлением) проверке на действия токов короткого замыкания подлежат:

- электрические аппараты – на термическое и динамическое действия;
- кабельные линии электропередачи – на термическое действие.

Указанная особенность этих сетей обуславливает возможность использования при расчетах токов короткого замыкания (КЗ) следующих допущений и исходных положений:

- источник питания – система неограниченной мощности;
- эквивалентное сопротивление системы $X_c = U^2/S_{кз}$, Ом, где U – номинальное напряжение на шинах источника питания, кВ, $S_{кз}$ – мощность КЗ, МВА (принимается как исходная информация в размере около 120 МВА).

При составлении схемы замещения для расчетов токов КЗ для каждого проверяемого элемента выбирается такой режим, при котором он находился бы в наиболее тяжелых, но реальных условиях работы. За расчетную принимают такую точку КЗ, при которой через элемент проходит наибольший ток трехфазного короткого замыкания.

Методика расчета токов КЗ и все необходимые справочные материалы приведены в [1, 8].

Проверка коммутационных и защитно-коммутационных электрических аппаратов проводится по условиям:

- на термическую стойкость

$$I_{тс}^2 \cdot t > I_k^2 \cdot t_{п} ,$$

- на динамическую стойкость

$$i_{ск} > i_y ,$$

где $I_{тс}, t$ – паспортные значения тока термической стойкости и времени его действия; $I_k, t_{п}$ – расчетные значения тока КЗ и времени его действия, которое рассчитывается по выражению $t_{п} = t_{сз} + t_o$ ($t_{сз}$ – время срабатывания защиты, t_o – собственное время отключения защитного аппарата); $i_{ск}$ – паспортное значение сквозного тока КЗ для проверяемого аппарата; i_y – значение ударного тока КЗ.

Проверка защитных аппаратов (предохранителей) проводится по условию $I_o > I_k$, где I_o – предельный ток отключения.

Проверка кабеля на термическую стойкость реализуется путем расчета термически стойкого сечения по выражению

$$S_{тс} = I_k \cdot \alpha \sqrt{t_{п}} ,$$

где α – некоторый коэффициент, учитывающий разность тепла выделяемого до и после короткого замыкания (для алюминия $\alpha=12$, для меди $\alpha=8$). После расчета термически стойкого сечения для реализации кабельной линии электропередачи окончательно принимается ближайшее большее стандартное с учетом ранее применяемых критериев.

3.4. Вопросы по защите курсовой работы

1. Особенность электроснабжения сельскохозяйственных районов.
2. Как оцениваются расчетные нагрузки населенных пунктов с/х районов?

3. В чем физический смысл активной электрической энергии?
4. Какой физический смысл реактивной электрической энергии?
5. Как оценивается полная электрическая мощность и каков её физический смысл?
6. Чем определяется количество трансформаторов на подстанциях?
7. Каков принцип оценки мощности трансформаторов?
8. Привести перечень паспортных параметров трансформаторов и пояснить их физический смысл.
9. Какова конструктивная реализация трансформаторных подстанций?
10. Перечислить критерии оценки сечения проводников линий электропередачи, пояснить их применение.
11. Какова конструктивная реализация линий электропередачи?
12. Каково функциональное назначение электрических аппаратов распределительных устройств (разъединителей, рубильников, выключателей нагрузки, предохранителей, выключателей, автоматов)?
13. Перечислить критерии выбора электрических аппаратов, пояснить их применение.

4. ВОПРОСЫ ДЛЯ ЭКЗАМЕНА (в форме собеседования)

1. Что такое система электроснабжения, ее структурная схема.
2. Центры питания СЭС (ГПП, ЦРП), их схемы и конструктивное исполнение.
3. Высоковольтные распределительные сети СЭС, их схемы и конструктивное исполнение.
4. Трансформаторные подстанции СЭС, их схемы и конструктивное исполнение.
5. Низковольтные распределительные сети СЭС, их схемы и конструктивное исполнение.
6. Распределительные пункты ВВРС и НВРС СЭС, их назначение, схемы и конструктивное исполнение.
7. Понятие расчетной нагрузки. Расчетная нагрузка как эквивалентная по нагреву.
8. Оценка расчетной нагрузки по методу коэффициента одновременности.
9. Метод упорядоченных диаграмм.
10. Графики электрических нагрузок, их числовые характеристики.
11. Оценка потерь мощности и электроэнергии в ЛЭП.
12. Оценка потерь мощности и электроэнергии в трансформаторах.
13. Оценка потерь напряжения в электрической сети СЭС.
14. Выбор и проверка электрических аппаратов.
15. Выбор и проверка проводников линий электропередачи.
16. Выбор количества и мощности трансформаторов ТП.
17. Понятие реактивной мощности (энергии), её природа. Потребители и источники реактивной мощности.
18. Источники реактивной мощности, их схемы и конструкции.
19. Решение задачи компенсации реактивной мощности при присоединении потребителя к энергоснабжающей организации.
20. Отклонения напряжения в соответствии с ГОСТ 32144-2013 (нормирование, причины появления).
21. Колебания напряжения в соответствии с ГОСТ 32144-2013 (нормирование, причины появления, пути уменьшения).
22. Высшие гармоники напряжений в СЭС (нормирование, причины появления, пути устранения).
23. Несимметрия трехфазных напряжений в СЭС в соответствии с ГОСТ 32144-2013 (нормирование, причины появления, пути устранения).
24. Технические средства регулирования напряжения в электрических сетях.
25. Принципы регулирования напряжения.
26. Назначение релейной защиты и автоматики.
27. Выбор трансформаторов тока и трансформаторов напряжения.
28. Защита линий электропередачи и трансформаторов.
29. Защита электрических сетей до 1000 В.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Системы* электроснабжения: учеб./ Н.П. Гужов, В.Я. Ольховский, Д.А. Павлюченко. – Ростов-н/Д: Феникс, 2011.
2. *Князевский Б.А.* Электроснабжение промышленных предприятий / Б.А. Князевский, Б.Ю. Липкин– М.: Высш. Шк., 1986.
3. *Ристхейн Э.М.* Электроснабжение промышленных установок: учеб.для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1991.
4. *Правила* устройства электроустановок/ М-во энергетики РФ. – 7-е изд – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2003.
5. *Справочник* по проектированию электроснабжения / под ред. Ю.Г. Барыбина [и др.]. – М.: Энергоатомиздат, 1990.
6. *Справочник* по проектированию электрических сетей и электрооборудования / под ред. Ю.Г. Барыбина [и др.]. – М.: Энергоатомиздат, 1991.
7. *Шаповалов Н.Ф.* Справочник по расчету электрических сетей. – Киев: Будивельник, 1979.
8. *Справочник* по электроснабжению и электрооборудованию: в 2 т. Т.1: Электроснабжение / под общ.ред. А.А.Федорова. – М.: Энергоатомиздат, 1986.
9. *Справочник* по электроснабжению и электрооборудованию: в 2 т. Т.2: Электрооборудование/ под общ.ред. А.А.Федорова. – М.: Энергоатомиздат, 1987.
10. *Электротехнический* справочник: в 4 т. Т.3: Производство, передача и распределение электрической энергии / под ред. В.Г.Герасимова [и др.]. – 9-е изд., стереотип. – М.: Изд-во МЭИ, 2004.
11. *Электроснабжение* сельского хозяйства / И.А.Будзко, Т.Б.Лещинская, В.И.Сукманов. – М.: Колос, 2000.
12. *Фролов Ю.М., Шелякин В.П.* Основы электроснабжения: учебное пособие. ЭБС «Лань», 2012.

Защитные характеристики автоматов ВА47-29

