

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации

ДЕПАРТАМЕНТ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ И
ОБРАЗОВАНИЯ

Петуховский техникум механизации и электрификации сельского хозяйства
– филиал федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Курганская государственная сельскохозяйственная академия имени Т.С.
Мальцева»

Бутенко Е.В.

**ПМ 02 ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Учебно – методическое пособие по самостоятельной работе студентов
Специальность 35.02.08 Электрификация и автоматизация сельского хозяйства

Петухово 2015

Рекомендовано методическим
советом филиала

ПМ02 Обеспечение электроснабжения сельскохозяйственных предприятий

Учебно – методическое пособие по самостоятельной работе студентов. Специальность 35.02.08 Электрификация и автоматизация сельского хозяйства /Петуховский филиал ФГБОУ ВО КГСХА /Е.В.Бутенко. – Петухово, 2015. – 42 с.

Автор:

Бутенко Е.В., преподаватель Петуховского техникума механизации и электрификации сельского хозяйства - филиала ФГБОУ ВО Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т.С.Мальцева

Рецензенты:

Часовщиков В.А., преподаватель Петуховского техникума механизации и электрификации сельского хозяйства - филиала ФГБОУ ВО Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т.С.Мальцева

Учебно – методическое пособие предназначено для студентов очной формы обучения Петуховского филиала ФГБОУ ВО Курганская ГСХА специальности 35.02.08 Электрификация и автоматизация сельского хозяйства для организации студентами самостоятельной работы при изучении профессионального модуля ПМ02 Обеспечение электроснабжения сельскохозяйственных предприятий.

© Е.В.Бутенко, 2015

© Петуховский техникум механизации и
электрификации сельского хозяйства, 2015

Содержание

Введение	4
I. Организация и основные виды самостоятельной работы студентов	5
II. Самостоятельные работы по дисциплине	8
Заключение	34
Список литературы	35
Приложение 1 – Сравнительная характеристика высоковольтных аппаратов	37
Приложение 2 – Индивидуальные задания по вычерчиванию схем подстанций	38
Приложение 3 – Индивидуальные задания по составлению технологических карт	39
Приложение 4 – Исходные данные для выполнения задания № 6 и 7	40
Приложение 5 – Исходные данные для выполнения задания № 8	41
Приложение 6 – Мероприятия по автоматизации сельских сетей и трансформаторных подстанций	42
Приложение 7 – Мероприятия по охране труда и технике безопасности при эксплуатации воздушных и кабельных линий и трансформаторных подстанций	42

Введение

В соответствии с рабочим учебным планом специальности 35.02.08 Электрификация и автоматизация сельского хозяйства на изучение профессионального модуля ПМ 02 Обеспечение электроснабжения сельскохозяйственных предприятий отведено 461 часов, в том числе на самостоятельную работу 127 часов.

Самостоятельная работа позволяет студенту:

- углубить и расширить теоретические знания;
- систематизировать и закрепить полученные знания и умения;
- развивать исследовательские умения;
- закрепить навыки работы со справочной документацией и специальной литературой;
- развивать свои познавательные способности, творческую инициативу, самостоятельность, ответственность и организованность.

Основная цель данного методического пособия – помочь студентам очной формы обучения самостоятельно организовать свою деятельность по выполнению самостоятельной работы по профессиональному модулю, что поможет освоить в целом программу ПМ02 Обеспечение электроснабжения сельскохозяйственных предприятий.

Пособие включает в себя общие методические рекомендации по выполнению самостоятельной работы, описаны требования к выполнению различного вида заданий, приведены примеры решения задач, даны критерии оценки выполнения заданий.

І. ОРГАНИЗАЦИЯ И ОСНОВНЫЕ ВИДЫ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

1.1. Организация самостоятельной работы

Профессиональный модуль ПМ 02 Обеспечение электроснабжения сельскохозяйственных предприятий относится к группе профессионального цикла программы подготовки специалистов среднего звена (ППССЗ) по специальности 35.02.08 Электрификация и автоматизация сельского хозяйства. В соответствии с рабочим учебным планом максимальная учебная нагрузка по дисциплине составляет 461 час, в том числе 306 часов – обязательная аудиторная нагрузка, 127 часов отведено на самостоятельную работу студента.

Главное в организации самостоятельной работы студентов заключается в создании условий высокой активности, самостоятельности и ответственности студентов в аудитории и вне ее в ходе всех видов учебной деятельности.

Студентами практикуется два вида самостоятельной работы:

- аудиторная;
- внеаудиторная.

Аудиторная самостоятельная работа по дисциплине выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию. В этом случае студенты обеспечиваются преподавателем необходимой учебной литературой, дидактическим материалом, в т. ч. методическими пособиями и методическими разработками.

Внеаудиторная самостоятельная работа выполняется студентом по заданию преподавателя, но без его непосредственного участия.

Видами заданий для внеаудиторной самостоятельной работы могут быть:

- для овладения знаниями: чтение текста (учебника, методической литературы); составления плана текста, выполнение графических работ; конспектирование текста; выписки из текста; работа со словарями и справочниками; ознакомление с нормативными документами; использование компьютерной техники, интернета и др.;

- для закрепления систематизации знаний: работа с конспектом лекции (обработки текста); повторная работа над учебным материалом (учебника, первоисточника, дополнительной литературы); составление плана выполнения работы в соответствии с планом, предложенным преподавателем; изучение ГОСТов ЕСКД; ответы на контрольные вопросы;

- для формирования умений: решение задач и упражнений по образцу; решение вариативных задач и упражнений; выполнение схем; выполнение расчетных и графических работ.

При предъявлении видов заданий на внеаудиторную самостоятельную работу используется дифференцированный подход к студентам. Перед выполнением студентами внеаудиторной самостоятельной работы преподаватель проводит инструктаж по выполнению задания, который включает цель задания, его содержание, сроки выполнения, ориентировочный объем работы, основные требования к результатам работы, критерии оценки. В процессе инструктажа преподаватель предупреждает студентов о возможных типичных ошибках, встречающихся при выполнении задания. Инструктаж проводится преподавателем за счет объема времени, отведенного на изучение дисциплины

Контроль результатов самостоятельной работы студентов может осуществляться через тестирование, выполнение расчетно-графических работ.

Критериями оценки результатов внеаудиторной самостоятельной работы студента являются:

- уровень освоения студентом учебного материала;

- умения студента использовать теоретические знания при выполнении практических задач;
- степень сформированности общих и профессиональных компетенций;
- обоснованность и четкость изложения ответа;
- выполнение и оформление расчетно-графических работ в соответствии с требованиями.

1.2 Перечень заданий самостоятельной работы

В результате освоения профессионального модуля ПМ02 Обеспечение электроснабжения сельскохозяйственных предприятий обучающийся должен знать:

- сведения о производстве, передаче и распределении электрической энергии;
- технические характеристики проводов, кабелей и методику их выбора для внутренних проводок и кабельных линий;
- методику выбора схем типовых районных и потребительских трансформаторных подстанций, схем защиты высоковольтных и низковольтных линий;
- правила утилизации и ликвидации отходов электрического хозяйства.

В результате освоения учебной дисциплины обучающийся должен уметь:

- рассчитывать нагрузки и потери энергии в электрических сетях;
- рассчитывать разомкнутые и замкнутые сети, токи короткого замыкания, заземляющие устройства;
- безопасно выполнять монтажные работы, в том числе на высоте.

Одним из способов получения перечисленных знаний и умений является выполнение студентами самостоятельных работ, перечень которых приведен в таблице.

Тема дисциплины по учебной программе	Наименование работы	Количество часов	Срок выполнения
МДК 02.01 Монтаж воздушных линий электропередач и трансформаторных подстанций			
Тема 1.1 «Общие сведения о производстве электрической энергии»	Оформить выписку из нормативно – технической документации по показателям качества электрической энергии в соответствии с ГОСТ Р 54149 – 2010	5	К занятию №2
Тема 1.2 «Изолированные провода и кабели. Внутренняя электропроводка»	Выполнить проект в форме индивидуального расчетного задания «Расчет и выбор защитных аппаратов, проводов и кабелей. Составление плана внутренней электропроводки»	16	К занятию №8
Тема 1.5 «Высоковольтная аппаратура и токоведущие части распределительных устройств»	Составить сравнительную таблицу «Характеристика высоковольтных аппаратов»	2	К занятию №18
Тема 1.7 «Сельские трансформаторные подстанции» Тема 1.8 «Резервные электростанции»	Вычертить схему подстанции согласно индивидуальному заданию	2 2	К занятию №24

Тема 1.9 «Монтаж воздушных линий» Тема 1.10 «Монтаж кабельных линий» Тема 1.11 «Монтаж понизительных трансформаторных подстанций»	Составить технологическую карту монтажа объекта электроснабжения согласно индивидуальному заданию	4 2 4	К занятию №19 (3 курс)
МДК 02.02 Эксплуатация систем электроснабжения сельскохозяйственных предприятий			
Тема 2.2 «Электрические нагрузки в жилых домах, производственных и общественных помещениях» и Тема 2.3 «Отклонение напряжения у потребителей. Падение и потери напряжения в трехфазной линии переменного тока»	Выполнить индивидуальное расчетное задание «Подсчет нагрузок и выбор мощности силового трансформатора с учетом технико-экономических показателей»	18	К занятию №17
Тема 2.4 «Расчет разомкнутых сетей с равномерной и неравномерной нагрузкой фаз» Тема 2.5 «Расчет замкнутых сетей»	Выполнить индивидуальное расчетное задание «Расчет и выбор проводов для воздушных линий напряжением 0,38 и 10кВ с дальнейшей проверкой на потери напряжения, мощности и энергии»	18	К занятию №31
Тема 2.6 «Короткие замыкания» Тема 2.7 «Схемы районных и потребительских трансформаторных подстанций»	Выполнить индивидуальное задание «Выбор оборудования трансформаторных подстанций с дальнейшей проверкой на термическую и динамическую стойкость» в соответствии со схемой задания 4	20	К занятию №47
Тема 2.8 «Релейная защита»	Выполнить индивидуальное задание «Расчет защит» в соответствии со схемой задания 4	18	К занятию №57
Тема 2.9 «Автоматизация на электростанциях и подстанциях»	Составление сравнительной таблицы «Мероприятия по автоматизации сельских сетей и трансформаторных подстанций»	2	К занятию №61
Тема 2.10 «Атмосферные перенапряжения и защита от них» Тема 2.11 «Заземляющие устройства»	Составление сравнительной таблицы «Мероприятия по охране труда и техники безопасности при эксплуатации воздушных и кабельных линий, трансформаторных подстанций»	2	К занятию №84
	Работа по оформлению пояснительной записки и графической части курсового проекта согласно варианту задания	12	

II. САМОСТОЯТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ ПО ПРОФЕССИОНАЛЬНОМУ МОДУЛЮ

МДК 02.01 Монтаж воздушных линий электропередач и трансформаторных подстанций

Тема 1.1 «Общие сведения о производстве электрической энергии»

Задание №1. Оформить выписку из нормативно – технической документации по показателям качества электрической энергии в соответствии с ГОСТ Р 54149 – 2010

Цель выполнения: знакомство с нормативно – технической документацией, требованиями качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения

Рекомендации по выполнению:

1. Ознакомиться с заданием.
2. Познакомиться с содержанием и основными положениями ГОСТ Р 54149 – 2010 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная»
3. Оформить выписки основных определений: качество электрической энергии, система электроснабжения общего назначения, пользователь электрической сети, распределительная электрическая сеть, сетевая организация, потребитель электрической энергии, точка передачи электрической энергии.
4. Оформить выписки основных параметров, характеризующих качество электрической энергии: напряжение электропитания согласно договорным условиям, низкое напряжение, среднее напряжение, высокое напряжение, частота напряжения электропитания, номинальная частота, провал напряжения, перенапряжение, доза фликера, отклонение напряжения, медленные изменения напряжения.

Критерии оценки выписки

Критерий	Требования к студенту	Максимальное количество баллов
Содержание работы	- соответствие содержания теме; - ясность и четкость изложения; - краткость изложения; - научность; - глубина проработки материала; - самостоятельность выполнения работы;	10 баллов
Оформление работы	- работа отвечает основным требованиям к выполнению задания; - эстетический вид задания	5 баллов
Общее максимальное количество баллов		15

Оценки

Количество набранных баллов	Качественная оценка уровня подготовки	
	балл (отметка)	вербальный аналог
15 - 13	5	отлично
12 - 10	4	хорошо
9 - 7	3	удовлетворительно
менее 7	2	не удовлетворительно

Тема 1.2 «Изолированные провода и кабели. Внутренняя электропроводка»

Задание №2. Выполнить проект в форме индивидуального расчетного задания «Расчет и выбор защитных аппаратов, проводов и кабелей. Составление плана внутренней электропроводки»

Цель выполнения: закрепление знаний технических характеристик изолированных проводов и кабелей, защитных и коммутационных аппаратов для внутренних электропроводок, их расчет и выбор соответствующих аппаратов.

Рекомендации по выполнению:

1. Повторить теоретический материал по вопросам: технические характеристики изолированных проводов и кабелей, защитных и коммутационных аппаратов, составление плана внутренней проводки.

Лещинская, Т.Б. Электроснабжение сельского хозяйства: учеб. пособие для студ. среднего проф. образования по специальности электрификация и автоматизация сельского хозяйства / Т.Б. Лещинская. – 2 –е изд., стереотип. – М.: КолосС, 2008 . – с.208-220, 292-298.

2. Вычертить в масштабе план помещения с указанием оконных и дверных проемов.
3. Составить перечень электроприемников с указанием их количества и мощности.
4. Разместить электроприемники на плане помещения.
5. Нанести на план провода, защитные и коммутационные аппараты.
6. Произвести расчет токов отдельных групп электроприемников.
7. Произвести расчет защит и выбор защитных и коммутационных аппаратов.
8. Произвести выбор проводов и кабелей внутренней проводки.
9. Составить перечень требуемых материалов и оборудования для монтажа внутренней проводки помещения.

Пример выполнения задания

Выбрать плавкие вставки предохранителей, изолированные провода, а на вводе кабель, проложенный в воздухе, в нормальном помещении. Коэффициент одновременности на вводе 0,9. Номинальное напряжение 0,38 кВ. Параметры двигателей и освещения:

осветительные магистрали: $P_1 = 3,6кВт$, $P_2 = 0,75кВт$

Первый двигатель: $P_{н.м} = 7,5кВт$, $Cos\varphi_1 = 0,86$; $\eta_1 = 0,9$; $K_i = 6,5$; $K_s = 0,8$

Второй двигатель: $P_{н.м} = 1,5кВт$, $Cos\varphi_2 = 0,78$; $\eta_2 = 0,8$; $K_i = 5,5$; $K_s = 0,7$

Схема приведена на рисунке1.

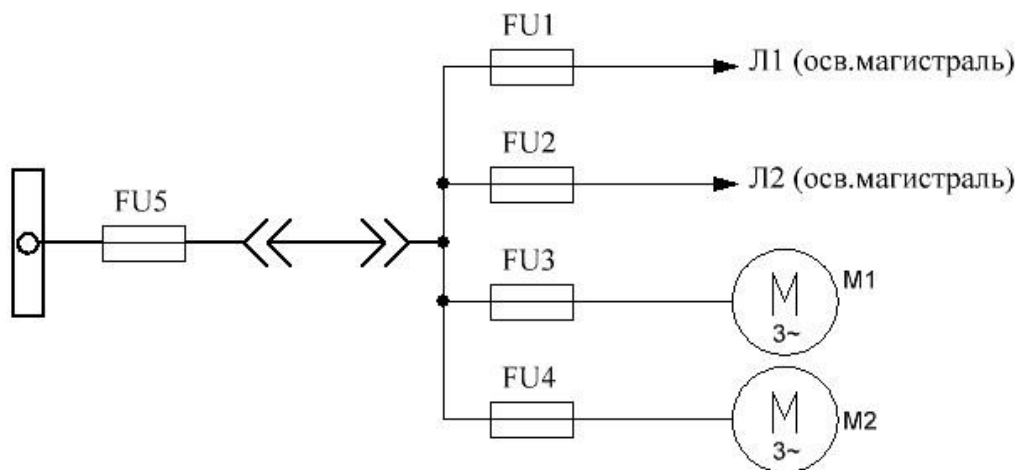


Рисунок 1 – Схема осветительной сети

Расчет осветительных магистралей
Предохранитель FU1

Рабочий ток:

$$I_{раб} = \frac{P_{осел}}{\sqrt{3} \times U_n} = \frac{3,6}{1,73 \times 0,38} = 5,45 A$$

Выбор предохранителя осуществляется по следующему условию:

$$I_{вст1} = 6 A \geq I_{раб1} = 5,45 A$$

Выбираем предохранитель ПР – 2.

Выбор изолированного провода

нормальное помещение

$$I_{доп} = 23 A \geq 0,33 \times I_{вст} = 0,33 \times 5,45 = 1,80 A$$

Выбираем минимально допустимое сечение медного провода 4ПВ 1x1,5.

Предохранитель FU2

$$I_{раб2} = \frac{P_{осв2}}{\sqrt{3} \times U_n} = \frac{0,75}{1,73 \times 0,38} = 1,14 A$$

Выбор предохранителя осуществляется по следующему условию:

$$I_{вст2} = 2 A \geq I_{раб2} = 1,14 A$$

Выбираем предохранитель ПРС.

Выбор изолированного провода

нормальное помещение

$$I_{доп} = 23 A \geq 0,33 \times I_{вст} = 0,33 \times 2 = 0,66 A$$

Выбираем минимально допустимое сечение медного провода 4ПВ 1x1,5.

Расчет ответвлений к электродвигателям

Предохранитель FU3

Номинальный ток электродвигателя:

$$I_{ном3} = \frac{P_{н1м}}{\sqrt{3} \times U_n \times \cos \varphi \times \eta} = \frac{7,5}{1,73 \times 0,38 \times 0,86 \times 0,9} = 14,7 A$$

Рабочий ток:

$$I_{раб3} = I_{ном3} \times K_{загр} = 14,7 \times 0,8 = 11,8 A$$

Пусковой ток:

$$I_{пуск3} = I_{ном3} \times K_i = 14,7 \times 6,5 = 95,6 A$$

Ток максимальный:

$$I_{макс3} = I_{пуск3} = 95,6 A$$

Выбор предохранителя осуществляется по следующим условиям:

$$I_{вст3} = 40 A \geq I_{раб3} = 11,8 A$$

$$I_{вст3} = 40 A \geq \frac{I_{макс}}{\alpha} = \frac{95,6}{2,5} = 38,2 A$$

Выбираем предохранитель ПН – 2.

Выбор изолированного провода

нормальное помещение

$$I_{доп} = 23 A \geq 0,33 \times I_{вст} = 0,33 \times 40 = 13,2 A$$

Выбираем минимально допустимое сечение медного провода 4ПВ 1x1,5.

Предохранитель FU4

$$I_{ном4} = \frac{P_{н2м}}{\sqrt{3} \times U_n \times \cos \varphi \times \eta} = \frac{1,5}{1,73 \times 0,38 \times 0,78 \times 0,8} = 3,64 A$$

$$I_{раб4} = I_{ном4} \times K_3 = 3,64 \times 0,7 = 2,55 A$$

$$I_{пуск4} = I_{ном4} \times K_i = 3,64 \times 5,5 = 20,0 A$$

$$I_{макс4} = I_{пуск4} = 20,0 A$$

Выбор предохранителя осуществляется по следующим условиям:

$$I_{всм4} = 10 \text{ A} \geq I_{раб4} = 2,55 \text{ A}$$

$$I_{всм4} = 10 \text{ A} \geq \frac{I_{max}}{\alpha} = \frac{20,0}{2,5} = 8 \text{ A}$$

Выбираем предохранитель ПР – 2.

Выбор изолированного провода

нормальное помещение

$$I_{дон} = 23 \text{ A} \geq 0,33 \times I_{всм} = 0,33 \times 10 = 3,3 \text{ A}$$

Выбираем минимально допустимое сечение медного провода 4ПВ 1x1,5.

Расчет на вводе

Предохранитель FU5

$$I_{всм5} = 45 \text{ A} \geq K_0 \times \sum_{i=1}^n I_{раб.i} = K_0 \times (I_{раб.1} + I_{раб.2} + I_{раб.3} + I_{раб.4}) = 0,9 \times (5,45 + 1,14 + 11,8 + 2,55) = 18,8 \text{ A}$$

$$I_{всм5} = 45 \text{ A} \geq K_0 \times \sum_{i=1}^{n-1} I_{раб.i} + \frac{I_{нук.наиб}}{\alpha} = 0,9 \times (5,45 + 1,14 + 2,55 + \frac{95,6}{2,5}) = 42,6 \text{ A}$$

Выбираем предохранитель НПН.

Выбор кабеля:

$$I_{дон} = 45 \text{ A} \geq I_{всм5} = 45 \text{ A}$$

Выбираем кабель АСБ 4x10.

Критерии оценки расчетного задания

Критерий	Требования к студенту	Максимальное количество баллов
Содержание работы	- правильность применения методик по выбору защитных аппаратов, проводов и кабелей; - достоверность проведенных проверок; - умение производить технические расчеты; - самостоятельность выполнения работы; - выводы по работе	10 баллов
Оформление работы	- работа отвечает основным требованиям к оформлению технического документа; - соответствие требований ГОСТ на условно-графические обозначения элементов при вычерчивании схем	5 баллов
Общее максимальное количество баллов		15

Тема 1.5 «Высоковольтная аппаратура и токоведущие части распределительных устройств»

Задание №3. Составить сравнительную таблицу «Характеристика высоковольтных аппаратов»

Цель выполнения: закрепление знаний электротехнической терминологии, технических характеристик высоковольтных коммутационных аппаратов

Рекомендации по выполнению:

1. Повторить теоретический материал по теме Высоковольтная аппаратура и токоведущие части распределительных устройств с использованием конспекта, учебника или электронных ресурсов
2. Вычертить форму сравнительной таблицы (приложение 1)
3. Заполнить таблицу с учетом теоретических знаний
4. Сделать вывод об использовании различных коммутационных аппаратов, их сходстве и различии.

Критерии оценки задания

Критерий	Требования к студенту	Максимальное количество баллов
Содержание работы	- правильность выбранных формулировок и характеристик высоковольтных аппаратов; - правильность написания терминов; - самостоятельность выполнения работы;	12 баллов
Оформление работы	- работа отвечает основным требованиям к выполнению задания; - эстетический вид задания	3 баллов
Общее максимальное количество баллов		15

Тема 1.7 «Сельские трансформаторные подстанции» Тема 1.8 «Резервные электростанции»

Задание №4. Вычертить схему подстанции согласно индивидуальному заданию

Цель выполнения: закрепление знаний правил графического изображения элементов электрических схем, навыков по вычерчиванию электрических схем.

Рекомендации по выполнению:

1. Повторить теоретический материал по вопросам: Схемы электрических соединений трансформаторных подстанций и резервных электростанций Ополева, Г.Н. Схемы и подстанции электроснабжения: Справочник: учеб.пособие. – М.: ИД ФОРУМ:ИНФРА-М, 2009. – с.71 – 95.

2. Вычертить схему в соответствии с вариантом (приложение 2), соблюдая требования ГОСТ на условно-графические обозначения элементов электрических схем.

Критерии оценки графического задания

Критерий	Требования к студенту	Максимальное количество баллов
Содержание работы	- правильность подключения коммутационных аппаратов в соответствии со схемой варианта; - умение расположить элементы на схеме так, чтобы не затруднялось ее чтение; - самостоятельность выполнения работы	10 баллов
Оформление работы	- работа отвечает основным требованиям к оформлению технического документа; - соответствие требований ГОСТ на условно-графические обозначения элементов при вычерчивании схем	5 баллов
Общее максимальное количество баллов		15

Тема 1.9 «Монтаж воздушных линий» Тема 1.10 «Монтаж кабельных линий» Тема 1.11 «Монтаж понизительных трансформаторных подстанций»

Задание №5. Составить технологическую карту монтажа объекта электроснабжения согласно индивидуальному заданию

Цель выполнения: закрепление практических навыков по монтажу объектов электроснабжения.

Рекомендации по выполнению:

1. Повторить теоретический материал по теме Монтаж воздушных и кабельных линий, трансформаторных подстанций с использованием конспекта, учебника или электронных ресурсов
2. Укажите содержание операций, правила техники безопасности, средства защиты и техническое оснащение при выполнении вида работы в соответствии с вариантом (приложение 3)

Критерии оценки задания

Критерий	Требования к студенту	Максимальное количество баллов
Содержание работы	- правильность содержания операций при выполнении вида работ в соответствии с вариантом; - знание правил техники безопасности, применения средств защиты при выполнении вида работ; - самостоятельность выполнения работы	12 баллов
Оформление работы	- работа отвечает основным требованиям к оформлению технического документа;	3 балла
Общее максимальное количество баллов		15

МДК 02.02 Эксплуатация систем электроснабжения сельскохозяйственных предприятий

Тема 2.2 «Электрические нагрузки в жилых домах, производственных и общественных помещениях» и Тема 2.3 «Отклонение напряжения у потребителей. Падение и потери напряжения в трехфазной линии переменного тока»

Задание №6. Выполнить проект в форме индивидуального расчетного задания «Подсчет нагрузок и выбор мощности силового трансформатора с учетом технико-экономических показателей»

Цель выполнения: закрепление умений по подсчету электрических нагрузок в сетях 0,38кВ и выбору мощности силового трансформатора

Рекомендации по выполнению:

1. Повторить теоретический материал по теме Подсчет нагрузок и выбор мощности силового трансформатора в сетях 0,38 кВ с использованием конспекта, учебника или электронных ресурсов
2. Вычертить схему в соответствии с заданием (рисунок 2)
3. Нанести на схему исходные данные в соответствии с вариантом (приложение 4)
4. Произвести подсчет электрических нагрузок и выбор мощности силового трансформатора для производственного объекта.
5. Оценить эксплуатационные характеристики работы трансформатора, при необходимости подобрать установку для компенсации реактивной мощности и окончательно принять тип и номинальные характеристики силового трансформатора для ТП 10/0,4 кВ
6. Сделать вывод о целесообразности применения конденсаторной установки.

Пример выполнения задания

Пример расчета электрических нагрузок линий 0,38 кВ и ТП 1 приведен для потребителей, представленных в табл.1.

Расчет линии Л2

На линии находится четыре однородных потребителя – телятники на 120 голов, поэтому расчет ведется с учетом коэффициента одновременности:

$$P_{\text{дл2}} = K_0 \cdot \sum_{i=1}^n P_{\text{di}} = 0,775 \cdot 4 \cdot 5 = 15,5 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{в.л2}} = K_0 \cdot \sum_{i=1}^n P_{\text{vi}} = 0,775 \cdot 4 \cdot 8 = 24,8 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{дл2}} = K_0 \cdot \sum_{i=1}^n Q_{\text{di}} = 0,775 \cdot 4 \cdot 3 = 9,3 \text{ кВАр};$$

$$Q_{\text{в.л2}} = K_0 \cdot \sum_{i=1}^n Q_{\text{vi}} = 0,775 \cdot 4 \cdot 5 = 15,5 \text{ кВАр}.$$

Таблица 1 – Нагрузки на вводе потребителей ТП1

№ потребителя	Наименование потребителей	Количество	Нагрузка			
			активная, кВт		реактивная кВАр	
			P _Д	P _В	Q _Д	Q _В
1	Лесопильный цех с пиломатерией Р65	1	23	2	27	-
2	Телятник на 120 голов	4	5	8	3	5
3	Мельница вальцовая	1	15	1	10	-
4	МТМ	2	20	10	18	8

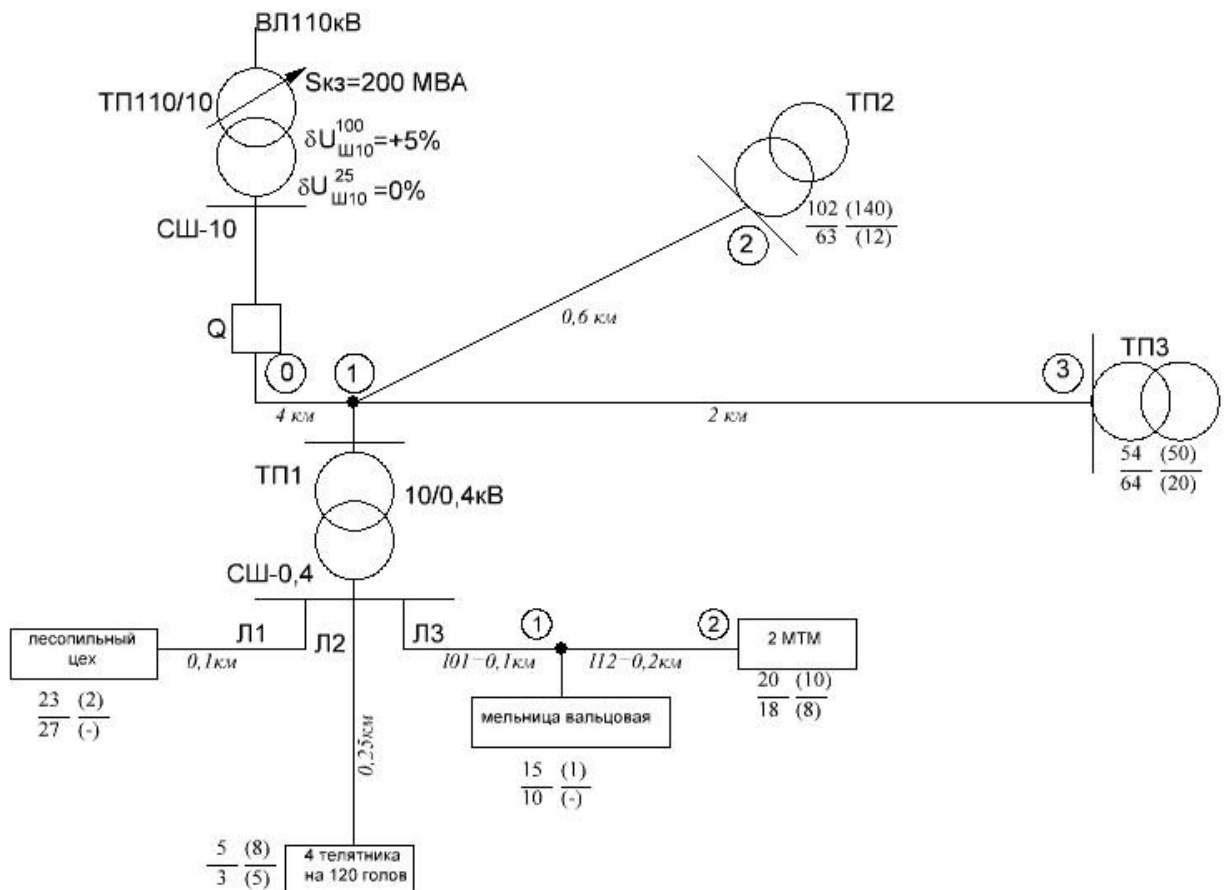


Рисунок 2 – Исходная схема электропередачи

Расчет линии 3

Расчет ведется по участкам с конца линии.

Участок 2-1. На участке находятся два потребителя – МТМ:

$$P_{\partial 21} = K_0 \cdot \sum_{i=1}^n P_{\partial i} = 0,85 \cdot 2 \cdot 20 = 34 \text{ кВт};$$

$$P_{\epsilon 21} = K_0 \cdot \sum_{i=1}^n P_{\epsilon i} = 0,85 \cdot 2 \cdot 10 = 17 \text{ кВт};$$

$$Q_{\partial 12} = K_0 \cdot \sum_{i=1}^n Q_{\partial i} = 0,85 \cdot 2 \cdot 18 = 30,6 \text{ кВАр};$$

$$Q_{\epsilon 21} = K_0 \cdot \sum_{i=1}^n Q_{\epsilon i} = 0,85 \cdot 2 \cdot 8 = 13,6 \text{ кВАр}.$$

Участок 1-ТП. На участке встречаются потребители разнородных групп, поэтому суммирование производим табличным методом:

$$P_{\partial ЛЗ} = P_{\partial \text{наиб}} + \sum_{i=1}^{n-1} \Delta P_{\partial i} = 34 + \Delta 15 = 34 + 9,2 = 43,2 \text{ кВт};$$

$$P_{\epsilon ЛЗ} = P_{\epsilon \text{наиб}} + \sum_{i=1}^{n-1} \Delta P_{\epsilon i} = 17 + \Delta 1 = 17 + 0,6 = 17,6 \text{ кВт};$$

$$Q_{\partial ЛЗ} = Q_{\partial \text{наиб}} + \sum_{i=1}^{n-1} \Delta Q_{\partial i} = 30,6 + \Delta 10 = 30,6 + 6 = 36,6 \text{ кВАр};$$

$$Q_{\epsilon ЛЗ} = Q_{\epsilon \text{наиб}} + \sum_{i=1}^{n-1} \Delta Q_{\epsilon i} = 13,6 + \Delta 0 = 13,6 + 0 = 13,6 \text{ кВАр}.$$

Нагрузка ТП1 определяется суммированием расчетных мощностей линий табличным методом по формулам

$$P_{\partial ТП} = 43,2 + \Delta 23 + \Delta 15,5 = 43,2 + 14,4 + 9,5 = 67,1 \text{ кВт};$$

$$P_{\epsilon ТП} = 24,8 + \Delta 2 + \Delta 17,6 = 24,8 + 1,2 + 10,9 = 36,9 \text{ кВт};$$

$$Q_{\partial ТП} = 36,6 + \Delta 27 + \Delta 9,3 = 36,6 + 17 + 5,6 = 59,2 \text{ кВАр};$$

$$Q_{\epsilon ТП} = 15,5 + \Delta 13,6 + 0 = 15,5 + 8,5 + 0 = 24 \text{ кВАр}.$$

Результаты подсчета нагрузок ТП1 сведены в таблицу 2.

Для участков линий 0,38 кВ и трансформаторных подстанций рассчитываются полные мощности, токи и коэффициенты мощности:

$$S_{\partial} = \sqrt{P_{\partial}^2 + Q_{\partial}^2}$$

$$S_{\epsilon} = \sqrt{P_{\epsilon}^2 + Q_{\epsilon}^2}$$

$$I_{\partial} = \frac{S_{\partial}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}$$

$$I_{\epsilon} = \frac{S_{\epsilon}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}$$

$$\cos \varphi_{\partial} = \frac{P_{\partial}}{S_{\partial}}$$

$$\cos \varphi_{\epsilon} = \frac{P_{\epsilon}}{S_{\epsilon}}$$

При естественном коэффициенте мощности линии или ТП меньше 0,95 рекомендуется компенсация реактивной мощности.

В проекте необходимо выбрать конденсаторные батареи БК для ТП1 и установить их на шинах 0,4 кВ этой ТП. Порядок расчета следующий.

По естественному коэффициенту мощности (табл. 3) определяется, где и когда необходима компенсация.

Определяется величина реактивной мощности Q_k , которую необходимо компенсировать до $\cos\varphi=0,95$ по выражению:

$$Q_k = Q_{ест} - 0,33 \cdot P,$$

где $Q_{ест}$ - естественная (до компенсации) реактивная мощность.

Таблица 2 – Определение нагрузок линий 0,38 кВ и ТП1

Линия	Потребители	Кол	K_0	Активная нагрузка, кВт				Реактивная нагрузка, кВАр			
				на вводе		расчетная		на вводе		расчетная	
				$P_{дi}$	$P_{вi}$	$P_{д}$	$P_{в}$	$Q_{дi}$	$Q_{вi}$	$Q_{д}$	$Q_{в}$
Л1	1 Лесопильный цех с пиломатериалом	1	1	23	2	23	2	27	-	27	-
	Расчетная нагрузка Л1	-	-	-	-	23	2	-	-	27	-
Л2	2 Телятник на 120 голов	4	0,78	5	8	15,5	24,8	3	5	9,3	15,5
	Расчетная нагрузка Л2	-	-	-	-	15,5	24,8	-	-	9,3	15,5
Л3	4 МТМ	2	0,85	20	10	34	17	18	8	30,6	13,6
	Расчетная нагрузка участка 1-2	-	-	-	-	34	17	-	-	30,6	13,6
	3 Мельница вальцовая	1	1	15	1	15	1	10	0	10	0
	Расчетная нагрузка участка 0-1	-	-	-	-	43,2	17,6	-	-	36,6	13,6
	Расчетная нагрузка Л3	-	-	-	-	43,2	17,6	-	-	36,6	13,6
Итого с учетом суммирования		-	-	-	-	67,1	36,9	-	-	59,2	24
Наружное освещение помещений		8	1	-	0,25	-	2	-	-	-	-
хоздворов (100x0,003кВт/м)		8	1	-	0,3	-	2,4	-	-	-	-
Итого		-	-	-	-	-	4,4	-	-	-	-
Нагрузка ТП1		-	-	-	-	67,1	41,3	-	-	59,2	24

Таблица 3 – Сводные данные электрических нагрузок подстанций расчетного варианта

Элементы сети	Мощность						Ток, А		Коэффициент мощности	
	активная, кВт		реактивная, кВАр		полная, кВА		$I_{д}$	$I_{в}$	$\cos\varphi_{д}$	$\cos\varphi_{в}$
	$P_{д}$	$P_{в}$	$Q_{д}$	$Q_{в}$	$S_{д}$	$S_{в}$				
Л1	23	2	27	0	35,5	2	53,7	3,03	0,65	1
Л2	15,5	24,8	9,3	15,5	18,1	29,2	27,4	44,3	0,86	0,85
Л3	43,2	17,6	36,6	13,6	56,6	22,2	85,8	33,7	0,76	0,79
ТП1	67,1	41,3	59,2	24	90	48	136	72,4	0,75	0,86
ТП2	102	140	63	12	120	141	182	213	0,85	0,99
ТП3	54	50	64	20	84	54	127	81,6	0,84	0,93
После компенсации реактивной мощности										
ТП1	67,1	41,3	19,2	4	70	42	106	63,6	0,96	0,99

Для ТП 1, согласно табл. 3:

$$Q_{кд} = Q_{естд} - 0,33 \cdot P_{д} = 59,2 - 0,33 \cdot 67,1 = 37 \text{ кВАр},$$

$$Q_{кв} = Q_{еств} - 0,33 \cdot P_{в} = 24 - 0,33 \cdot 41,3 = 10,4 \text{ кВАр},$$

Выбирается мощность конденсаторных батарей $Q_{Бк}$, при этом перекомпенсация не рекомендуется:

$$Q_{к} \leq Q_{Бк} \leq Q_{ест}$$

Номинальные мощности конденсаторных батарей на напряжение 0,38 кВ, кВАр следующие: 20, 25, 30, 40, 50, 75, 100, 125, 150 и т.д. Есть БК, номинальная мощность которых, отличается от перечисленных; рекомендуется устанавливать БК, если $Q_{Бк} \geq 25 \text{ кВАр}$.

Батарею конденсаторов лучше выбирать одной и той же для дневного и вечернего максимумов. Если это сделать не удастся, то выбирают две батареи (иногда больше), причем в один максимум они включены обе, в другой — только одна.

В примере для ТП 1 можно выбрать $Q_{Бк} = 2 \times 20 = 40 \text{ кВАр}$, включая обе батареи в дневной максимум и только одну в вечерний.

Определяется некомпенсированная реактивная мощность:

$$Q = Q_{ест} - Q_{Бк}$$

Для ТП 1

$$Q_{д} = Q_{естд} - Q_{Бкд} = 59,2 - 2 \cdot 20 = 19,2 \text{ кВАр},$$

$$Q_{в} = Q_{еств} - Q_{Бкв} = 24 - 20 = 4 \text{ кВАр}.$$

Рассчитывается полная нагрузка трансформаторных подстанций с учетом компенсации:

$$\text{Для ТП1: } S_{д} = \sqrt{P_{д}^2 + Q_{д}^2} = \sqrt{67,1^2 + 19,2^2} = 70 \text{ кВА},$$

$$S_{в} = \sqrt{P_{в}^2 + Q_{в}^2} = \sqrt{41,3^2 + 4^2} = 42 \text{ кВА}.$$

Коэффициенты мощности после компенсации определяются по выражениям:

$$\text{Для ТП1: } \cos \varphi_{д} = \frac{P_{д}}{S_{д}} = \frac{67,1}{70} = 0,96; \quad \cos \varphi_{в} = \frac{P_{в}}{S_{в}} = \frac{41,3}{42} = 0,99.$$

Данные по компенсации реактивной мощности сводятся в таблицу 3 в строку после компенсации реактивной мощности.

Номинальная мощность трансформаторов 10/0,4 кВ выбирается по экономическим интервалам нагрузок, в зависимости от шифра нагрузки, расчетной полной мощности, среднесуточной температуры охлаждающего воздуха, наличия автономных источников для обеспечения нормативных уровней надежности электроснабжения сельскохозяйственных потребителей.

Выбор установленной мощности трансформаторов одно и двух трансформаторных подстанций производится по условиям их работы, в нормальном режиме исходя из условия

$$S_{эк\text{ мин}} \leq \frac{S_p}{n} \leq S_{эк\text{ макс}},$$

где S_p – расчетная нагрузка на шинах подстанции, кВА;

n – количество трансформаторов проектируемой подстанции;

$S_{ЭК.МИН}$, $S_{ЭК.МАХ}$ – соответственно минимальная и максимальная границы экономического интервала нагрузки трансформатора принятой номинальной мощности, в зависимости от зоны сооружения подстанции и вида нагрузки потребителей.

Принятые номинальные мощности трансформаторов проверяются по условиям их работы в нормальном режиме эксплуатации – по допустимым систематическим нагрузкам, а в послеаварийном режиме – по допустимым аварийным перегрузкам.

Для нормального режима эксплуатации подстанции номинальные мощности трансформаторов проверяются по условию:

$$\frac{S_p}{n \cdot S_{нт}} \leq K_c,$$

где K_c - коэффициент допустимой систематической нагрузки трансформатора для значений среднесуточных температур расчетного сезона – v_{BT} .

Если значения среднесуточной температуры воздуха расчетного сезона отличны от v_{BT} , то коэффициенты допустимых систематических нагрузок трансформаторов рассчитываются по формуле

$$K_c = K_{cm} - \alpha \cdot (v_{\epsilon} - v_{\epsilon m}),$$

где α – расчетный температурный градиент, $1/^\circ\text{C}$;

K_{cm} – табличное значение коэффициента допустимой систематической нагрузки, соответствующее среднесуточной температуре расчетного сезона. При среднесуточной температуре зимнего сезона меньше -15°C , K_{cm} определяется для $v_{BT} = -15^\circ\text{C}$.

При отсутствии возможности резервирования или отключения в послеаварийном режиме части нагрузки подстанции, выбор установленной мощности трансформаторов двухтрансформаторных подстанций производится по послеаварийному режиму из условия отключения одного из трансформаторов и обеспечения другим всей нагрузки подстанции:

$$\frac{S_p}{S_{nm}} \leq K_{ав},$$

где $K_{ав}$ – коэффициент допустимой аварийной перегрузки трансформатора, определяется по аналогии с K_c .

Для ТП1 по расчетной мощности 70 кВА (шифр нагрузки 3.1) из таблицы интервалов принимаем номинальную мощность трансформатора 40 кВА. Проверяем для нормального режима работы:

$$\frac{S_p}{n \cdot S_{nm}} = \frac{70}{1 \cdot 40} = 1,75 \leq K_c = 1,65.$$

Условие не выполняется, принимаем номинальную мощность трансформатора 63 кВА, тогда

$$\frac{S_p}{n \cdot S_{nm}} = \frac{70}{1 \cdot 63} = 1,11 \leq K_c = 1,65. \text{ Выбор мощностей для остальных ТП производится}$$

аналогично, результаты расчета сведены в таблицу 4.

Таблица 4 – Выбор трансформаторов для потребительских ТП

№ ТП	$S_{расч}$, кВА	Тип	$S_{Тн}$, кВА	$U_{внн}$, кВ	$U_{ннн}$, кВ	ΔP_x , кВт	ΔP_k , Вт	u_k , %	ПБВ, %	ΔW_T , кВтч/г
1	70	ТМ	63	10	0,4	0,24	1,28	4,5	$\pm 2 \times 2,5$	4155
2	141	ТМ	100	10	0,4	0,33	1,97	4,5	$\pm 2 \times 2,5$	8374
3	84	ТМ	63	10	0,4	0,24	1,28	4,5	$\pm 2 \times 2,5$	5061
Итого			226							17593

Потери энергии в трансформаторах:

$$\Delta W_m = \Delta P_k \cdot \left(\frac{S_{расч}}{S_{мн}} \right)^2 \cdot \tau + \Delta P_x \cdot 8760$$

где ΔP_x и ΔP_k – потери мощности холостого хода и короткого замыкания в трансформаторе;
 τ – время максимальных потерь.

Потери в трансформаторе ТП1:

$$\Delta W_m = \Delta P_k \cdot \left(\frac{S_{расч}}{S_{мн}} \right)^2 \cdot \tau + \Delta P_x \cdot 8760 = 1,28 \cdot \left(\frac{70}{63} \right)^2 \cdot 1300 + 0,24 \cdot 8760 = 4155 \text{ кВтч}$$

Расчет потерь электрической энергии для остальных трансформаторов производится аналогично, результаты расчета сведены в таблицу 4.

Критерии оценки задания

Критерий	Требования к студенту	Максимальное количество баллов
Содержание работы	- правильность применения методов подсчета нагрузок в сетях напряжением 0,38 кВ; - достоверность расчета мощности ввода силового трансформатора; - умение производить технические расчеты; - самостоятельность выполнения работы; - выводы по оценке технико – экономических характеристик трансформатора	12 баллов
Оформление работы	- работа отвечает основным требованиям к оформлению технического документа;	3 балла
Общее максимальное количество баллов		15

Тема 2.5 «Расчет разомкнутых сетей с равномерной и неравномерной нагрузкой фаз»

Тема 2.6 «Расчет замкнутых сетей»

Задание №7. Выполнить индивидуальное расчетное задание «Расчет и выбор проводов для воздушных линий напряжением 0,38 и 10кВ с дальнейшей проверкой на потери напряжения, мощности и энергии»

Цель выполнения: закрепление умений по подсчету нагрузок и потерь напряжения, мощности и энергии в сетях 0,38 и 10 кВ

Рекомендации по выполнению:

1. Повторить теоретический материал по теме Расчет разомкнутых сетей с равномерной и неравномерной нагрузкой с использованием конспекта, учебника или электронных ресурсов
2. Вычертить схему в соответствии с заданием (рисунок 3)
3. Нанести на схему исходные данные в соответствии с вариантом (приложение 4) с учетом результатов выполнения задания №6
4. Произвести электрический расчет воздушной линии 10 кВ.
5. Оценить качество напряжения у потребителей путем составления таблицы отклонений напряжений.
6. Произвести электрический расчет воздушных линий напряжением 0,38 кВ
7. Сделать вывод о качестве передачи электрической энергии

Пример выполнения задания

Электрический расчет воздушных линий ВЛ производится с целью выбора марки и сечения проводов и определения потерь напряжения и энергии (табл. 5). Рекомендуется следующий порядок расчета.

Вычерчивают расчетную схему линии 10 кВ с указанием нагрузок всех ТП (данные таблицы 3) и длин участков линии. Записываются в табл. 5 номера и длины участков линии. Подсчитываются суммы активных и реактивных мощностей потребительских ТП, находящихся за расчетным участком. По количеству трансформаторов за участком выбирается коэффициент одновременности.

Определяются расчетные мощности и токи участка.

В целях удобства монтажа в линии обычно монтируются не более трех марок проводов. Минимально допустимые сечения сталеалюминевых проводов ВЛ 10 кВ по условиям механической прочности должны быть в районах с нормативной толщиной стенки гололеда до 10 мм – 35 мм², 15-20 мм – 50 мм² и более 20 – 70 мм². Сечение сталеалюминевых проводов на магистрали ВЛ 10 кВ должно быть не менее 70 мм².

Выбирается сечение проводов по экономическим интервалам нагрузки с учетом надежности. По $F_{расч}$ принимается ближайшее стандартное.

Выбранное сечение проводов проверяется по допустимому нагреву:

$$I_{доп} \geq I_{p \max}$$

Для выбранных проводов выписывается сопротивление 1 км: активное r_0 и индуктивное x_0 ; для определения x_0 необходимо принять среднее геометрическое расстояние между проводами (для ВЛ 10 кВ чаще всего принимают $D_{cp}=1500$ мм). Данные по проводам сводятся в таблицу 6.

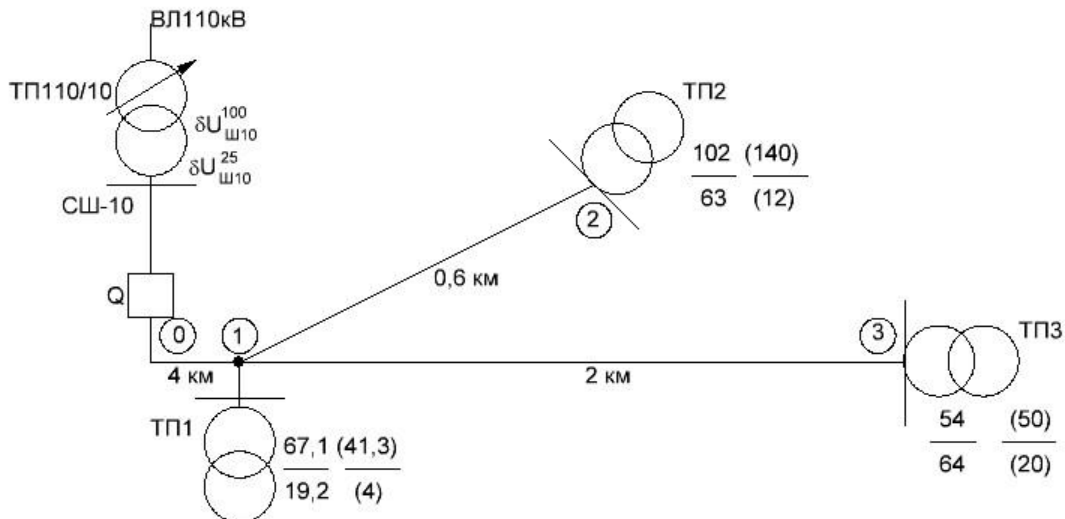


Рисунок 3 – Расчетная схема ВЛ 10 кВ

Рассчитываются потери напряжения на участках в процентах:

$$\Delta U_{\partial} \% = \frac{(P_{\partial} \cdot r_0 + Q_{\partial} \cdot x_0) \cdot l}{U_n^2} \cdot 100,$$

$$\Delta U_{\varepsilon} \% = \frac{(P_{\varepsilon} \cdot r_0 + Q_{\varepsilon} \cdot x_0) \cdot l}{U_n^2} \cdot 100,$$

где P и Q – мощности, протекающие по участку, Вт и ВАр;

l – длина участка, км;

U_n – номинальное напряжение сети, В;

r_0 и x_0 – погонное сопротивление 1 км провода, Ом/км.

Подсчитываются потери напряжения от шин 10 кВ ГПП до конца расчетного участка путем суммирования потерь напряжения тех участков, по которым протекает мощность рассматриваемого участка.

Определяются потери электрической энергии на участках:

$$\Delta W = 3 \cdot I_{p \max}^2 \cdot r_0 \cdot l \cdot \tau \cdot 10^{-3}, \text{ кВтч}$$

Подсчитываются потери энергии по всей линии. Эти потери необходимо оценить в процентах от годового потребления электроэнергии населенным пунктом:

$$\Delta W_{\partial} \% = \frac{\Delta W}{W_{\partial}} \cdot 100,$$

где $W_{\partial} = P_{расч} \cdot T_{\max}$ – передаваемая за год по ВЛ 10 кВ электроэнергия, кВтч;

$P_{расч}$ – расчетная мощность ВЛ 10 кВ (таблица 5).

Здесь же необходимо оценить потери электроэнергии в потребительских трансформаторах:

$$\Delta W_m \% = \frac{\Delta W_m}{W_{\partial}} \cdot 100,$$

где ΔW_T – суммарные потери электроэнергии во всех ТП (табл. 4).

Для рассматриваемого примера на участке 0-1 по большему значению тока 13,1 А (таблица 5) выбираем провод марки АС70, т.к. на магистрали (участок 0-1) сечение должно быть не менее 70 мм². На ответвлениях по интервалам экономических нагрузок принимаем провод АС35. Данные по проводам сводятся в таблицу 6.

Таблица 6 – Данные проводов ВЛ 10 кВ

Провод	D _{ср} , мм	r ₀ , Ом/км	x ₀ , Ом/км	I _{p max} , А	I _{доп} , А
АС35	1500	0,773	0,403	8,15	170
АС70	1500	0,42	0,392	13,1	265

Проверяем выбранный провод на потери напряжения:

$$\Delta U_{\partial 01} \% = \frac{(P_{\partial 01} \cdot r_0 + Q_{\partial 01} \cdot x_0) \cdot l_{01}}{U_n^2} \cdot 100 = \frac{(190000 \cdot 0,42 + 124000 \cdot 0,392) \cdot 4}{10000^2} \cdot 100 = 0,514 \%,$$

$$\Delta U_{\epsilon 01} \% = \frac{(P_{\epsilon 01} \cdot r_0 + Q_{\epsilon 01} \cdot x_0) \cdot l_{01}}{U_n^2} \cdot 100 = \frac{(196000 \cdot 0,42 + 30000 \cdot 0,392) \cdot 4}{10000^2} \cdot 100 = 0,376 \%,$$

аналогично рассчитываются остальные участки, результаты сведены в таблицу 5.

Потери напряжения по всей длине линии от ГПП до конца линии составят $\Delta U_{02} = 0,577 \%$, $\Delta U_{03} = 0,649 \%$, что не выходит за пределы нормы.

Потери электроэнергии на участках:

$$\Delta W_{01} = 3 \cdot I_{p \max 01}^2 \cdot r_0 \cdot l_{01} \cdot \tau \cdot 10^{-3} = 3 \cdot 13,1^2 \cdot 0,42 \cdot 4 \cdot 1400 \cdot 10^{-3} = 1211 \text{ кВтч},$$

На остальных участках потери электроэнергии определяются аналогично, результаты сведены в таблицу 5. Потери в линии необходимо оценить в процентах от годового потребления электроэнергии населенным пунктом:

$$\Delta W_{л} \% = \frac{\Delta W}{W_{зод}} \cdot 100 = \frac{1446}{513000} \cdot 100 = 0,28 \%,$$

где $W_{зод} = P_{расч} \cdot T_{max} = 190 \cdot 2700 = 513000 \text{ кВтч}$ - передаваемая за год по ВЛ 10 кВ электроэнергия, кВтч.

Потери электроэнергии в потребительских трансформаторах:

$$\Delta W_m \% = \frac{\Delta W_m}{W_{зод}} \cdot 100 = \frac{17593}{513000} \cdot 100 = 3,43 \%.$$

Для оценки качества напряжения у потребителей составляется таблица отклонений напряжения (табл. 7), из которой определяется допустимая потеря напряжения $\Delta U_{доп}$ в линиях 0,38 кВ. Таблица составляется для ближайшей расчетной и удаленной трансформаторных подстанций, в проекте ТП 1 является ближайшей и расчетной. Удаленной считается ТП, потери напряжения до которой от ГПП имеют наибольшую величину. Из таблицы выясняется, есть ли необходимость в применении дополнительных технических средств для поддержания напряжения у потребителей в допустимых пределах.

Отклонение напряжения в любой точке электропередачи:

$$\delta U_i \% = \sum_{i=1}^n \delta U_i \pm \sum_{i=1}^m \Delta U_i,$$

где $\sum_{i=1}^n \delta U_i$ – сумма надбавок от ГПП до рассматриваемой точки с учетом знака, %;

$\sum_{i=1}^m \Delta U_i$ – сумма потерь напряжения от ГПП до рассматриваемой точки, %.

В качестве минимальной нагрузки рассматривается режим 25-процентной нагрузки, при которой потери напряжения принимаются равными 1/4 части максимальных потерь.

Таблица 5 – Электрический расчет ВЛ 10 кВ

участок		сумма мощностей ТП за участком				количество ТП за участком, шт	коэффициент одновременности	расчетная мощность участка						рабочий ток, А		марка и сечение провода	потери напряжения ΔU , %				потери электроэнергии ΔW , кВтчг
номер	длина, км	активных, кВт		реактивных, кВАр				активная, кВт		реактивная, кВАр		полная, кВА		I_D	I_B		днем		вечером		
		$\sum P_{Di}$	$\sum P_{Bi}$	$\sum Q_{Di}$	$\sum Q_{Bi}$			P_D	P_B	Q_D	Q_B	S_D	S_B				на участке	от ГПП	на участке	от ГПП	
0-1	4	223	231	146	36	3	0,85	190	196	124	30	227	198	13,1	11,5	АС70	0,514	0,514	0,376	0,376	1211
1-2	0,6	102	140	63	12	1	1	102	140	63	12	120	141	6,94	8,15	АС35	0,063	0,577	0,068	0,444	94
1-3	2	54	50	64	20	1	1	54	50	64	20	84	54	4,86	3,12	АС35	0,135	0,649	0,093	0,469	141
итого 1446																					

В потребительских трансформаторах рассчитываются потери напряжения, %:

$$\Delta U_m \% = \frac{P \cdot R_m + Q \cdot X_m}{U_{mн}^2} \cdot 100,$$

где P и Q – активная и реактивная мощности, протекающие через трансформатор (дневные и вечерние), полная мощность которых наибольшая;

$U_{Тн}$ – номинальное напряжение трансформатора (обмотки высшего напряжения);

R_T и X_T – активное и индуктивное сопротивления трансформатора:

$$R_m = \frac{\Delta P_{\kappa} \cdot U_{mн}^2}{S_{mн}^2},$$

$$X_m = \frac{U_p \%}{100} \cdot \frac{U_{mн}^2}{S_{mн}},$$

где $S_{Тн}$ – номинальная мощность трансформатора, ВА;

$U_p\%$ – составляющая потери напряжения в реактивных сопротивлениях, определяемая через U_{κ} по выражению:

$$U_p \% = \sqrt{(U_{\kappa} \%)^2 - \left(\frac{\Delta P_{\kappa}}{S_{mн}} \cdot 100 \right)^2}.$$

Регулируемая надбавка ПБВ трансформатора подбирается таким образом, чтобы отклонение напряжения $\delta U_{ш0,4}^{25}$ на шинах 0,4 кВ не выходило за допустимые пределы: +5 % - для потребителей I и II* категорий надежности; +7,5% для потребителей II и III категорий надежности.

Допустимая потеря напряжения во всей линии 0,38 кВ (по абсолютной величине) определяется как разница между отклонением напряжения на шинах 0,4 кВ в 100%-м режиме и допустимым отклонением напряжения у потребителя:

$$\Delta U'_{доп} = \delta U_{ш0,4}^{100} - \delta U_{доп}^{100}.$$

Эта потеря разделяется на две части. Одна часть $\Delta U'' = 2,0\%$ оставляется, согласно ПУЭ, на линию внутри помещений, другая – на наружную линию (в примере $\Delta U_{доп} = 6,602\%$), по которой рассчитываются все наружные линии 0,38 кВ, отходящие от ТП1. При этом для каждой линии 0,38 кВ должно соблюдаться условие:

$$\Delta U_{факт} \leq \Delta U_{доп}.$$

Величина $\Delta U_{доп}$ влияет на выбор сечения провода ВЛ 0,38 кВ: чем больше $\Delta U_{доп}$, тем меньше сечение провода.

Рекомендуется устанавливать $\Delta U_{доп} \geq 6\%$. При невыполнении этого условия предлагаются следующие технические мероприятия:

- уменьшить $\Delta U''$ до 1...0,6 %, если линии внутри помещения небольшой длины (например, к линии подключены жилые дома);
- увеличить сечение проводов на некоторых участках ВЛ 10 кВ.
- установить продольно-емкостную компенсацию реактивного сопротивления;
- предусмотреть замену на ГПП трансформатора с ПБВ на трансформатор с РПН и с помощью последнего создать на шинах 110 (35) кВ режим встречного регулирования напряжения.

В практике принятие технических мероприятий обычно рассматривается в указанной последовательности, окончательное решение принимается после технико-экономического сравнения вариантов.

В примере ближайшей трансформаторной подстанцией является ТП1, а удаленной ТП3, т.к. потери напряжения в линии до нее больше, чем до остальных ТП.

На ТП1 установлен трансформатор ТМ 63, его сопротивления составят:

$$R_m = \frac{\Delta P_\kappa \cdot U_{mн}^2}{S_{mн}^2} = \frac{1280 \cdot 10000^2}{63000^2} = 32,2 \text{ Ом},$$

$$X_m = \frac{U_p \%}{100} \cdot \frac{U_{mн}^2}{S_{mн}} = \frac{4,01}{100} \cdot \frac{10000^2}{63000} = 63,7 \text{ Ом},$$

$$U_p \% = \sqrt{(U_\kappa \%)^2 - \left(\frac{\Delta P_\kappa}{S_{mн}} \cdot 100 \right)^2} = \sqrt{4,5^2 - \left(\frac{1280}{63000} \cdot 100 \right)^2} = 4,01 \%,$$

тогда потери напряжения в нем составят в 100% режиме:

$$\Delta U_m \% = \frac{P \cdot R_m + Q \cdot X_m}{U_{mн}^2} \cdot 100 = \frac{67100 \cdot 32,2 + 19200 \cdot 63,7}{10000^2} \cdot 100 = 3,384 \%;$$

в 25% режиме в 4 раза меньше: $\Delta U_m^{25} = \frac{3,384}{4} = 0,846 \%$.

На ТПЗ установлен трансформатор ТМ 63, его сопротивления составят:

$$R_m = \frac{\Delta P_\kappa \cdot U_{mн}^2}{S_{mн}^2} = \frac{1280 \cdot 10000^2}{63000^2} = 32,2 \text{ Ом},$$

$$X_m = \frac{U_p \%}{100} \cdot \frac{U_{mн}^2}{S_{mн}} = \frac{4,01}{100} \cdot \frac{10000^2}{63000} = 63,7 \text{ Ом},$$

$$U_p \% = \sqrt{(U_\kappa \%)^2 - \left(\frac{\Delta P_\kappa}{S_{mн}} \cdot 100 \right)^2} = \sqrt{4,5^2 - \left(\frac{1280}{63000} \cdot 100 \right)^2} = 4,01 \%,$$

тогда потери напряжения в нем составят в 100% режиме:

$$\Delta U_m \% = \frac{P \cdot R_m + Q \cdot X_m}{U_{mн}^2} \cdot 100 = \frac{54000 \cdot 32,2 + 64000 \cdot 63,7}{10000^2} \cdot 100 = 5,816 \%;$$

в 25% режиме в 4 раза меньше: $\Delta U_m^{25} = \frac{5,816}{4} = 1,454 \%$.

Отклонение напряжения на шинах ГПП принимается по исходным данным проекта:

$\delta U_{ш10}^{100} = +5\%$, $\delta U_{ш10}^{25} = 0\%$. Потери напряжения в линии в 100% режиме принимается из расчетов (таблица 5) для БТП $\Delta U_{10}^{100} = 0,514\%$, для УТП (ТПЗ) $\Delta U_{10}^{100} = 0,649\%$; в 25%

режиме соответственно в 4 раза меньше для БТП $\Delta U_{10}^{25} = \frac{0,514}{4} = 0,129\%$, для УТП

$\Delta U_{10}^{25} = \frac{0,649}{4} = 0,162\%$. Конструктивная надбавка в трансформаторе принимается +5%,

регулируемая выбирается так, чтобы выполнялись вышеизложенные требования. Все параметры, влияющие на уровень напряжения вносят в таблицу отклонений напряжений (таблица 7).

В наружных линиях 0,38 кВ провода выбираются по допустимой потере напряжения или по экономическим интервалам нагрузок. Выбранные провода проверяются по нагреву.

Выбор проводов в линии Л1

К линии Л1 подключен потребитель, имеющий крупный асинхронный электродвигатель, при запуске которого протекают большие пусковые токи, вызывая значительные потери напряжения. Поэтому для Л1 провода рекомендуется выбирать по экономическим интервалам, в этом случае сечение чаще всего получается больше, чем при расчете по $\Delta U_{доп}$.

Выбирается провод в зависимости от нагрузки (см. табл.3)

Выбранное сечение проводов проверяется по допустимому нагреву.

Таблица 7 – Оценка качества напряжения у потребителей

Элемент электропередачи	Величина	Ближайшая (ТП1) ТП10/0,4 кВ		Удаленная (ТП3) ТП 10/0,4 кВ	
		Нагрузка, %			
		100	25	100	25
Шины 10 кВ ГПП	δU_{u10}	+5	0	+5	0
Линия 10 кВ	ΔU_{10}	-0,514	-0,129	-0,649	-0,162
Трансформатор 10/0,4:					
потеря напряжения	ΔU_m	-3,384	-0,846	-5,816	-1,454
надбавка конструктивная	δU_{m-}	+5	+5	+5	+5
надбавка регулируемая	$\delta U_{m\approx}$	-2,5	-2,5	0	0
Шины 0,4 кВ	$\delta U_{u0,4}$	+3,602	+1,525	+3,535	+3,384
Линия 0,38 кВ:	$\Delta U'$	-8,602	0	-8,535	0
наружная часть	$\Delta U_{дон}$	-6,602	0	-6,535	0
внутренняя часть	$\Delta U''$	-2,0	0	-2,0	0
Удаленный потребитель	$\delta U_{дон}$	-5,0	+5,0	-5,0	+5,0
	$\delta U_{факт}$	-4,399	+1,525	-	-

Пример расчета Л1.

По наибольшему значению полной мощности 35,5 кВА, входящему в интервал 33...50 по таблице 19 выбираем провод А70. Выбранное сечение проверяем по допустимому нагреву: $I_{дон} = 265 A \geq I_{p\max} = 53,7 A$. Условие выполняется провод по нагреву проходит. Рассчитываем потери напряжения в линии:

$$\Delta U_{\delta Л} \% = \frac{(P_{\delta Л} \cdot r_0 + Q_{\delta Л} \cdot x_0) \cdot l_{Л1}}{U_n^2} \cdot 100 = \frac{(23000 \cdot 0,412 + 27000 \cdot 0,309) \cdot 0,1}{380^2} \cdot 100 = 1,234 \%,$$

$$\Delta U_{\epsilon Л} \% = \frac{(P_{\epsilon Л} \cdot r_0 + Q_{\epsilon Л} \cdot x_0) \cdot l_{Л1}}{U_n^2} \cdot 100 = \frac{(2000 \cdot 0,412 + 0 \cdot 0,309) \cdot 0,1}{380^2} \cdot 100 = 0,057 \%,$$

фактические потери напряжения $\Delta U_{факт} = 1,234 \% \leq \Delta U_{дон} = 6,602 \%$. Провод на потери напряжения проходит.

Пример расчета для Л2

В линии Л2 сечение проводов рекомендуется выбирать по допустимой потере напряжения.

$$\Delta U_p \% = \frac{Q \cdot x_0 \cdot l}{U_n^2} \cdot 100 = \frac{15500 \cdot 0,4 \cdot 0,25 \cdot 100}{380^2} = 1,073 \%,$$

$$\Delta U_{адон} \% = \Delta U_{дон} \% - \Delta U_p \% = 6,602 - 1,073 = 5,529 \%$$

Расчетное сечение проводов:

$$F_{расч} = \frac{P \cdot l \cdot 100}{\gamma \cdot \Delta U_{адон} \% \cdot U_n^2} = \frac{24800 \cdot 250 \cdot 100}{32 \cdot 5,529 \cdot 380^2} = 24 \text{ мм}^2,$$

Выбирается стандартное сечение провода:

$$F_{станд} = 25 \text{ мм}^2 \geq F_{расч} = 24 \text{ мм}^2.$$

Принимаем провод А25, проверяем выбранный провод по нагреву:

$I_{дон} = 135 A \geq I_{p\max} = 44,3 A$. Условие выполняется провод по нагреву проходит.

Рассчитываем потери напряжения в линии:

$$\Delta U_{\text{дл2}} \% = \frac{(24800 \cdot 1,140 + 15500 \cdot 0,345) \cdot 0,25}{380^2} \cdot 100 = 5,821 \%, \text{ фактические потери напряжения}$$

$$\Delta U_{\text{факт}} = 5,821 \% \leq \Delta U_{\text{доп}} = 6,602 \%. \text{ Провод на потери напряжения проходит.}$$

Аналогично рассчитывается линия ЛЗ. Данные по расчету сводятся в таблицу 8.

Таблица 8 – Сводные данные расчета линий 0,38 кВ

Линия	Провод	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	$I_{p \text{ max}}$, А	$I_{\text{доп}}$, А	$\Delta U_{\text{факт}}$, %	$\Delta U_{\text{доп}}$, %
Л1	A70	0,412	0,309	53,7	265	1,234	6,602
Л2	A25	1,140	0,345	44,3	135	5,821	6,602
ЛЗ	A35	0,830	0,336	85,8	170	6,001	6,602

Определяется фактическое отклонение напряжения у самого удаленного потребителя для всех трех линий. На сколько наибольшая $\Delta U_{\text{факт}}$ меньше $\Delta U_{\text{доп}}$, на столько же $\delta U_{\text{факт}}$ у удаленного потребителя будет меньше $\delta U_{\text{доп}}$:

$$\delta U_{\text{факт}} \% = \delta U_{\text{доп}} \% - (\Delta U_{\text{доп}} \% - \Delta U_{\text{факт}} \%).$$

В примере $\delta U_{\text{факт}} \% = -5 - (-6,602 - (-6,001)) = -4,399 \%$. Полученное значение $\delta U_{\text{факт}}$ записывается в таблицу 8.

Критерии оценки задания

Критерий	Требования к студенту	Максимальное количество баллов
Содержание работы	- правильность применения методов электрического расчета линий напряжением 10 и 0,38 кВ; - умение производить технические расчеты; - самостоятельность выполнения работы; - выводы по оценке качества напряжения у потребителей	12 баллов
Оформление работы	- работа отвечает основным требованиям к оформлению технического документа;	3 балла
Общее максимальное количество баллов		15

Тема 2.6 «Короткие замыкания» Тема 2.7 «Схемы районных и потребительских трансформаторных подстанций»

Задание №8. Выполнить индивидуальное задание «Выбор оборудования трансформаторных подстанций с дальнейшей проверкой на термическую и динамическую стойкость» в соответствии со схемой задания 4

Цель выполнения: закрепление умений по выбору высоковольтного оборудования и проверки его на термическую и динамическую устойчивость

Рекомендации по выполнению:

1. Повторить теоретический материал по теме Расчет токов короткого замыкания, Выбор высоковольтного оборудования с использованием конспекта, учебника или электронных ресурсов
2. Вычертить схему в соответствии с заданием (рисунок 4)
3. Нанести на схему исходные данные в соответствии с вариантом (приложение 5) с учетом результатов выполнения задания №4
4. Произвести расчет токов короткого замыкания в точках К1 и К2.
5. Произвести выбор высоковольтного оборудования в соответствии с заданной схемой подстанции.

6. Произвести проверку на термическую и динамическую стойкость выбранное высоковольтное оборудование.
7. Сделать вывод о термической и динамической стойкости выбранного оборудования.
8. Составить перечень высоковольтного оборудования согласно схеме подстанции.

Пример выполнения задания

Исходные данные: система: $S_{кз} = 500 \text{ МВА}$

ВЛ: $U_{н1} = 110 \text{ кВ}$, $l = 5 \text{ км}$, марка провода АС – 70

Трансформатор: $S_{н} = 10000 \text{ кВА}$, $u_{к} \% = 10,5\%$, $U_{н1} = 110 \text{ кВ}$, $U_{н2} = 10 \text{ кВ}$, $I_{раб.мах} = 300 \text{ А}$

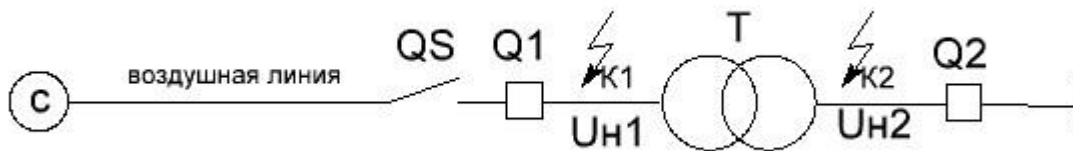


Рисунок 4 – Исходная схема к заданию 8

1. На основании исходной схемы составляется схема замещения, где все элементы сети заменяются своими сопротивлениями (рисунок 5).

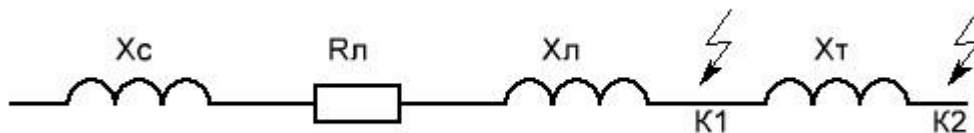


Рисунок 5 – Схема замещения

2. Принимаем базисные условия:

$$S_{баз} = 100 \text{ МВА}, U_{баз1} = 1,05 \times U_{н1} = 1,05 \times 110 = 115,5 \text{ кВ},$$

$$U_{баз2} = 1,05 \times U_{н2} = 1,05 \times 10 = 10,5 \text{ кВ}$$

3. Сопротивления элементов сети в относительных единицах:

$$X_{с*} = \frac{S_{баз}}{S_{к.з.}} = \frac{100}{500} = 0,2$$

$$R_{л*} = r_0 \times l \times \left(\frac{S_{баз}}{U_{баз}^2} \right) = 0,420 \times 5 \times \left(\frac{100}{115,5^2} \right) = 0,0157$$

$$X_{л*} = x_0 \times l \times \left(\frac{S_{баз}}{U_{баз}^2} \right) = 0,410 \times 5 \times \left(\frac{100}{115,5^2} \right) = 0,0154$$

$$X_{тп.*} = \left(\frac{U_{к} \%}{100\%} \right) \times \left(\frac{S_{баз}}{S_{ном}} \right) = \left(\frac{10,5}{100} \right) \times \left(\frac{100}{10} \right) = 1,05$$

4. Результирующие сопротивления до точек короткого замыкания:

$$Z_{рез1*} = \sqrt{R_{л*}^2 + (X_{с*} + X_{л*})^2} = \sqrt{0,0157^2 + (0,2 + 0,0154)^2} = 0,215$$

$$Z_{рез2*} = \sqrt{R_{л*}^2 + (X_{с*} + X_{л*} + X_{тп.*})^2} = \sqrt{0,0157^2 + (0,2 + 0,0154 + 1,05)^2} = 1,265$$

5. Базисные токи (в схеме с трансформатором определяется два значения):

$$I_{б1} = \frac{S_{баз}}{\sqrt{3} \times U_{баз1}} = \frac{100}{1,73 \times 115,5} = 0,5 \text{ кА}$$

$$I_{\delta 2} = \frac{S_{\delta a 3}}{\sqrt{3} \times U_{\delta a 3 2}} = \frac{100}{1,73 \times 10,5} = 5,5 \text{ кА}$$

6. Токи короткого замыкания:

Точка К1

$$I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{I_{\delta 1}}{Z_{p1*}} = \frac{0,5}{0,215} = 2,326 \text{ кА}$$

$$I_{\kappa 1}^{(2)} = \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \right) \times I_{\kappa 1}^{(3)} = 0,87 \times 2,326 = 2,024 \text{ кА}$$

$$i_{y\delta 1} = \sqrt{2} \times K_{y\delta} \times I_{\kappa 1}^{(3)} = 1,41 \times 1,8 \times 2,326 = 5,903 \text{ кА}$$

Точка К2

$$I_{\kappa 2}^{(3)} = \frac{I_{\delta 2}}{Z_{p2*}} = \frac{5,5}{1,265} = 4,348 \text{ кА}$$

$$I_{\kappa 2}^{(2)} = \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \right) \times I_{\kappa 2}^{(3)} = 0,87 \times 4,348 = 3,783 \text{ кА}$$

$$i_{y\delta 2} = \sqrt{2} \times K_{y\delta} \times I_{\kappa 2}^{(3)} = 1,41 \times 1,2 \times 4,348 = 7,357 \text{ кА}$$

7. Выбор выключателя Q:

При выборе аппаратов по условиям нормального режима с учетом конструкции и рода установки (для внутренней или наружной, для комплектных подстанций и ячеек распределительных устройств) сравнивают номинальное напряжение $U_{н.ап}$ и номинальный ток $I_{н.ап}$ аппарата с параметрами сети в месте установки аппарата:

$$U_{н.ап} = 110 \text{ кВ} \geq U_{н.с} = 110 \text{ кВ};$$

$$I_{н.ап} = 1000 \text{ А} \geq I_{раб\max} = 300 \text{ А},$$

где $U_{н.с}$ – напряжение сети в месте установки выбираемого аппарата;

$I_{раб\max}$ – максимальный рабочий ток в месте установки аппарата.

К установке предлагается маломасляный выключатель типа ВМТ – 110Б – 20.

Электродинамическая стойкость характеризуется максимально допустимым (предельным сквозным) током данного аппарата i_{\max} (I_{\max}), указанным в каталоге или паспорте. Этот ток должен быть больше ударного тока при трехфазном к.з i_y (I_y) в месте установки аппарата, т.е.

$$i_{\max} = 52 \text{ кА} \geq i_y = 5,903 \text{ кА};$$

где i_{\max} , i_y – соответственно амплитудные или действующие значения токов.

Термическая стойкость обеспечена, если температура частей аппарата при к.з не превышает предельно допустимого значения для кратковременного режима. На практике сравнивают значения, пропорциональные количеству выделяемой теплоты, используя следующее неравенство:

$$I_{терм}^2 \cdot t_{терм} = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \text{ с} \geq I_n^2 \cdot t_{пр} = 2,326^2 \cdot 1,05 = 5,68 \text{ кА}^2 \text{ с},$$

где $I_{терм}$ – ток термической стойкости аппарата в течение допустимого времени к.з;

$t_{терм}$ – время протекания тока к.з (принимают по каталогу);

I_n – периодическая составляющая (установившееся значение) тока к.з, большее из двух значений трехфазного или двухфазного тока к.з;

$t_{пр}$ – приведенное (фиктивное) время к.з, за которое ток I_n оказывает такое же тепловое действие на токоведущие части, как изменяющийся ток к.з за время его фактического протекания.

Сельские сети удалены от источника питания, и периодическая составляющая тока к.з практически неизменна. Поэтому для сельских сетей $t_{пр}$ равно времени фактического отключения аварии $t_{факт} = t_{терм}$ и его можно принимать равным

$$t_{пр} = t_{рз} + t_{выкл} = 1 + 0,05 = 1,05 \text{ с},$$

где $t_{рз}$ – время срабатывания релейной защиты;

$t_{выкл}$ – собственное время отключения выключателя.

Т.к. условия проверки на термическую и электродинамическую устойчивость выполняются выключатель термически и динамически устойчив. Аналогично выбирается разъединитель.

Критерии оценки задания

Критерий	Требования к студенту	Максимальное количество баллов
Содержание работы	- правильность применения методов расчета токов короткого замыкания; - умение производить выбор высоковольтного оборудования; - умение производить технические расчеты; - самостоятельность выполнения работы; - выводы по термической и электродинамической стойкости выбранного оборудования	12 баллов
Оформление работы	- работа отвечает основным требованиям к оформлению технического документа;	3 балла
Общее максимальное количество баллов		15

Тема 2.8 «Релейная защита»

Задание №9. Выполнить индивидуальное задание «Расчет защит» в соответствии со схемой задания 6

Цель выполнения: закрепление умений по выбору защит воздушных линий электропередач и проверки их на чувствительность к минимальным токам короткого замыкания

Рекомендации по выполнению:

1. Повторить теоретический материал по теме Расчет токов короткого замыкания, Выбор защит воздушных линий с использованием конспекта, учебника или электронных ресурсов
2. Вычертить схему в соответствии с заданием (рисунок 6)
3. Нанести на схему исходные данные в соответствии с вариантом с учетом результатов выполнения задания № 6 и 7
4. Произвести расчет токов короткого замыкания в точках К1 и К2.
5. Произвести расчет и выбор автоматических выключателей для защиты воздушных линий напряжением 0,38 кВ.
6. Произвести проверку выбранных защит на чувствительность к минимальным токам короткого замыкания.
7. Сделать вывод о необходимости дополнительных защит и их селективности их действия.

Пример выполнения задания

1. Составляется расчетная схема для выбора защит согласно расчетам заданий 6 и 7 (рисунок 6).

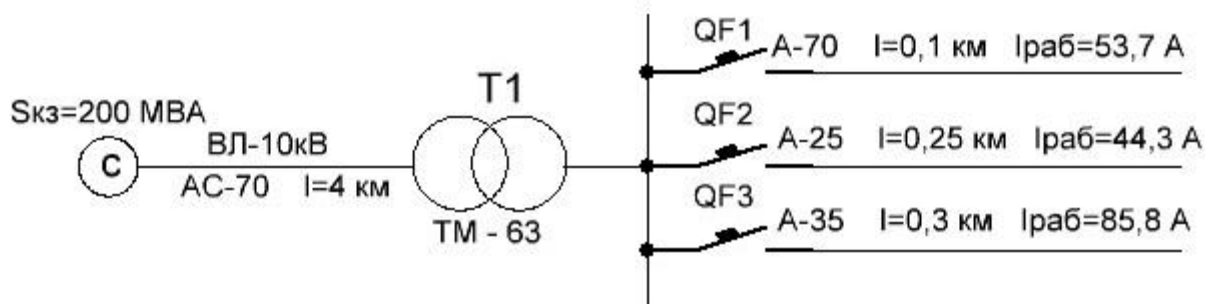


Рисунок 6 – Расчетная схема к заданию №9

2. Используя данные задания № 6 и 7 составить схему для расчета минимальных токов короткого замыкания

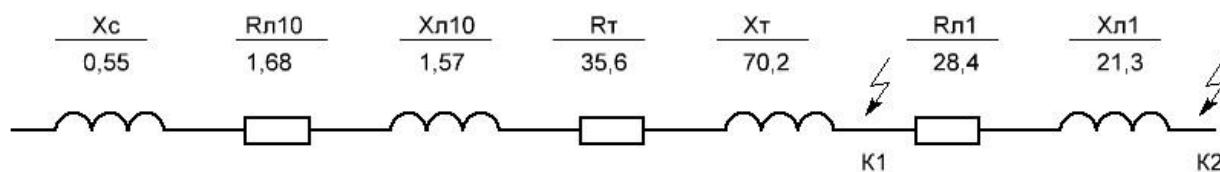


Рисунок 7 – Схема замещения для расчета токов короткого замыкания для ВЛ – 0,38 кВ №1

3. Расчет сопротивлений, входящих в схему замещения для определения токов короткого замыкания

$$\text{Сопротивление системы: } X_{c\delta} = \frac{U_{\delta}^2}{S_{\kappa}^{(3)}} = \frac{10500^2}{200000000} = 0,55 \text{ Ом.}$$

Сопротивление трансформатора:

$$R_{m\delta} = \frac{\Delta P_{\kappa}}{S_{mн}} \cdot \frac{U_{\delta}^2}{S_{mн}} = \frac{1280}{63000} \cdot \frac{10500^2}{63000} = 35,6 \text{ Ом;}$$

$$X_{m\delta} = \frac{U_p \%}{100} \cdot \frac{U_{\delta}^2}{S_{mн}} = \frac{4,01}{100} \cdot \frac{10500^2}{63000} = 70,2 \text{ Ом.}$$

$$\text{Сопротивление линии: } R_{Л10} = r_{0,AC70} \cdot l_{01} \cdot \left(\frac{U_{\delta}}{U_{cнoм}} \right)^2 = 0,42 \cdot 4 \cdot \left(\frac{10500}{10500} \right)^2 = 1,68 \text{ Ом;}$$

$$X_{Л10} = x_{0,AC70} \cdot l_{01} \cdot \left(\frac{U_{\delta}}{U_{cнoм}} \right)^2 = 0,392 \cdot 4 \cdot \left(\frac{10500}{10500} \right)^2 = 1,57 \text{ Ом.}$$

Сопротивление линии 0,38 кВ:

$$R_{Л1} = r_{0,А70} \cdot l_{Л1} \cdot \left(\frac{U_{\delta}}{U_{cнoм}} \right)^2 = 0,412 \cdot 0,1 \cdot \left(\frac{10500}{400} \right)^2 = 28,4 \text{ Ом;}$$

$$X_{Л1} = x_{0,А70} \cdot l_{Л1} \cdot \left(\frac{U_{\delta}}{U_{cнoм}} \right)^2 = 0,309 \cdot 0,1 \cdot \left(\frac{10500}{400} \right)^2 = 21,3 \text{ Ом.}$$

4. По найденным сопротивлениям определяются результирующие сопротивления от источника питания до места короткого замыкания. Например, до точки К1 (на шинах 0,4 кВ ТП1):

$$Z_{\delta\Sigma 1} = \sqrt{R_{\delta\Sigma 1}^2 + X_{\delta\Sigma 1}^2} = \sqrt{(1,68 + 35,6)^2 + (0,55 + 1,57 + 70,2)^2} = 81,4 \text{ Ом.}$$

до точки К2 (в конце ВЛ – 0,38кВ №1):

$$Z_{\delta\Sigma 2} = \sqrt{R_{\delta\Sigma 2}^2 + X_{\delta\Sigma 2}^2} = \sqrt{(1,68 + 35,6 + 28,4)^2 + (0,55 + 1,57 + 70,2 + 21,3)^2} = 114 \text{ Ом.}$$

5. Токи короткого замыкания:

Для точки К1:

$$\text{Трехфазный: } I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{U_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\delta\Sigma 1}} \cdot \frac{U_{\delta}}{U_{cнoм}} = \frac{10,5}{1,73 \cdot 81,4} \cdot \frac{10,5}{0,4} = 1,96 \text{ кА}$$

$$\text{Двухфазный: } I_{\kappa 1}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{\kappa 1}^{(3)} \approx 0,87 \cdot I_{\kappa 1}^{(3)} = 0,87 \cdot 1,96 = 1,71 \text{ кА}$$

Для точки К2:

Трехфазный ток к.з:

$$I_{\kappa 2}^{(3)} = \frac{U_{\phi}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma 2}} \cdot \frac{U_{\phi}}{U_{cном}} = \frac{10,5}{1,73 \cdot 114} \cdot \frac{10,5}{0,4} = 1,40 \text{ кА},$$

Двухфазный ток к.з:

$$I_{\kappa 2}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{\kappa 2}^{(3)} \approx 0,87 \cdot I_{\kappa 2}^{(3)} = 0,87 \cdot 1,40 = 1,22 \text{ кА},$$

6. Минимальное фазное напряжение на шинах 0,4 кВ ТП1:

$$U_{\phi \min} = 220 \cdot \left(1 \pm \frac{\delta U_{u0,4}}{100} \right) = 220 \cdot \left(1 + \frac{1,525}{100} \right) = 223 \text{ В},$$

7. Однофазный ток короткого замыкания в конце ВЛ – 0,38кВ №1:

$$I_{\kappa 2}^{(1)} = \frac{U_{\phi \min}}{\frac{1}{3} \cdot Z_m^{(1)} + Z_n} = \frac{223}{0,41 + 0,102} = 436 \text{ А},$$

Z_n – полное сопротивление петли «фаза-нуль» от шин 0,4 кВ ТП до конца линии 0,38 кВ:

$$Z_n = L \cdot \sqrt{(r_{0\phi} + r_{0N})^2 + x_{нo}^2} = 0,1 \cdot \sqrt{(0,412 + 0,412)^2 + 0,6^2} = 0,102 \text{ Ом},$$

где $r_{0\phi}$ r_{0N} – активные сопротивления фазного и нулевого проводов,

L – длина линии;

$x_{нo}$ – индуктивное сопротивление току нулевой последовательности, равное 0,6 Ом/км.

Расчет токов короткого замыкания в конце воздушных линий 0,38кВ № 2 и 3 производится аналогично точке К2.

Защита линий 0,38 кВ (Л-1)

Расчет защиты начинается с выбора автоматического выключателя, установленного у потребителя (АВ1).

Для определения $I_{пуск дв}$ выбираем электродвигатель типа АИРР200S6 с номинальной мощностью 30 кВт (согласно приложению 4), $I_{ном} = 60,4 \text{ А}$; $k_i = 6$; $m_{п} = 2,2$.

Выбираем АВ (автоматический выключатель) серии ВА 57-31-34 с параметрами:

$$\begin{aligned} U_{ном АВ1} &= 660 \text{ В} \geq U_{номсети} = 380 \text{ В} \\ I_{ном АВ1} &= 100 \text{ А} \geq I_{рабmax} = 53,7 \text{ А} \\ I_{тр АВ1} &= 80 \text{ А} \geq 1,2 \cdot I_{рабmax} = 1,2 \cdot 53,7 = 64,4 \text{ А} \\ I_{элр АВ1} &= 800 \text{ А} \geq I_{пуск дв} = 6 \cdot 60,4 = 362 \text{ А} \end{aligned}$$

Выбор автоматического выключателя, установленного на подстанции в Л1 (АВ2)

Выбираем выключатель серии АЗ716Б по параметрам сети:

$$\begin{aligned} U_{ном АВ2} &= 660 \text{ В} \geq U_{номсети} = 380 \text{ В} \\ I_{ном АВ2} &= 160 \text{ А} \geq I_{рабmax} = 53,7 \text{ А} \end{aligned}$$

по условию селективности:

$$\begin{aligned} I_{тр АВ2} &= 100 \text{ А} > I_{тр АВ1} = 80 \text{ А} \\ I_{элр АВ2} &= 1600 \text{ А} > I_{элр АВ1} = 800 \text{ А} \end{aligned}$$

Оценка чувствительности защиты Л1

$$\begin{aligned} K_{чтр} &= \frac{I_{\kappa \min K2}^{(1)}}{I_{тр АВ2}} = \frac{436}{100} = 4,36 \geq 3 \\ K_{чэр} &= \frac{I_{\kappa \max K1}^{(3)}}{I_{эр АВ2}} = \frac{1960}{1600} = 1,23 \geq 1,2 \end{aligned}$$

Таким образом, защита линии Л-1 автоматическим выключателем АЗ716Б чувствительна к токам перегрузки и обладает требуемой селективностью действия.

Критерии оценки задания

Критерий	Требования к студенту	Максимальное количество баллов
Содержание работы	- правильность применения методов расчета токов короткого замыкания; - умение производить расчет и выбор автоматического выключателя; - умение производить технические расчеты; - самостоятельность выполнения работы; - выводы по чувствительности защит к минимальным токам короткого замыкания	12 баллов
Оформление работы	- работа отвечает основным требованиям к оформлению технического документа;	3 балла
Общее максимальное количество баллов		15

Тема 2.9 «Автоматизация на электростанциях и подстанциях»

Задание №10. Составление сравнительной таблицы «Мероприятия по автоматизации сельских сетей и трансформаторных подстанций»

Цель выполнения: закрепление знаний по применению схем автоматизации на подстанциях и электростанциях

Рекомендации по выполнению:

1. Повторить теоретический материал по теме Автоматизация на электростанциях и подстанциях с использованием конспекта, учебника или электронных ресурсов
2. Вычертить форму сравнительной таблицы (приложение 6)
3. Заполнить таблицу с учетом теоретических знаний
4. Сделать вывод о применении различных схем автоматизации

Критерии оценки задания

Критерий	Требования к студенту	Максимальное количество баллов
Содержание работы	- правильность выбранных формулировок и свойств схем автоматизации; - умение читать электрические схемы; - самостоятельность выполнения работы;	12 баллов
Оформление работы	- работа отвечает основным требованиям к выполнению задания; - эстетический вид задания	3 балла
Общее максимальное количество баллов		15

Тема 2.10 «Атмосферные перенапряжения и защита от них»

Тема 2.11 «Заземляющие устройства»

Задание №11. Составление сравнительной таблицы «Мероприятия по охране труда и техники безопасности при эксплуатации воздушных и кабельных линий, трансформаторных подстанций»

Цель выполнения: закрепление знаний по охране труда и технике безопасности при эксплуатации воздушных и кабельных линий и трансформаторных подстанций

Рекомендации по выполнению:

1. Повторить теоретический материал по теме Атмосферные перенапряжения и защита от них, Заземляющие устройства, Эксплуатация воздушных и кабельных линий и

трансформаторных подстанций с использованием конспекта, учебника или электронных ресурсов

2. Вычертить форму сравнительной таблицы (приложение 7)

3. Заполнить таблицу с учетом теоретических знаний

4. Сделать вывод о необходимости соблюдения правил охраны труда и техники безопасности

Критерии оценки задания

Критерий	Требования к студенту	Максимальное количество баллов
Содержание работы	- правильность выбранных пунктов правил охраны труда и техники безопасности; - выделение организационных и технических мероприятий при подготовке рабочих мест; - самостоятельность выполнения работы;	12 баллов
Оформление работы	- работа отвечает основным требованиям к выполнению задания; - эстетический вид задания	3 балла
Общее максимальное количество баллов		15

Заключение

Самостоятельная работа развивает мышление, позволяет выявить причинно-следственные связи в изученном материале, углубляет знания, способствует формированию общих и профессиональных компетенций обучающегося.

Самостоятельная работа является одним из условий получения итоговой оценки по профессиональному модулю.

В данном пособии, разработанном для организации самостоятельной работы студентов, обучающихся по специальности 35.02.08 Электрификация и автоматизация сельского хозяйства по профессиональному модулю ПМ 02 Обеспечение электроснабжения сельскохозяйственных предприятий представлены основные формы самостоятельной работы студентов, порядок ее выполнения, критерии оценки. Кроме того, приведен список рекомендуемых источников.

Список литературы

Основные источники

1. Лещинская, Т.Б. Электроснабжение сельского хозяйства: учеб. пособие для студ. среднего проф. образования по специальности электрификация и автоматизация сельского хозяйства / Т.Б. Лещинская. – 2 –е изд., стереотип. – М.: КолосС, 2008. – 368 с.
2. Рожкова, Л. Д. Электрооборудование электростанций и подстанций: учебник для студ. среднего проф. образования/ Л. Д. Рожкова, Л.К.Карнеева, Т.В.Чиркова. – М.: Академия, 2008. – 448 с.

Дополнительные источники

Учебники:

1. Акимова, Н.А. Монтаж, техническая эксплуатация и ремонт электрического и электромеханического оборудования: учеб. пособие для сред. проф. образования / Н.А.Акимова, Н.Ф. Котеленец, Н.И. Сентюрихин. – 7 – е изд., стер. – М.: Издательский центр Академия, 2011. – 304с.
2. Воробьев, В.А.Эксплуатация и ремонт электрооборудования и средств автоматизации: учеб. пособие для средних учеб. заведений / В.А Воробьев. – М.: КолосС, 2005. – 336 с.
3. Кацман, М.М. Электрические машины: учеб. пособие для студ. среднего проф. образования / М.М. Кацман. – 9 –е изд., стереотип. – М.: Академия, 2008. – 496 с.
4. Коломиец, А.П. Монтаж электрооборудования и средств автоматизации: учебник / А.П.Коломиец, Н.П.Кондратьева, С.И.Юран, И.Р.Владыкин. – М.: КолосС, 2007. – 351с.
5. Конюхова, Е. А. Электроснабжение объектов: учеб. пособие для студ. среднего проф. образования/ Е. А. Конюхова. – М.: Мастерство, 2006. – 320 с.
6. Устройство, ремонт и обслуживание электрооборудования в сельскохозяйственном производстве: учеб. для среднего проф. образования/ А.П Коломиец [и др.]; под общей ред. А.П Коломиец. – М.: Академия, 2005. – 368с.
7. Эксплуатация электрооборудования: учеб. пособие для студентов высш. учеб. заведений / Г.П. Ерошенко [и др.]; под общей ред. Г.П. Ерошенко. – М.: КолосС, 2007. – 344с.

Справочники:

1. Москаленко, В. В. Справочник электромонтера / В. В. Москаленко. – М.: Академия, 2004. – 288 с.
2. Ополева, Г.Н. Схемы и подстанции электроснабжения: Справочник: учеб.пособие. – М.: ИД ФОРУМ:ИНФРА-М, 2009. – 480с.
3. Шеховцев, В. П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению / В. П. Шеховцев. – М.: ФОРУМ:ИНФРА - М, 2008. – 136 с.

Интернет – ресурсы

1. Вся электрика от А до Я. [Электронный ресурс] // [сайт] / Компания 21 век – 220В. – Режим доступа: <http://www.21vek-220v.ru>
2. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов [Электронный ресурс] / [ФГАУ ГНИИ ИТТ "Информика», 2006.](http://fgau.gnii.itg.ru) – Режим доступа: <http://school-collection.edu.ru>
3. Журнал для руководителей высшего звена и специалистов предприятий промышленности «ПРОЭлектричество» [Электронный ресурс] РА Фокус группа, 2004. – Режим доступа: <http://www.pro.focus-group.by>
4. Информационная система Все об электротехнике [Электронный ресурс] // [сайт] / ООО "Ай Би Тех" – 2000. – Режим доступа: <http://www.ielectro.ru>
5. Новости электротехники. Информационно – справочное издание [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.news.elteh.ru>
6. Справочник электрика и энергетика [Электронный ресурс] // [сайт] / Электротехнический портал – 2003. – Режим доступа: www.elecab.ru

7. Школа для электрика все секреты мастерства [Электронный ресурс] / Источник информации: [Школа для электрика: электротехника и электроника](http://electricalschool.info). Статьи, советы, полезная информация. – Режим доступа: <http://electricalschool.info>
8. Электромонтер инфо. Библиотека. Справочник. Схемы [Электронный ресурс], 2007. – Режим доступа: <http://www.electromonter.info>
9. Электронная электротехническая библиотека [Электронный ресурс] // [сайт], 2005. – Режим доступа: <http://electrolibrary.info>

Приложение 1 – Сравнительная характеристика высоковольтных аппаратов

Вид	Назначение	Конструкция контактов	Способ гашения дуги	Конструкция дугогасительной камеры	Способ управления
Разъединитель					
Отделитель					
Короткозамыкатель					
Высоковольтный масляный выключатель					
Высоковольтный вакуумный выключатель					
Высоковольтный элегазовый выключатель					

Приложение 2 – Индивидуальные задания по вычерчиванию схем подстанций

Вариант	Схема
1	Схема «блок линия - трансформатор» с отделителем
2	Схема два блока с отделителями и неавтоматической переключкой со стороны линии
3	Схема «блок линия - трансформатор» с выключателем
4	Схема два блока с выключателями и неавтоматической переключкой со стороны линии
5	Схема мостик с выключателем

Приложение 3 – Индивидуальное задание по составлению технологических карт

Вариант	Задание
1	Укажите содержание операций, правила техники безопасности, средства защиты и техническое оснащение при выполнении замены разъединителя 10 кВ в ТП 10/0,4 кВ
2	Укажите содержание операций, правила техники безопасности, средства защиты и техническое оснащение при выполнении монтажа комплектной ТП 10/0,4 кВ
3	Укажите содержание операций, правила техники безопасности, средства защиты и техническое оснащение при выполнении монтажа ВЛ – 10 кВ
4	Укажите содержание операций, правила техники безопасности, средства защиты и техническое оснащение при выполнении монтажа ВЛ – 0,38 кВ
5	Укажите содержание операций, правила техники безопасности, средства защиты и техническое оснащение при выполнении монтажа кабельной линии напряжением 0,38 кВ
6	Укажите содержание операций, правила техники безопасности, средства защиты и техническое оснащение при выполнении монтажа понизительной трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ

Приложение 4 – Исходные данные для выполнения задания № 6 и 7

вариант	потребители, номер в таблице/ количество				длина линий 0,4 кВ, км				длина линии 10 кВ, км			мощности трансформаторных подстанций								$S_{кз}$, МВА	$\delta U_{ш10}$ В режиме	
					l_1	l_2	l_{01}	l_{12}	l_{01}	l_{12}	l_{13}	активные, кВт				реактивные, кВАр						
	дневные		вечерние									дневные		вечерние								
	1	2	3	4								ТП2	ТП3	ТП2	ТП3	ТП2	ТП3	ТП2	ТП3		100%	25%
1	1	4/2	14	14/3	0,1	0,2	0,1	0,2	4	0,5	1	110	56	120	60	45	48	56	26	200	+5	0
2	2	4/3	7	14/2	0,15	0,3	0,1	0,15	4,5	0,75	2	100	52	120	63	56	57	45	36	210	+5	0
3	3	7/4	10	10/3	0,05	0,2	0,1	0,05	4,3	0,6	3	120	51	130	62	45	58	45	26	180	+5	0
4	4	5/2	9	9/3	0,1	0,1	0,1	0,05	4,1	0,8	1	110	53	160	65	52	51	52	23	150	+5	0
5	5	6/3	19	10/2	0,15	0,2	0,1	0,05	4,2	0,2	2	112	56	120	62	53	56	51	21	180	+5	0
6	23	16/4	20	19/3	0,1	0,1	0,1	0,2	4,1	0,5	3	115	54	120	62	51	5154	54	24	190	+5	0
7	24	13/2	7	20/3	0,05	0,3	0,1	0,1	4,2	0,6	1	110	58	140	65	52	59	52	25	160	+5	0
8	23	16/3	8	22/2	0,1	0,2	0,1	0,05	4,3	0,7	2	113	57	150	64	56	52	51	26	150	+5	0
9	24	13/4	10	15/3	0,05	0,1	0,1	0,1	4,4	0,9	3	114	54	140	61	58	51	52	23	140	+5	0
10	1	5/2	9	14/3	0,15	0,2	0,1	0,2	4,5	0,5	1	100	52	110	63	54	52	51	25	150	+5	0
11	2	6/3	11	14/2	0,1	0,3	0,1	0,05	4,1	0,2	2	120	51	120	60	51	53	54	21	160	+5	0
12	3	16/4	4	14/3	0,05	0,1	0,1	0,1	4,2	0,7	3	150	54	123	62	52	56	52	20	180	+5	0
13	4	22/2	19	15/3	0,15	0,2	0,1	0,05	4,3	0,6	2	140	51	124	65	56	54	51	24	200	+5	0
14	5	4/3	20	26/2	0,1	0,3	0,1	0,05	4,4	0,8	1	120	52	125	61	51	52	52	25	150	+5	0
15	23	5/4	7	17/3	0,05	0,1	0,1	0,1	4,5	0,7	3	110	53	126	62	56	57	53	26	160	+5	0
16	24	6/2	9	25/3	0,15	0,2	0,1	0,2	4,2	0,2	1	110	56	140	60	52	57	56	23	170	+5	0
17	23	7/3	5	26/2	0,05	0,3	0,1	0,1	4,3	0,6	2	120	59	120	63	51	52	59	25	180	+5	0
18	24	13/4	6	9/3	0,1	0,1	0,1	0,2	4,4	0,4	1	125	58	150	62	54	53	58	24	190	+5	0
19	1	16/2	17	9/3	0,1	0,2	0,1	0,05	4,5	0,5	3	140	57	120	61	58	56	57	21	120	+5	0
20	2	22/3	2	6/2	0,1	0,3	0,1	0,1	4,6	0,8	1	100	55	140	65	57	54	54	25	150	+5	0
21	3	18/4	9	7/3	0,15	0,1	0,1	0,05	4,1	0,7	2	156	54	150	68	54	52	58	26	160	+5	0
22	4	12/2	19	14/3	0,05	0,2	0,1	0,1	4,2	0,9	1	102	54	160	65	51	51	51	25	180	+5	0
23	5	11/3	8	12/2	0,05	0,3	0,1	0,2	4,3	0,5	2	105	52	120	62	52	52	52	21	150	+5	0
24	23	16/4	3	19/3	0,06	0,1	0,1	0,1	4,2	0,7	3	107	56	144	64	51	53	51	24	140	+5	0
25	24	18/2	4	16/3	0,1	0,2	0,1	0,2	4,4	0,4	1	120	59	120	62	52	52	52	21	200	+5	0

Приложение 5 – Исходные данные для выполнения задания № 8

вариант	Система	ВЛ – 1			Трансформатор			
	S _{к.з.} МВА	U _н , кВ	Марка провода	Длина км	U _{1н} , кВ	U _{2н} , кВ	U _к , %	S _н , кВА
1	400	35	АС-70	4	35	10	10,5	6300
2	540	110	АС-70	50	110	10	10,5	10000
3	540	110	АС-70	50	110	35	10,5	10000
4	500	35	А – 35	2	35	10	5	6300
5	840	35	А – 50	4	35	10	7,5	6300
6	640	110	АС-70	20	110	35	5,5	10000
7	840	35	АС –50	5	35	10	10,5	10000
8	500	110	АС-70	2	110	35	10,5	10000
9	500	110	АС-70	2	110	35	10,5	10000
10	800	35	АС –50	2	35	10	5	6300
11	800	110	АС-70	2	110	35	10,5	25000
12	400	35	АС –35	4	35	10	5	6300
13	800	35	АС –50	2	35	10	5	6300
14	540	110	АС-70	50	110	35	10,5	10000
15	540	110	АС-70	50	110	35	10,5	10000
16	600	35	А – 50	4	35	10	7,5	1600
17	400	35	АС-70	4	35	10	10,5	6300
18	540	110	АС-70	50	110	10	10,5	10000
19	540	110	АС-70	50	110	35	10,5	10000
20	500	35	А – 35	2	35	10	5	6300
21	840	35	А – 50	4	35	10	7,5	6300
22	640	110	АС-70	20	110	35	5,5	10000
23	840	35	АС –50	5	35	10	10,5	10000
24	500	110	АС-70	2	110	35	10,5	10000
25	500	110	АС-70	2	110	35	10,5	10000

Приложение 6 – Мероприятия по автоматизации сельских сетей и трансформаторных подстанций

Схема	Назначения	Виды	Целесообразность применения	На чем построена
Автоматическое повторное включение				
Автоматическое включение резерва				
Центральная сигнализация				
Релейная защита				
Регулирование напряжения под нагрузкой				

Приложение 7 – Мероприятия по охране труда и технике безопасности при эксплуатации воздушных и кабельных линий и трансформаторных подстанций

Установка	Организационные мероприятия	Технические мероприятия	Защитные меры	Пункты правил
Воздушные линии				
Воздушные линии с СИП				
Кабельные линии				
Трансформаторные подстанции				