

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ  
И СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ.  
ПРАКТИКУМ**

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением  
по аграрному техническому образованию  
в качестве учебно-методического пособия для студентов  
учреждений высшего образования по направлению специальности  
1-74 06 05-01 Энергетическое обеспечение сельского хозяйства  
(электроэнергетика)*

Минск  
БГАТУ  
2019

УДК 631.371:621.31(07)  
ББК 31.26я7  
Э41

**Авторы:**

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой *В. А. Дайнеко*,  
старший преподаватель *Н. А. Равинский*,  
ассистент *А. С. Качалко*,  
старший преподаватель *Т. Г. Базулина*,  
ассистент *Д. М. Иванов*

**Рецензенты:**

кафедра автоматизации производственных процессов  
и электротехники УО «Белорусский государственный  
технологический университет» (кандидат технических наук,  
доцент, заведующий кафедрой *Д. С. Карпович*);  
кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник  
РУП «Белорусский теплоэнергетический институт» *М. Р. Кирплюк*

**Эксплуатация** электрооборудования и средств автоматизации.  
Э41 Практикум : учебно-методическое пособие / В. А. Дайнеко [и др.]. –  
Минск : БГАТУ, 2019. – 188 с.  
ISBN 978-985-519-999-2.

Содержит методические указания к лабораторным и практическим занятиям по эксплуатации электрооборудования и средств автоматизации. Способствует изучению правил эксплуатации электрооборудования и средств автоматизации, получению практических навыков технического обслуживания электрооборудования, его испытаний и наладки.

Для студентов учреждений высшего образования, обучающихся по специальности 1-74 06 05 Энергетическое обеспечение сельского хозяйства (по направлениям), направлению специальности 1-74 06 05-01 Энергетическое обеспечение сельского хозяйства (электроэнергетика).

УДК 631.371:621.31(07)  
ББК 31.26я7

ISBN 978-985-519-999-2

© БГАТУ, 2019

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
Лабораторная работа № 1. Эксплуатация воздушных и кабельных линий.....	5
Лабораторная работа № 2. Приемо-сдаточные испытания силового трансформатора.....	10
Лабораторная работа № 3. Техническая эксплуатация заземляющих устройств.....	19
Лабораторная работа № 4. Определение мест повреждения кабельных линий импульсным методом.....	34
Лабораторная работа № 5. Проверка и подготовка к эксплуатации асинхронного электродвигателя. Эксплуатация пускозащитной аппаратуры.....	43
Лабораторная работа № 6. Диагностирование устройств защитного отключения.....	58
Лабораторная работа № 7. Эксплуатация частотно-регулируемого электропривода.....	67
Лабораторная работа № 8. Эксплуатация микропроцессорных контроллеров и автоматических регуляторов.....	78
Практическая работа № 1. Определение условных единиц затрат труда на эксплуатацию электрооборудования.....	87
Практическая работа № 2. Приемка электроустановок в эксплуатацию.....	102
Практическая работа № 3. Анализ деятельности электротехнической службы.....	106
Практическая работа № 4. Составление графика диагностирования, технического обслуживания и текущего ремонта электрооборудования.....	112
Практическая работа № 5. Расчет годовой потребности хозяйства в электроэнергии.....	142
Практическая работа № 6. Эксплуатация устройств защитного отключения (УЗО).....	149
Практическая работа № 7. Определение показателей надежности при эксплуатации электрооборудования.....	160
Список литературы.....	172
Приложения.....	173

## **ВВЕДЕНИЕ**

Пособие содержит методические указания к лабораторным и практическим занятиям, контрольные вопросы и список использованных источников.

Материал к каждому практическому занятию и лабораторной работе содержит теоретические сведения, методические указания для выполнения работы, рисунки и таблицы.

Инструктаж по технике безопасности при выполнении лабораторных работ проводится на первом занятии; дополнительные указания даются преподавателем или лаборантом перед каждой новой работой.

Для успешного усвоения учебной дисциплины предусмотрена предварительная подготовка студентов к каждому практическому и лабораторному занятию.

Перед началом занятия преподаватель проверяет подготовку студента и наличие тетради с формами таблиц и необходимыми рисунками.

Оформление отчета по лабораторной или практической работе должно соответствовать требованиям БГАТУ. Отчет предъявляется преподавателю перед защитой лабораторной или практической работы. Тетрадь с отчетами сохраняется до окончания экзаменационной сессии.

## Лабораторная работа № 1

# ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОЗДУШНЫХ И КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ

**Цель занятия:** изучить приемосдаточные испытания воздушных и кабельных линий электропередачи.

### Задачи занятия

1. Изучить объем и нормы приемосдаточных испытаний воздушных и кабельных линий электропередачи.
2. Контроль стрелы провеса участка воздушной линии.
3. Проверка соединения проводов.
4. Изучить методы и приборы для испытания силовых кабелей повышенным напряжением.
5. Измерение сопротивления изоляции изоляторов.
6. Правила приема воздушных линий в эксплуатацию.
7. Заполнить протоколы испытания кабеля.

### Теоретические сведения

Техническое обслуживание воздушных линий электропередачи (ВЛ) включает проведение осмотров (различных видов), выполнение профилактических проверок и измерений, устранение мелких неисправностей.

Осмотры ВЛ подразделяются на периодические и внеочередные. Периодические осмотры делятся на дневные, ночные, верховые и контрольные.

Дневные осмотры (основной вид осмотров) проводятся 1 раз в месяц. При этом визуально проверяется состояние элементов ВЛ, в бинокль осматриваются верхние элементы линии. Ночные осмотры выполняют для проверки состояния контактных соединений и уличного освещения.

При проведении верховых осмотров, ВЛ отключается и заземляется, проверяются крепления изоляторов и арматуры, состояние проводов, натяжение оттяжек и т. д. Ночные и верховые осмотры планируются по мере необходимости.

Контрольные осмотры отдельных участков линии осуществляет инженерно-технический персонал 1 раз в год в целях проверки качества работы электромонтеров, оценки состояния трассы, выполнения противоаварийных мероприятий.

Внеочередные осмотры проводятся после аварий, бурь, оползней, сильных морозов (ниже 40 °С) и других стихийных бедствий.

Перечень работ, проводимых при техническом обслуживании воздушных линий электропередачи, включает:

- проверку состояния трассы (наличие под проводами посторонних предметов и случайных строений, противопожарное состояние трассы, отклонение опор, перекосы элементов и др.);
- оценку состояния проводов (наличие обрывов и оплавлений отдельных проволок, наличие набросов, величина стрелы провеса и др.);
- осмотр опор и стоек (состояние опор, наличие плакатов, целостность заземления);
- контроль состояния изоляторов, коммутационной аппаратуры, кабельных муфт на спусках, разрядников.

В соответствии с требованиями правил устройства электроустановок (ПУЭ) воздушные линии электропередачи испытываются в следующем объеме:

- проверка изоляторов;
- проверка соединений проводов;
- измерение сопротивления заземления опор, их оттяжек и тросов.

Для испытания воздушных линий электропередачи напряжением до 750 кВ используются:

- перчатки диэлектрические;
- измеритель сопротивления, увлажненности и степени старения электроизоляции МІС-2500;
- измеритель сопротивления заземлений MRU-101;
- измеритель MMR-600 (для измерений малых активных сопротивлений) и др.

Осмотр трассы кабельной линии производится с целью визуального обнаружения возможных неисправностей на трассе. При осмотре обращается внимание на недопустимость производства без согласования строительных работ, раскопок, посадок деревьев, устройства гаражей, складов, свалок с предприятием электрических сетей.

При осмотрах мест пересечения кабельных трасс с железными дорогами обращается внимание на наличие предупредительных плакатов о расположении кабельных линий с обеих сторон полосы отвода территории для железной дороги.

В местах пересечения кабельных линий с канавами, кюветами, оврагами проверяется отсутствие размывов, провалов и обвалов, угрожающих целостности и сохранности кабелей. В местах перехода кабелей из земли и на стены или опоры воздушных линий электропередачи проверяется наличие защиты кабелей от механических повреждений и исправность состояния концевых муфт.

На трассах кабельных линий, проходящих по территориям без постоянных фундаментальных ориентиров, проверяется наличие и сохранность вышек, обозначающих трассу кабельной линии.

В местах перехода кабелей с берегов в реку или другие водоемы проверяется наличие и состояние береговых сигнальных знаков и исправность набережных или специальных устройств на береговых участках. При осмотрах кабельных колодцев проверяют температуру воздуха и работу вентиляционных устройств.

В летнее время температура воздуха внутри кабельных туннелей и каналов не должна превышать температуру наружного воздуха более чем на 10 °С. При осмотре обращают внимание на внешнее состояние кабеля, соединительных и концевых муфт, строительной части сооружений, на смещения и провисы кабелей. Проверяется температура оболочек кабелей с помощью измерительных приборов.

Температуру металлических оболочек кабелей, проложенных в кабельных сооружениях, измеряют обычным термометром, который укрепляется на броне или свинцовой оболочке кабеля. Контроль температуры кабельной линии необходим для установления факта повышения нагрузки по сравнению с расчетной или уточнения нагрузки вследствие изменения температурных условий трассы кабеля по сравнению с проектными.

Обнаруженные дефекты на трассах и в самих кабельных линиях подлежат устранению как в ходе осмотра, так и в последующем в плановом порядке.

При техническом надзоре за выполнением работ на трассе кабельной линии, необходимо следить, чтобы земляные работы землеройными машинами на расстоянии менее 1 м от кабеля и рыхление грунта над кабелем отбойными молотками на глубину более 0,4 м не производились.

При использовании ударных и вибропогружательных механизмов на расстоянии менее 5 м от трассы кабельной линии возможны

сотрясения грунта и просадки почвы, в результате чего могут иметь место вытяжка жил кабеля из соединительных гильз в муфтах и разрыв свинцовой или алюминиевой оболочки кабеля в шейках соединительных муфт. Поэтому применение указанных механизмов на расстоянии менее 5 м от трассы кабельной линии не допускается. В зимнее время раскопки на глубину более 0,4 м в местах прохождения кабелей должны производиться с обогревом грунта (не далее чем 0,25 м от кабеля).

При техническом надзоре за прокладкой и монтажом кабельных линий проводится проверка качества монтажа муфт и заделок, а также состояния проложенного кабеля на всем его протяжении.

Измерение нагрузок кабельных линий производится в трансформаторной подстанции (ТП), как правило, переносными приборами или токоизмерительными клещами.

Согласно «Правилам технической эксплуатации электроустановок потребителей», изоляция силовых кабельных линий подвергается испытанию повышенным выпрямленным напряжением.

Периодичность испытаний:

– для кабелей напряжением до 35 кВ – 1 раз в год в первые 5 лет эксплуатации, далее 1 раз в 2 года;

– для кабелей, проложенных на территории ТП, РУ, заводов – 1 раз в 3 года;

– для кабелей напряжением 110–220 кВ – через 3 года после ввода в эксплуатацию и затем 1 раз в 5 лет.

Результаты испытания заносятся в протокол испытания силового кабеля, делается заключение о пригодности кабеля к дальнейшей эксплуатации.

### **Методика выполнения лабораторной работы**

1. Изучить объем и нормы приемосдаточных испытаний воздушных линий электропровода.

2. Изучить методику измерения сопротивления изоляции при помощи мегаомметра.

3. Изучить методику измерения сопротивления заземления опор, и тросов.

4. Изучить методику измерений габаритов воздушных линий и порядок оформления результатов измерений.



5. Изучить методику проверки соединения проводов. Изучить классификацию проводов и соединений проводов. Составить схему измерения сопротивления соединения при отключенной линии.
6. Изучить мероприятия по эксплуатации воздушных линий.
7. Изучить правила приема воздушных линий в эксплуатацию.

### **Содержание отчета**

1. Цель работы.
2. Краткие теоретические сведения.

### **Контрольные вопросы**

1. Назовите способы измерения габаритов линий и стрел провеса проводов.
2. Как проводится контроль соединений проводов и определение контактного соединения при помощи измерительной штанги?
3. Как определяются сопротивления соединения при отключенной линии электропередачи?
4. Объясните методику проверки изоляции кабеля и фазировки его жил.
5. Объясните цели и методику испытания изоляции кабеля повышенным напряжением.
6. Как осуществляется контроль изоляторов путем измерения напряжения на изоляторе с помощью изолирующей штанги?

Лабораторная работа № 2  
**ПРИЕМО-СДАТОЧНЫЕ ИСПЫТАНИЯ  
СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА**

**Цель занятия:** изучить приемо-сдаточные испытания силовых трансформаторов.

**Задачи занятия**

1. Изучить краткие сведения по эксплуатации силовых трансформаторов.
2. Ознакомиться с методами измерения параметров изоляции трансформаторов.
3. Изучить условия включения силовых трансформаторов в сеть.
4. Произвести измерения сопротивления изоляции трансформатора.
5. Выполнить фазировку трансформатора.
6. Измерить сопротивление обмоток трансформатора на постоянном токе.
7. Заполнить протоколы испытаний силового трансформатора.

**Теоретические сведения**

В соответствии с п. 5.2.1 ТКП 181–2009 установка и эксплуатация силовых трансформаторов и реакторов должна осуществляться согласно ПУЭ и нормам технологического проектирования.

Их надежная работа должна обеспечиваться поддержанием в пределах установленных норм нагрузки, уровня напряжения, температуры и характеристик масла, параметров изоляции. Устройства охлаждения, регулирования напряжения, защиты, активная часть и другие элементы трансформатора должны содержаться в исправном состоянии.

Работы по вводу трансформатора в эксплуатацию предполагают проведение его испытания, а также пробное включение.

Осмотр трансформаторов (реакторов) без их отключения должен производиться в следующие сроки:

- главных понижающих трансформаторов подстанций с постоянным дежурством персонала – 1 раз в сутки;

- остальных трансформаторов электроустановок с постоянным дежурством персонала – 1 раз в неделю, без постоянного дежурства персонала – 1 раз в месяц;

- на трансформаторных пунктах – не реже 1 раза в 6 мес.

Внеочередные осмотры трансформаторов (реакторов) производятся:

- при появлении сигнала неисправности трансформатора;
- после неблагоприятных погодных воздействий (гроза, резкое изменение температуры, сильный ветер и др.);
- при работе газовой защиты на сигнал, а также при отключении трансформатора (реактора) газовой или (и) дифференциальной защитой.

Текущие ремонты трансформаторов (реакторов) производятся по мере необходимости. Периодичность текущих ремонтов устанавливает технический руководитель. Должны проводиться капитальные ремонты (планово-предупредительные – по типовой номенклатуре работ):

- трансформаторов напряжением 110 кВ и выше, мощностью 125 МВА и более, а также реакторов и основных трансформаторов собственных нужд электростанций – не позднее чем через 12 лет после ввода в эксплуатацию с учетом результатов диагностического контроля, в дальнейшем – по мере необходимости;

- остальных трансформаторов – в зависимости от их состояния и результатов диагностического контроля.

Внеочередные ремонты трансформаторов (реакторов) должны выполняться, если дефект в каком-либо их элементе может привести к отказу. Решение о выводе трансформатора (реактора) в ремонт принимает руководитель или ответственный за электрохозяйство.

### **Приемо-сдаточные испытания силовых трансформаторов.**

Для маслонаполненных трансформаторов мощностью до 1,6 МВА предусмотрены следующие виды испытаний:

**1. Измерение параметров изоляции.** К параметрам изоляции относятся: сопротивление  $R_{60}$ , коэффициент абсорбции  $K_{абс} = R_{60}/R_{15}$ , тангенс угла диэлектрических потерь  $tg\delta$ , отношение  $C_2/C_{50}$  и  $\Delta C/C$ .

Сопротивление изоляции трансформатора измеряют мегаомметром на напряжение 2,5 кВ при температуре изоляции не ниже 10 °С и не ранее чем через 12 ч после заполнения трансформатора маслом.

При проведении измерения напряжение мегаомметра прикладывают к испытуемой обмотке и к заземленному баку.

Показания мегаомметра отсчитывают через 15 ( $R_{15}$ ) и 60 ( $R_{60}$ ) секунд и определяют по ним коэффициент абсорбции  $K_{абс} = R_{60}/R_{15}$ .

Полученные значения  $R_{60}$  и  $K_{абс}$  сравнивают с нормируемыми значениями. Например, в соответствии с установленными нормами при температуре 10 °С для трансформаторов мощностью до 6,3 МВА и напряжением до 35 кВ включительно  $R_{60}$  должно быть не ниже 450 МОм, а коэффициент абсорбции иметь величину не ниже 1,3 и не снижаться по отношению к заводскому его значению более чем на 30 %.

**2. Измерение тангенса угла диэлектрических потерь.** Тангенс угла диэлектрических потерь  $\text{tg}\delta$  измеряют с помощью мостов переменного тока (типа Р-595 и аналогичных). Полученные значения  $\text{tg}\delta$  сравнивают с нормируемыми. Например, для трансформатора мощностью до 6,3 МВА и напряжением до 35 кВ при температуре 10 °С должно быть обеспечено условие  $\text{tg}\delta \leq 1,2$ .

При измерении  $R_{60}$  и  $\text{tg}\delta$  при температурах, отличающихся от заводских, полученные значения необходимо привести к заводской температуре с помощью умножения на поправочные коэффициенты, имеющиеся в инструкции РД 16.363–87 «Трансформаторы силовые. Транспортирование, разгрузка, хранение, монтаж и ввод в эксплуатацию». Полученные при пересчете значения  $R_{60}$  и  $\text{tg}\delta$  не должны отличаться от паспортных более чем на 25 %.

**3. Определение степени увлажненности изоляции.** Степень увлажненности изоляции, кроме характеристик  $\text{tg}\delta$ ,  $R_{60}$  и  $K_{абс}$ , оценивается измерением отношений  $\Delta C/C$  и  $C_2/C_{50}$  с помощью приборов ЕВ-3, ПКВ-7, ПКВ-8.

Значения  $\Delta C/C$  не нормируются, но вносятся в протокол наладки для учета при дальнейших эксплуатационных испытаниях. Для увлажненной изоляции отношение  $C_2/C_{50}$  близко к 2, а для неувлажненной должно приближаться к 1.

**4. Определение условий включения трансформаторов без сушки.** Все трансформаторы делятся по габаритам на восемь групп (I–VIII). Для каждой из этих групп (габаритов) в соответствии с РД 16.363–87 устанавливаются условия включения трансформаторов без сушки. Для трансформаторов I группы (мощностью до 100 кВА и напряжением до 35 кВ) определены следующие условия:

а) уровень масла должен быть в пределах отметок маслоуказателя;

б) химический анализ масла должен соответствовать требованиям качества масла (табл. 1.8.38 ПУЭ), а его пробивное напряжение для трансформаторов напряжением до 35 кВ должно быть не менее 30 кВ;

в) значение коэффициента абсорбции  $K_{\text{абс}}$  должно быть не менее 1,3;

г) если условие «а» не соблюдено, но обмотки трансформатора и переключатель покрыты маслом, или не выполнены условия «б» и «в», но в масле отсутствуют следы воды и пробивное напряжение снизилось по сравнению с нормой не более чем на 5 кВ, то необходимо дополнительно измерить  $\text{tg}\delta$  или  $C_2/C_{50}$  обмоток в масле (они в этом случае не должны отличаться от нормируемых значений).

#### **5. Измерение сопротивления обмоток постоянному току.**

Этим измерением выявляют дефекты в местах паяк и контактах переключателя, а также обрывы в обмотках. Сопротивление измеряется с помощью моста постоянного тока или методом амперметра-вольтметра на всех ответвлениях обмоток, если для этого не потребуются извлечение сердечника. В трансформаторах с нулевым выводом измеряют сопротивления фаз, а при отсутствии нулевого вывода – сопротивления обмоток между линейными выводами. Сопротивления  $R_1$  и  $R_2$  обмоток при температурах  $t_1$  и  $t_2$  (паспортные данные) находятся из следующих выражений:

$$R_1 = R \frac{245 + t_2}{245 + t_1} \text{ (для алюминия); } R_2 = R \frac{235 + t_2}{235 + t_1} \text{ (для меди), (2.1)}$$

где  $R$  – сопротивления, измеренные для алюминия и меди.

Получаемые значения сопротивлений не должны отличаться от паспортных (заводских) данных более чем на  $\pm 2\%$ .

**6. Проверка работы переключающего устройства и снятие круговой диаграммы.** Заключение о правильности работы переключателя ответвлений под нагрузкой делают на основании снимаемой круговой диаграммы последовательности его работы. Круговую диаграмму снимают методом сигнальных ламп или осциллографированием.

Переключающее устройство считают выдержавшим проверку последовательности действия его контактов, если значения углов

перекрытия контактов, углов смещения и люфтов, полученные по круговым диаграммам, не выходят за пределы, указанные в стандартах или технических условиях на переключающее устройство.

#### **7. Испытание бака с радиаторами гидравлическим давлением.**

Для проверки герметичности бака и радиаторов гидравлическим давлением столба масла, в отверстие, имеющееся на крышке бака, ввертывают стальную трубу диаметром (1÷1 ½") и через воронку заполняют ее маслом. Высота столба масла над уровнем заполненного расширителя принимается равной: для трубчатых и гладких баков 0,6 м, а для баков волнистых, радиаторных или с охладителями – 0,3 м.

Продолжительность испытания равна 3 ч при температуре масла не ниже 10 °С; при испытании не должно наблюдаться течи масла.

**8. Проверка состояния силикагеля.** Индикаторный адсорбент, представляющий собой силикагель марки КСМ, пропитанный раствором хлористого кобальта, засыпается в специальный патрон или непосредственно в корпус воздухоочистителя, установленного на дыхательной трубке расширителя. При увлажнении силикагель теряет свои адсорбционные свойства, что приводит к проникновению влаги в расширитель, заполненный маслом. Неувлажненный силикагель имеет равномерную голубую окраску зерен. Изменение его цвета на розовый свидетельствует о его увлажнении. Увлажненный силикагель сушат или заменяют новым.

**9. Фазировка трансформатора.** Под фазировкой трансформатора понимают проверку тождественности фаз включаемого трансформатора и сети (или другого трансформатора) при включении на параллельную работу. Она осуществляется на низшем напряжении трансформаторов с помощью вольтметров с пределом измерений, равным двойному значению линейного напряжения. Фазировка заключается в измерении напряжения между разноименными фазами трансформаторов и определении отсутствия напряжения между одноименными фазами.

Если при измерении окажется, что между одноименными фазами a1–a2; b1–b2; c1–c2 напряжения отсутствуют, а между одной из одноименных и противоположными разноименными фазами a1–b2; a1–c2; b1–a2; b1–c2; c1–a2; c1–b2 напряжения есть и они примерно одинаковы, то фазировка выполнена верно и трансформатор можно включить в сеть или на параллельную работу с другим трансформатором.

**10. Испытание трансформаторного масла.** Пробу масла берут через выпускной кран бака при температуре масла не ниже 5 °С. Масло отбирают в чистую стеклянную посуду с притертой пробкой.

После отбора пробы масла производят его испытания, определяя показатели, приведенные в пунктах ПУЭ (1.8.33, табл. 18.38). В число показателей входят: пробивное напряжение; содержание механических примесей, взвешенного угля; кислотность; наличие воды; температура вспышки масла. Эти показатели, за исключением пробивного напряжения, определяются при лабораторных испытаниях и исследованиях, проводимых в химической лаборатории, куда отправляется проба масла.

У трансформаторов I и II габаритов, прибывающих на монтаж заполненными маслом, при наличии удовлетворяющих нормам показателей заводского испытания, проведенного не более чем за 6 месяцев до включения трансформатора в работу, масло проверяется на пробой и отсутствие механических примесей.

Отсутствие механических примесей производится визуально, а пробивное напряжение определяется с помощью аппаратов АИИ-70, АМИ-80 и АИМ-90.

Испытания проводят в помещении при температуре воздуха  $20 \pm 5$  °С и относительной влажности  $65 \pm 15$  %. Пробе масла дают отстояться, за это время ее температура должна сравняться с температурой воздуха в помещении. Испытательный сосуд с электродами должен быть высушен и промыт испытываемым маслом. Расстояние между электродами устанавливают равным 2,5 мм. Заливают в сосуд отобранную пробу, помещают его в аппарат и дают маслу отстояться в течение 10 мин. Затем включают аппарат с соблюдением мер безопасности и плавно со скоростью 1–2 кВ/с повышают напряжение между электродами до пробоя, отмечаемого падением стрелки вольтметра до нуля. Повторяют это испытание шесть раз, после каждого пробоя из промежутка между электродами стеклянной палочкой удаляют обугленные частицы масла и дают ему отстояться в течение 5 мин. Пробивное напряжение определяют как среднее арифметическое из пяти последних значений пробивного напряжения. Пробивное напряжение масла до заливки его в трансформатор должно быть: для трансформаторов напряжением до 15 кВ – 30 кВ; от 15 до 35 кВ – 35 кВ; от 60 до 220 кВ – 45 кВ; после заливки (проба, взятая из трансформатора) –

на 5 кВ ниже. При неудовлетворительных результатах испытаний масло должно заменяться сухим или сушиться.

**11. Испытание включением толчком на номинальное напряжение.** Трансформатор включают толчком на номинальное напряжение на время не менее 30 мин. После включения трансформатор прослушивают и наблюдают за его состоянием. При появлении внутри трансформатора ненормального шума и потрескиваний, его немедленно отключают для выяснения причин ненормальной работы.

При удовлетворительных результатах пробного включения трансформатор может быть включен под нагрузку и сдан в эксплуатацию.

### Методика выполнения лабораторной работы

1. Ознакомиться с оборудованием рабочего места.
2. Измерить с помощью мегаомметра МС-06 сопротивление изоляции обмоток высшего и низшего напряжений и определить коэффициент абсорбции.

Полученные результаты занести в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Значения сопротивлений изоляции силового трансформатора

Последовательность измерений	Схемы измерения параметров изоляции обмоток низкого (НН) и высокого (ВН) напряжений		$R_{15}$	$R_{60}$	$K_{абс}$
	Проверяемые обмотки	Заземляемые части трансформатора			
1	НН	Бак, ВН			
2	ВН	Бак, НН			

3. Измерить сопротивление обмоток постоянному току с помощью моста Р 333, полученные результаты занести в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Значения сопротивлений обмоток постоянному току

Проверяемая обмотка	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$\Delta R_{\max}, \%$
НН				
ВН				



4. Произвести испытание трансформаторного масла: визуально установить наличие или отсутствие воды в пробе трансформаторного масла (если в пробе обнаружены капельки влаги, определение пробивного напряжения не производят и качество масла квалифицируют как неудовлетворительное); проверить зазор между электродами измерительной ячейки ( $2,5 \pm 0,05$  мм); заполнить измерительную ячейку маслом до имеющейся в ней щетки, при наличии в масле пузырьков воздуха, их следует удалить осторожным перемешиванием масла стеклянной палочкой; проверить работоспособность блокировок и защиты аппарата АИИ-70; установить ячейку с маслом в аппарат; поднять напряжение до момента пробоя трансформаторного масла (сработает автоматический выключатель) и зафиксировать напряжение; повторить это испытание шесть раз с интервалами, равными 5 мин; после каждого пробоя масло между электродами необходимо осторожно перемешать при помощи стеклянной палочки; полученные результаты занести в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Испытания трансформаторного масла

Номер пробоя масла	1	2	3	4	5
Напряжение пробоя, кВ					

Определить пробивное напряжение ( $E$ ), кВ/мм, масла по формуле

$$E = \frac{\bar{U}_{\text{пр}}}{d}, \quad (2.1)$$

где  $\bar{U}_{\text{пр}}$  – напряжение пробоя (среднее арифметическое из пяти последних значений напряжения), кВ;

$d$  – расстояние между электродами, мм.

### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Результаты произведенных измерений (табл. 2.1; 2.2; 2.3);
4. Выводы.

## **Контрольные вопросы**

1. Перечислите виды приемо-сдаточных испытаний силовых трансформаторов.
2. Перечислите параметры изоляции силовых трансформаторов.
3. Объясните методику измерения сопротивления изоляции и определения коэффициента абсорбции.
4. Объясните методику измерения тангенса угла диэлектрических потерь изоляции трансформатора.
5. Назовите условия включения силового трансформатора без сушки.
6. Объясните методику измерения сопротивления обмоток трансформатора постоянному току.
7. Объясните методику фазировки трансформаторов.
8. Перечислите параметры трансформаторного масла и виды его испытаний.

Лабораторная работа № 3  
**ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ  
ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ**

**Цель занятия:** изучить техническую эксплуатацию заземляющих устройств.

**Задачи занятия**

1. Изучить вопросы эксплуатации заземляющих устройств.
2. Изучить необходимые требования и нормы к заземляющим устройствам.
3. Ознакомиться с практическими методами измерения сопротивления заземляющих устройств.

**Теоретические сведения**

В соответствии с (ТКП 339–2011, п. 3.13), *заземление* – преднамеренное электрическое соединение какой-либо точки сети, электроустановки или оборудования с заземляющим устройством. *Заземление защитное* – заземление, выполняемое с целью электробезопасности.

*Заземление функциональное (рабочее, технологическое)* – заземление точки или точек системы, или установки, или оборудования в целях, отличных от целей электробезопасности.

Под *заземляющим устройством* понимают совокупность установленных в грунт *заземлителей* и *заземляющих проводников*.

*Главная заземляющая шина* – шина, являющаяся частью заземляющего устройства электроустановки напряжением до 1 кВ и предназначенная для присоединения нескольких проводников в целях заземления и уравнивания потенциалов.

*Выравнивание потенциалов* – снижение разности потенциалов (шагового напряжения) на поверхности земли или пола при помощи защитных проводников, проложенных в земле, в полу или на их поверхности и присоединенных к заземляющему устройству.

*Заземлитель* – проводящая часть заземления, представляет собой металлический (токопроводящий) электрод любого профиля и конструкции (штырь, труба, полоса, пластина, сетка, и т. п.), находящийся в грунте.

*Искусственный заземлитель* – устройство, специально выполненное для целей заземления.

*Естественный заземлитель* – сторонняя проводящая часть, находящаяся в электрическом контакте с землей непосредственно или через промежуточную проводящую среду, используемая для целей заземления.

Заземляющий проводник соединяет заземляемые части электроустановки с заземлителем.

*Защитный проводник (PE)* – проводник, применяемый для защиты от поражения электрическим током и предназначенный для соединения открытых проводящих частей с другими открытыми проводящими частями, сторонними проводящими частями, заземлителями, заземляющим проводником или заземленной токоведущей частью (ГОСТ 30331.1–95 «Электроустановки зданий. Основные положения»).

Характеристикой заземлителя является сопротивление растеканию тока с элементов заземлителя в землю, или сопротивление растеканию. Характеристика заземляющего устройства – сопротивление заземления, т. е. сопротивление, равное сумме сопротивлений растекания, заземляющих проводников и контактных соединений.

Система заземления и конструкция заземляющего устройства зависят от режима нейтрали питающей и распределительной сетей.

Электрические сети делят на четыре группы: сети с незаземленными (изолированными) нейтралью; сети с резонансно-заземленными (компенсированными) нейтралью; сети с эффективно-заземленными нейтралью; сети с глухозаземленными нейтралью.

Глухозаземленная нейтраль применяется в сетях напряжением до 1000 В, при этом вторичная обмотка силового трансформатора соединена в звезду, а нейтральная точка непосредственно (глухо) соединена с заземляющим устройством.

В электрических сетях напряжением до 1000 В используется система **TN**, в которой нейтраль источника питания глухо заземлена, а открытые проводящие части электроустановки присоединены к глухозаземленной нейтрали источника посредством нулевых защитных проводников. Система **TN** имеет следующие подсистемы:

– **TN-C** – нулевой защитный **PE** и нулевой рабочий **N**-проводники совмещены в одном проводнике на всем протяжении системы (рис. 3.1);

– **TN-S** – нулевой защитный и нулевой рабочий проводники разделены на всем протяжении системы (рис. 3.2.);

– **TN-C-S** – функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников совмещены в одном **PEN**-проводнике на головном участке сети и разделены во вводном устройстве (рис. 3.3.).

Первая буква в обозначениях указывает на характер заземления источника питания: **T** – нейтраль (нулевой рабочий проводник источника питания) непосредственно связана с землей; **I** – нейтраль источника питания соединена с землей через сопротивление, или все токоведущие части изолированы от земли [3]. Вторая буква определяет состояние заземления: **T** – раздельное (местное) заземление источника электропитания и электрооборудования; **N** – источник электропитания заземлен, а заземление потребителей производится только через проводник **PEN**.

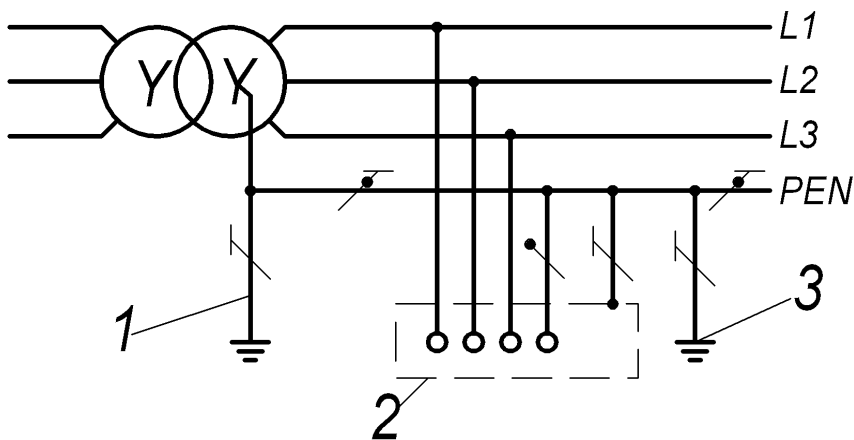


Рис. 3.1. Подсистема TN-C переменного тока:

1 – заземлитель нейтрали (средней точки) источника питания;

2 – открытые проводящие части (корпус) электроустановки;

3 – повторное заземление

В системе TN-S нулевой рабочий **N** и нулевой защитный **PE**-проводники работают раздельно по всей системе.

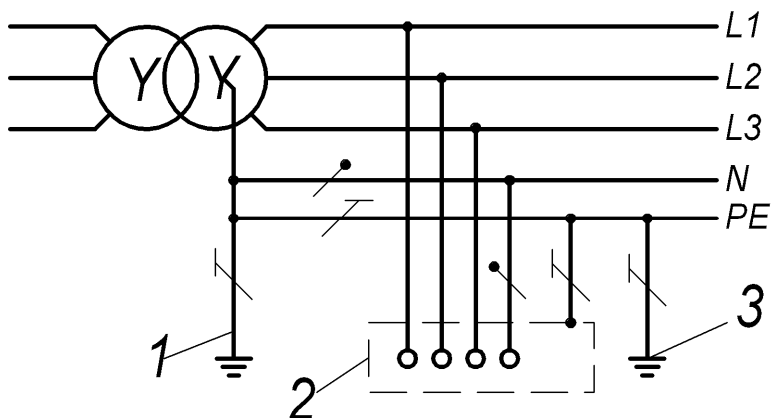


Рис. 3.2. Подсистема TN-S:

- 1 – заземлитель нейтрали (средней точки) источника питания;
- 2 – открытые проводящие части (корпус) электроустановки;
- 3 – повторное заземление

В системе TN-C-S функции нулевого рабочего и нулевого защитного проводников объединены в одном проводнике в части сети.

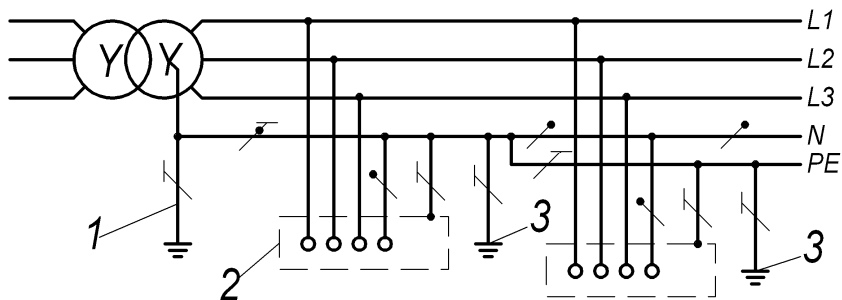


Рис. 3.3. Подсистема TN-C-S:

- 1 – заземлитель нейтрали (средней точки) источника питания;
- 2 – открытые проводящие части (корпус) электроустановки;
- 3 – повторное заземление

Система заземления ТТ (рис. 3.4) – система, в которой нейтраль источника питания глухо заземлена, а открытые проводящие части электроустановки заземлены при помощи заземляющего устройства,

электрически независимого от глухозаземленной нейтрали источника.

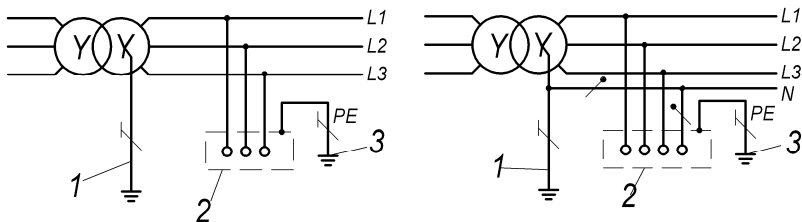


Рис. 3.4. Система заземления ТТ:

1 – заземлитель источника питания; 2 – открытые проводящие части;  
3 – заземляющее устройство электроустановки

Питание электроустановок напряжением до 1 кВ от источника с глухозаземленной нейтралью и с заземлением открытых проводящих частей при помощи заземлителя, не присоединенного к нейтрали (система ТТ), допускается только в тех случаях, когда условия электробезопасности в системе TN не могут быть обеспечены. Для защиты при косвенном прикосновении в таких электроустановках должно быть выполнено автоматическое отключение питания с обязательным применением устройства защитного отключения.

Трехпроводные электрические сети с изолированной нейтралью (система IT) применяются на напряжении 380...660 В при необходимости соблюдения повышенных требований электробезопасности (электрические сети угольных шахт, калийных рудников, торфяных разработок, передвижных установок).

В электроустановках системы IT (рис. 3.5) источник питания должен быть изолирован от земли или связан с ней посредством подключения к нейтрали достаточно большого сопротивления. В сети имеется определенное активное сопротивление и емкость по отношению к земле, которые представляют собой путь для тока утечки или тока замыкания на землю. В системе IT значение тока замыкания на землю определяется состоянием изоляции сети относительно земли. При хорошем состоянии изоляции (высоком сопротивлении относительно земли) ток замыкания на землю очень мал. В случае прямого прикосновения человека к токоведущим

частям электроустановки ток через тело человека также определяется сопротивлением изоляции и при сопротивлении изоляции выше определенного значения не представляет опасности для жизни. Применение устройства защитного отключения в системе ИТ регламентируется ПУЭ следующим образом: «...В таких электроустановках для защиты при косвенном прикосновении при первом замыкании на землю должно быть выполнено защитное заземление в сочетании с контролем изоляции сети или применены устройства защитного отключения с номинальным отключающим дифференциальным током не более 30 мА».

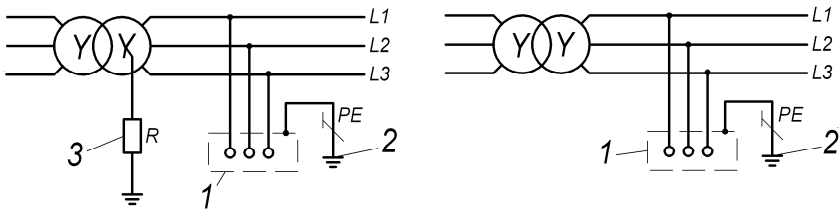


Рис. 3.5. Система заземления ИТ:

1 – открытые проводящие части (корпус) электроустановки;

2 – заземляющее устройство электроустановки;

3 – сопротивление заземления нейтрали источника питания (высокоомное)

*Заземление* в электроустановках осуществляется с помощью металлических электродов (*заземлителей*), соединенных с корпусами электрооборудования *заземляющими проводниками*. Совокупность заземлителей и заземляющих проводников образует *заземляющее устройство*, которое состоит из вертикальных и горизонтальных заземлителей.

Заземлители могут быть естественными (проложенные под землей водопроводные и другие трубопроводы, кроме труб для горючих и взрывчатых жидкостей и газов и арматуры железобетонных сооружений) и искусственными (погруженные в землю стальные стержни, угловая сталь, трубы и т. п.) (рис. 3.6).

Заземляющими проводниками могут быть металлические конструкции зданий и сооружений, каркасы распределительных устройств, стальные трубы электропроводок, алюминиевые оболочки кабелей. В качестве заземлителя нельзя использовать оболочки



кабелей и голые алюминиевые проводники. Сопротивление заземляющего устройства, к которому присоединяется нейтраль силовых трансформаторов, при линейном напряжении 400 В должно быть не более 4 Ом. Для выравнивания электрического потенциала на территории, занятой оборудованием, и присоединения его к заземляющему устройству прокладывают продольные и поперечные горизонтальные заземлители и соединяют их между собой в заземляющую сетку. Продольные заземлители прокладывают вдоль осей электрооборудования со стороны обслуживания на глубине 0,5...0,8 м от поверхности земли и на расстоянии 0,8...1,0 м от фундаментов или оснований оборудования.

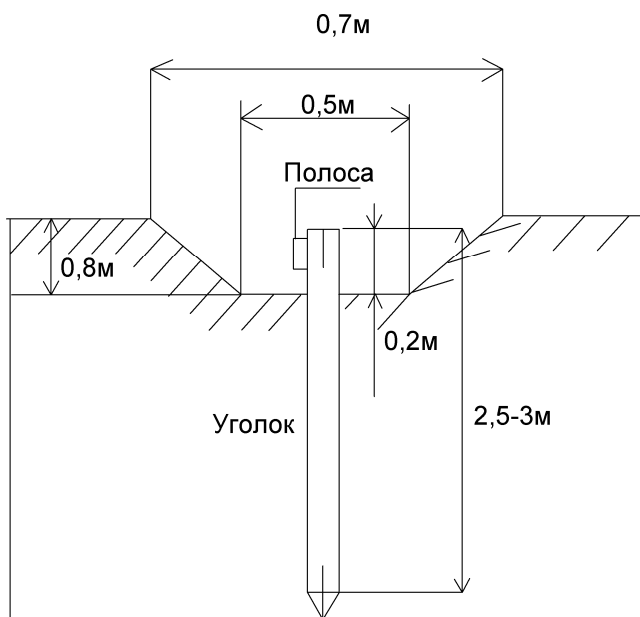


Рис 3.6. Устройство защитного заземления

При использовании технологии, получившей название «модульное штыревое заземление», или просто «модульное заземление», вертикальный заземляющий электрод необходимой длины собирают из нескольких стальных штырей длиной около 1,5 м и диаметром до 20 мм. Штыри защищают от коррозии цинковым или

медным покрытием. Штыри последовательно заглубляют и соединяют между собой следующими способами: «глухое отверстие–шип», при этом шип запрессовывается в отверстие; «резьба–муфта–резьба», в этом случае штырь с обеих сторон имеет резьбу, а муфта (отрезок трубы с внутренней резьбой) при монтаже накручивается на заглубляемый штырь, после чего в муфту вкручивают следующий штырь.

При монтаже модульного заземления достигается глубина до 40 м, в зависимости от свойств грунта. Антикоррозийное цинковое покрытие обеспечивает срок службы штырей до 15...20 лет; омедненные штыри служат значительно дольше, в зависимости от толщины покрытия. Стоимость штырей с медным покрытием больше, чем с цинковым.

Достоинства модульного заземления: невысокая стоимость материалов и монтажных работ; не требуется сварка при монтаже; компактность комплекта заземления; высокая эффективность благодаря высокой глубине погружения электрода; долгий срок службы. Недостатком является невозможность заглубления в скальном и каменистом грунтах.

*Электролитическое заземление* применяется в условиях промерзающих и каменистых грунтов. Для монтажа используют электрод в виде трубы длиной 2...3 м из нержавеющей стали. По всей длине труба, заполненная порошком из смеси солей, имеет перфорации. Такой электрод помещается в грунт (в заранее подготовленную скважину необходимой глубины или в траншею, при горизонтальном исполнении заземлителя). Влага из грунта впитывается солями в электроде и выделяется в виде раствора электролита, пропитывающего окружающий грунт. Благодаря высокой проводимости электролита, сопротивление заземления уменьшается. Применение трубы из нержавеющей стали обеспечивает срок службы электролитического заземления около 15 лет, после чего возможна повторная заправка электрода порошком из смеси солей.

Достоинства электролитического заземления: сопротивление заземления ниже в 10...15 раз по сравнению с обычным; малая глубина монтажа (0,7...1,0 м); возможность применения в условиях высокого удельного сопротивления грунта.

*Заземление в составе молниезащиты.* Молниезащита предназначена для отвода разряда молнии от защищаемого объекта. Разряд молнии попадает в металлический молниеприемник над объектом, затем по металлическим молниеотводам, расположенным снаружи объекта (например, на стенах), распространяется до грунта. Для эффективного отвода разряда от защищаемого объекта, соединение с грунтом производится через заземлитель, имеющий низкое сопротивление заземления (не более 10 Ом).

Монтаж многоэлектродного заземлителя в составе молниезащиты выполняется в следующей последовательности: по периметру защищаемого объекта на удалении около метра устраивается траншея глубиной 0,7...1,0 м; в траншее забиваются в грунт вертикальные стальные электроды с интервалом около 3 м; электроды соединяются при помощи сварки стальной полосой. Место сварки защищается антикоррозийным покрытием (например, битумной краской).

**Требования нормативных документов к заземляющим устройствам.** *Испытания контура заземления* проводятся с целью определения технического состояния заземляющего устройства в соответствии с нормами испытаний электрооборудования. Должны производиться: измерение сопротивления заземляющего устройства; измерение напряжения прикосновения (в электроустановках, заземляющее устройство которых выполнено по нормам на напряжение прикосновения), проверка наличия цепи между заземляющим устройством и заземляемыми элементами, а также соединений естественных заземлителей с заземляющим устройством; измерение токов короткого замыкания электроустановки, проверка состояния пробивных предохранителей; измерение удельного сопротивления грунта в районе заземляющего устройства. Измерения должны выполняться в период наибольшего высыхания грунта. Заземляющие устройства должны иметь паспорта, соответствовать требованиям государственных стандартов, правил устройства электроустановок, строительных норм и правил и других нормативно-технических документов, обеспечивать условия безопасности людей, эксплуатационные режимы работы и защиту электроустановок. Нормы и объем испытаний заземляющих устройств приведены в приложении «Б» ТКП-181–2009. Заземляющие устройства должны иметь паспорта, соответствовать требованиям государственных

стандартов, правил устройства электроустановок, строительных норм и правил и других нормативно-технических документов, обеспечивать условия безопасности людей, эксплуатационные режимы работы и защиту электроустановок.

**Методы измерения сопротивления заземляющего устройства (СЗУ).** Для измерения СЗУ применяют следующие методы: амперметра-вольтметра, компенсационный, мостовой, безэлектродный.

Измерительная схема метода амперметра-вольтметра (рис. 3.7) состоит из источника переменного тока (генератора), амперметра, вольтметра и двух металлических измерительных электродов, забиваемых в землю. Минимальное расстояние до измерительных электродов отражено в табл. 3.1. Через измеряемый заземлитель и вспомогательный измерительный токовый электрод пропускается электрический ток, который измеряется амперметром. Падение напряжения измеряется вольтметром, подключенным между измеряемым заземлителем и вспомогательным измерительным потенциальным электродом. После проведения измерений сопротивление заземляющего устройства определяется по формуле закона Ома.

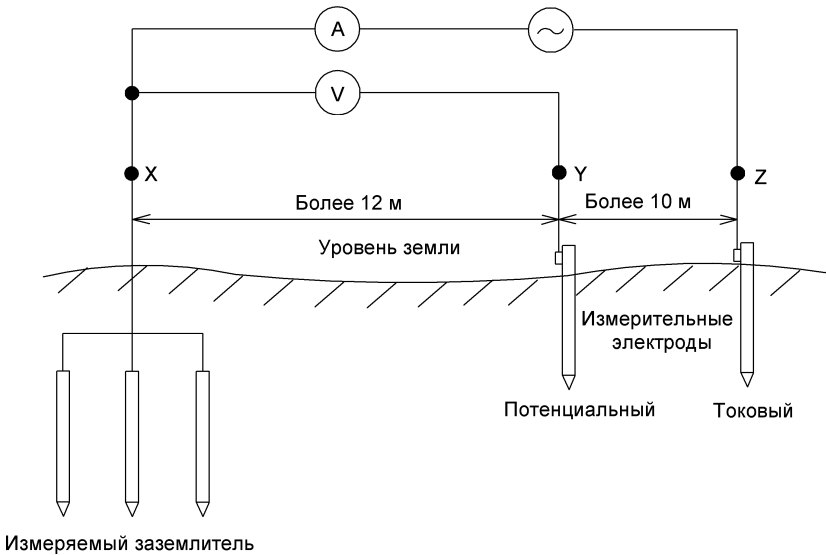


Рис. 3.7. Метод амперметра-вольтметра для измерения СЗУ

Таблица 3.1

Минимальное расстояние до измерительных электродов

Глубина измеряемого заземлителя, м	Расстояние X-Y, м	Расстояние X-Z, м
2,0	14	22
2,5	15	25
3,0	17	27
4,0	19	30
5,0	21	34
6,0	23	37
9,0	26	43

Однако существует и альтернативный метод измерения СЗУ. Сущность его состоит в измерении фазного напряжения электрической сети и напряжения на калибровочном сопротивлении в соответствии со схемой (рис. 3.8). Искомое сопротивление заземляющего устройства  $R_{zy}$  определяется по следующей формуле:

$$R_{zy} = \frac{R_{кр} (U_{\phi} - U_{кр})}{U_{кр}}, \quad (3.1)$$

где  $R_{кр}$  – сопротивление калибровочного резистора (50...100 Ом);

$U_{\phi}$  – фазное напряжение, В;

$U_{кр}$  – напряжение на калибровочном резисторе, В.

Калибровочный резистор должен иметь мощность рассеяния порядка нескольких сотен ватт. Погрешность измерений этого метода составляет +10 %, т. е. результат измерений всегда будет либо точным, либо с небольшим запасом «на безопасность». Из-за отсутствия токового электрода при измерении сопротивления заземления наличие металлических коммуникаций на результат измерений не влияет.

Широкое распространение получил компенсационный метод измерения СЗУ, основанный на методе измерения с применением вспомогательного заземлителя и потенциального электрода (зонда). Глубина забивки вспомогательных стержней в грунт должна быть не менее 500 мм.

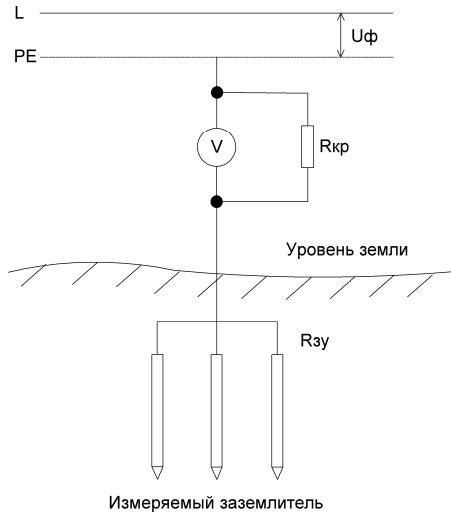


Рис. 3.8. Схема измерения СЗУ с использованием калибровочного резистора

Рассмотрим порядок проведения измерений приборами М-416 и Ф4103-М1. Диапазоны измерения прибора М-416 – от 0,1 до 1000 Ом с четырьмя поддиапазонами измерения: 0,1...10,0; 0,5...50,0; 2...200 и 100...1000 Ом. У прибора Ф4103-М1 – от 0,1 до 15 000 Ом с десятью диапазонами.

В грунтах с высоким удельным сопротивлением погрешность измерений увеличивается. Для повышения точности измерения искусственно уменьшается сопротивление вспомогательных заземлителей путем увлажнения почвы вокруг стержней, или увеличивается количество стержней. Дополнительные стержни забивают на расстоянии 2...3 м друг от друга. Образующие контур вспомогательные заземлители соединяют между собой проводниками. Измерения производят по схемам, представленным на рис. 3.9.

Рассмотрим последовательность проведения измерений прибором Ф4103-М1 (рис. 3.9, б).

В данной схеме измерительные электроды забиваются по одно- или двухлучевой схеме. Точковый электрод  $R_T$  устанавливается на расстоянии  $L_{зТ} = 3D$  от края измеряемого заземлителя ( $D$  – наибольшая диагональ контура измеряемого заземлителя), а потенциальный электрод  $R_{п}$  – поочередно на расстояниях (0,2; 0,3; 0,4; 0,5;

0,6; 0,7; 0,8)  $L_{3T}$ , где  $L_{3T}$  – расстояние от края измеряемого заземлителя до токового электрода. По полученным данным строится кривая зависимости измеренного СЗУ от расстояния до потенциального электрода.

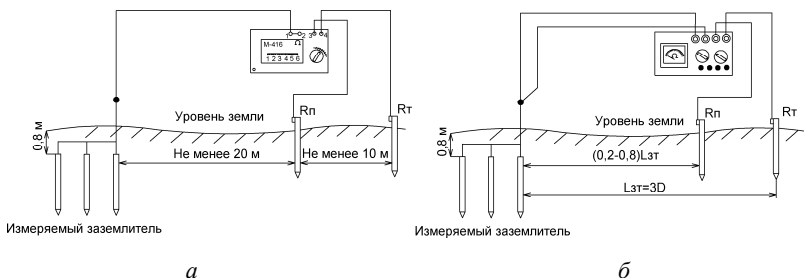


Рис. 3.9. Схемы измерения СЗУ компенсационными приборами:  
а – М-416; б – Ф4103-М1

Если значения сопротивления, измеренные при положениях потенциального электрода на расстояниях  $0,4$  и  $0,6L_{3T}$ , отличаются не более чем на  $10\%$ , то измерения проведены правильно и величина СЗУ принимается при расположении потенциального электрода на расстоянии  $0,5L_{3T}$ .

При мостовом методе используется мост переменного тока. Проводятся три измерения: при первом в измерительное плечо моста включают цепь «заземлитель–вспомогательный электрод»; при втором – «заземлитель–зонд»; при третьем – цепь «зонд–вспомогательный электрод».

Этот метод является недостаточно точным и неудобным, так как необходимо проводить три измерения. Блуждающие токи в этом случае оказывают значительное влияние, а иногда вообще делают измерения невозможными.

Из описанных методов наиболее точным является метод амперметра-вольтметра.

Безэлектродный метод с применением токоизмерительных клещей – новый метод измерения сопротивления заземления. Он позволяет проводить измерения СЗУ без отключения цепи заземления. Кроме того, он дает возможность измерять общее сопротивление устройства заземления, включая сопротивление соединений в цепи заземления.

Принцип измерения данным методом представлен на рис. 3.10.

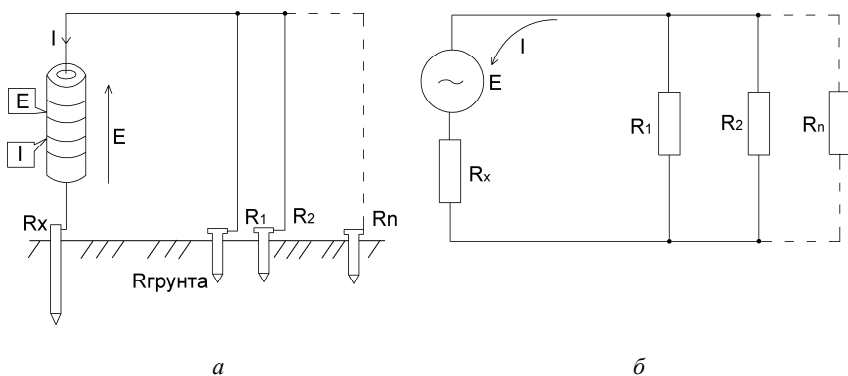


Рис. 3.10. Схема построения системы заземления электрической сети (а) и ее эквивалентная схема замещения (б)

Обычно проводник заземления электросети общего назначения можно представить схемой (рис. 3.10, а) или эквивалентной схемой замещения (рис. 3.10, б). Если в какой-нибудь ветви с сопротивлением  $R$  с помощью трансформатора создать испытательное напряжение  $E$ , через цепь потечет результирующий ток  $I$ .

Описанные величины связаны соотношением  $E / I = R_x$ . При известном неизменном напряжении  $E$  сопротивление  $R_x$  можно получить, измерив ток  $I$ .

Ток создается специальным трансформатором, подключенным через усилитель мощности к источнику напряжения с постоянной амплитудой и частотой порядка 1,6 кГц. Этот ток регистрируется в образующемся контуре. Измеряемый сигнал регистрируется синхронным детектором, усиливается избирательным усилителем, преобразуется аналогово-цифровым преобразователем и отображается на ЖК-дисплее.

Для измерения СЗУ электроустановок на местности в типовых ситуациях используют токоизмерительные клещи. Все модели данных измерителей дают возможность проводить точные измерения СЗУ в диапазоне от 0,1 до 1200 Ом с разрешением 0,01...50 Ом. Погрешность измерений в диапазоне 0,10...1,00 Ом составляет  $\pm 1,5 \%$ , или  $\pm 0,02$  Ом.



## **Методика выполнения лабораторной работы**

1. Ознакомиться с лабораторным оборудованием.
2. Подготовить прибор к работе согласно инструкции.
3. Произвести измерение сопротивления заземляющего устройства.
4. Если полученный результат менее 5 Ом, то необходимо повторить измерение, но уже по четырехзажимной схеме.
5. Выполнить измерение сопротивления внешнего контура заземляющего устройства и записать полученный результат.
6. Подключить аналогичный прибор по трехзажимной схеме к макету заземляющего устройства опоры ВЛ электропередачи.
7. Произвести компенсацию сопротивления зонда согласно инструкции прибора.
8. Подключить прибор по трехзажимной схеме к заземляющему устройству аудитории, потенциальному зонду и вспомогательному заземлителю. Произвести компенсацию сопротивления зонда.
9. Измерить сопротивление заземляющего устройства аудитории и записать полученный результат.
10. Проверить наличие заземляющей сети между заземлителями и заземленным электрооборудованием лаборатории.
11. Составить протоколы произведенных измерений.

## **Содержание отчета**

1. Цель работы, сведения из теории.
2. Схемы произведенных измерений.
3. Протоколы измерений сопротивления заземляющих устройств.
4. Выводы.

## **Контрольные вопросы**

1. Для чего предназначены заземляющие устройства электроустановок?
2. Какие бывают режимы нейтралей распределительных сетей?
3. Назовите системы заземления в сетях 0,4 кВ.
4. Какие требования предъявляются к сопротивлению заземляющего устройства?
5. Как выполняется расчет сопротивления заземляющего устройства?
6. Какие существуют практические методы измерения сопротивления заземляющего устройства?

Лабораторная работа № 4  
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТ ПОВРЕЖДЕНИЯ  
КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ ИМПУЛЬСНЫМ МЕТОДОМ**

**Цель работы:** изучить принцип импульсного метода определения мест повреждения кабельной линии импульсным методом с применением цифрового рефлектометра.

**Задачи занятия**

1. Изучить теоретические основы импульсного метода определения мест повреждения линий электропередачи.
2. Изучить принцип действия цифрового рефлектометра РЕЙС-105М.
3. Изучить методику определения прибором РЕЙС-105М места и характера повреждения.
4. Выполнить автопоиск конца линии.
5. Определить характер и место повреждения кабельной линии.

**Теоретические сведения**

Импульсный метод определения мест повреждения на кабельных линиях основан на измерении времени пробега короткого импульса, посылаемого в линию, от места измерения до места повреждения и обратно.

При этом расстояние до места повреждения определяется из выражения

$$l_x = \frac{t_x}{2} v, \quad (4.1)$$

где  $l_x$  – расстояние до места повреждения, м;

$v$  – скорость распространения импульса ( $v = 160 \pm 1$  для силовых кабельных линий напряжением 3...10 кВ), м/мкс.

Процесс посылки импульса в кабель отражается на экране прибора. Время пробега импульса  $t_x$  измеряют с помощью специальных калибровочных импульсов, следующих друг за другом через определенное время (2 мкс) и также наблюдаемых на экране ЭЛТ (линия масштабных отметок времени).

Расстояние до места повреждения определяется по экрану:

$$l_x = n v, \quad (4.2)$$

где  $n$  – количество масштабных отметок времени на экране от места измерения до места повреждения.

Полярность отраженного импульса указывает на характер изменения волнового сопротивления в месте повреждения. Выброс вверх соответствует увеличению волнового сопротивления (обрыв), выброс вниз – уменьшению волнового сопротивления (короткое замыкание).

В начале измерений прибор подключают к исправной жиле, отмечают картину распространения импульса и определяют, какому количеству масштабных отметок времени  $n$  соответствует полная длина линии. При известной длине кабеля фактическая скорость распространения импульса в линии определяется по формуле

$$v = \frac{L}{n}, \quad (4.3)$$

где  $L$  – полная длина кабеля, м.

После переключения прибора на поврежденную жилу расстояние определяют по формуле (4.2), скорость распространения импульса принимают равной 160 м/мкс.

Картина, наблюдаемая на экране прибора, отображена на рис. 4.1.

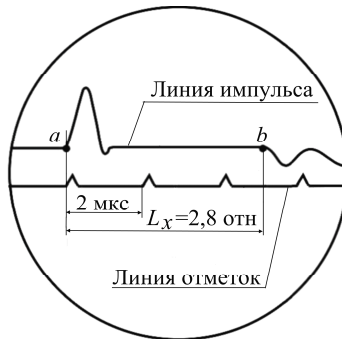


Рис. 4.1. Изображение на экране прибора при определении места повреждения в кабельной линии (короткое замыкание)

Импульсный метод применяется на кабельных линиях любых напряжений, выполненных кабелями любых марок, для определения всех видов повреждений (замыкание жилы на оболочку, двух или трех жил между собой и на землю в одном месте, обрыв токоведущих жил без заземления и с замыканием на землю) при условии, что переходное сопротивление в месте повреждения не превышает 200 Ом.

Для определения места повреждения на кабельных линиях применяют измерители неоднородностей кабеля Р5-9, Р5-9/1 или аналогичные им приборы.

В настоящее время все большее применение находят цифровые рефлектометры, например РЕЙС-105М.

**Устройство и работа прибора РЕЙС-105М. Принцип действия прибора и методика измерений.** В основу работы прибора (рис. 4.2) положен метод импульсной рефлектометрии (локационный метод, метод отраженных импульсов). Сущность метода импульсной рефлектометрии заключается в зондировании кабеля (двухпроводной линии) импульсами напряжения, приеме импульсов, отраженных от места повреждения и неоднородностей волнового сопротивления, выделении отражений от места повреждений на фоне помех (случайных и отражений от неоднородностей линий) и определении расстояния до повреждения по временной задержке отраженного импульса относительно зондирующего.

Основную сложность и трудоемкость при методе импульсной рефлектометрии представляет выделение отражения от места повреждения на фоне помех.

Метод импульсной рефлектометрии базируется на физическом свойстве бесконечно длинной однородной линии, согласно которому отношение между напряжением и током введенной в линию электромагнитной волны одинаково в любой точке линии. Это со-

отношение  $W = \frac{U}{I}$  имеет размерность сопротивления и называется волновым сопротивлением линии.

Для определения расстояния до места повреждения (неоднородности волнового сопротивления) в линию посылают импульс, измеряют интервал  $t_x$  (время двойного пробега этого импульса до места повреждения) и рассчитывают расстояние до места повреждения  $L_x$  по формуле

$$L_x = t_x \frac{V}{2}, \quad (4.4)$$

где  $V$  – скорость распространения импульса в линии, м/с.

Отношение амплитуды отраженного импульса  $U_o$  к амплитуде зондирующего импульса  $U_3$  обозначают коэффициентом отражения  $K_{отр}$ :

$$K_{отр} = \frac{U_o}{U_3}, \quad (4.5)$$



Рис. 4.2. Цифровой рефлектометр РЕИС-105М

Отражение появляется в тех местах, где волновое сопротивление отклоняется от своего среднего значения: у муфт, у мест изменения сечения, сжатия кабеля, в месте утечки, обрыва, короткого замыкания, в месте ответвления, в конце кабеля и т. д.

В месте подключения прибора также возникают переотражения сигналов от выходного сопротивления генератора зондирующих импульсов, если оно не равно волновому сопротивлению измеряемой линии. В зависимости от соотношения выходного сопротивления генератора зондирующих импульсов и волнового сопротивления линии изменяется полярность и амплитуда переотражений, которая может оказаться соизмеримой с амплитудой отражений. Поэтому операция согласования выходного сопротивления генератора с волновым сопротивлением линии должна проводиться обязательно.

Затухание зондирующих импульсов в линии существенно влияет на отраженный сигнал. Затухание линии определяется ее геометрической конструкцией, материалом проводников и изоляции и является частотно-зависимым, следствием чего является изменение зондирующих импульсов при их распространении по линии, как по амплитуде, так и по длительности («расплывание»).

«Расплывание» импульса и уменьшение его амплитуды (тем больше, чем длиннее линия) затрудняют точное отыскание повреждения. Поэтому обязателен правильный выбор параметров зондирующего импульса в соответствии с длиной и частотной характеристикой затухания линии. Критерием правильного выбора параметров зондирующего импульса является минимальное «расплывание» и максимальная амплитуда отраженного сигнала.

Зондирующий и отраженные импульсы воспроизводятся на жидкокристаллическом экране, образуя рефлектограмму линии (рис. 4.3).

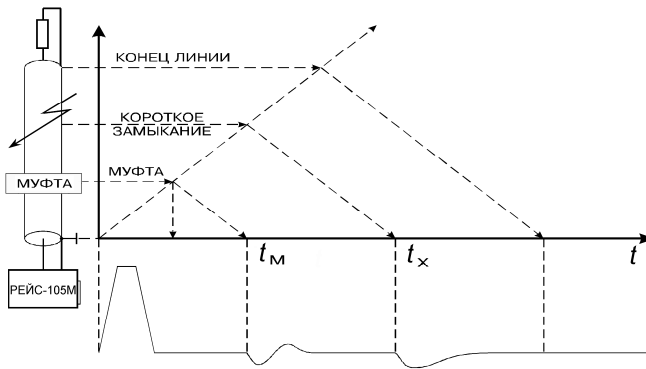


Рис. 4.3. Рефлектометрический метод определения места повреждения

Отсутствие отраженного сигнала свидетельствует о точном согласовании системы с линией по волновому сопротивлению и об отсутствии повреждений.

При обрыве отраженный импульс имеет ту же полярность, что и зондирующий, при коротком замыкании отраженный импульс меняет полярность.

Предельная амплитуда отраженного сигнала при полном отражении и отсутствии затухания (в начале линии) равна амплитуде

зондирующего импульса. При изменении сопротивления линии в месте неоднородности от нуля (короткое замыкание) до бесконечности (обрыв) отраженный импульс меняет полярность и амплитуду.

Эквивалентные схемы повреждений в линии приведены на рис. 4.4.

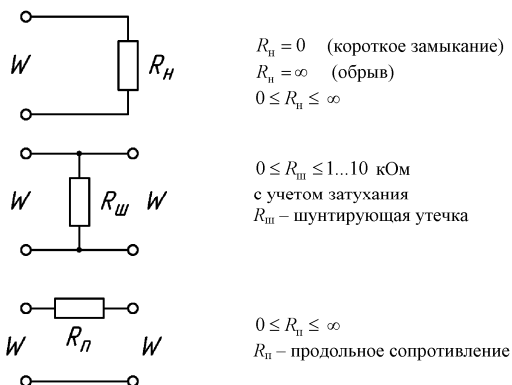


Рис. 4.4. Эквивалентные схемы повреждений

При зондировании линии короткими импульсами напряжения (длительность импульса намного меньше времени распространения импульса по линии) наблюдаются отражения от начала и конца распределенных неоднородностей, поэтому такое зондирование используется только для поиска локальных повреждений и крупных сосредоточенных неоднородностей волнового сопротивления. Короткий зондирующий импульс обеспечивает высокую разрешающую способность, которая определяется его длительностью.

Импульсный сигнал распространяется в линии с определенной скоростью, которая зависит от типа диэлектрика. Эта зависимость выражается в виде

$$V = \frac{c}{\gamma} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon}}, \quad (4.6)$$

где  $c$  – скорость света, м/с;

$\gamma$  – коэффициент укорочения электромагнитной волны в линии;

$\epsilon$  – диэлектрическая проницаемость материала изоляции кабеля.

Коэффициент укорочения  $\gamma$  показывает во сколько раз скорость распространения импульса в линии меньше скорости распространения в воздухе.

Точность определения расстояния до места повреждения зависит от точности установки коэффициента укорочения.

Величина  $\gamma$  является справочной только для радиочастотных кабелей, для других типов кабелей не нормируется. *Коэффициент укорочения можно определить методом импульсной рефлектометрии при известной длине кабеля.* Числовые значения коэффициентов укорочения для кабелей и линий различных типов (до 64 коэффициентов с типом кабелей) могут быть записаны в память прибора изготовителем или самим потребителем и сохраняются там не менее 10 лет, в том числе при отключенном питании.

Метод импульсной рефлектометрии позволяет определить следующие места повреждения (ОМП): обрыв, короткие замыкания, низкоомные соединения жил или оболочки при сопротивлении утечки до нескольких десятков кОм (в зависимости от длины линии, затухания и помех), муфты, ответвления и т. д. При малых синхронных помехах возможно обнаружение повреждений и для более высоких значений сопротивления утечки.

### **Методика выполнения лабораторной работы**

**Автопоиск конца линии.** Этот режим может применяться для измерения длины кабеля на барабане.

Прибор выполняет измерение длины кабеля как в случае разомкнутого, так и короткозамкнутого противоположного конца кабеля.

Кабель должен иметь минимум два металлических проводника (включая оплетку или экран), изолированных друг от друга.

*Кабель должен быть отключен от всех питающих или информационных сетей.*

Для правильной работы прибора несколько раз кратковременно соедините между собой выбранные для измерения жилы кабеля, или жилу и броню, или жилу и экран. Это необходимо для исключения любого попадания потенциала с подключаемого кабеля на вход прибора.

Последовательность определения места повреждения кабельной линии прибором РЕЙС-105М:

1. Включить прибор.
2. Подключить прибор к выбранным жилам кабеля.



3. Установить коэффициент укорочения, соответствующий типу кабеля.

4. При помощи ручки «ВЫХОД СОПР.» выполнить согласование выходного сопротивления прибора с волновым сопротивлением кабеля. *Признак хорошего согласования – на экране прибора виден зондирующий импульс (слева) и только один импульс, отраженный от конца кабеля. Если отраженных импульсов несколько (обычно имеют убывающую амплитуду), то ручкой «ВЫХОД. СОПР.» добейтесь только одного отраженного импульса.*

5. Войдите в главное меню (рис. 4.5).



Рис. 4.5. Главное меню прибора РЕЙС-105М

6. Выбрать в главном меню пункт «Режим».

7. В появившемся меню выбрать пункт «Автопоиск конца линии». На экране появится сообщение «Идет автопоиск конца линии, обрыва или КЗ для входа 1». *Если прибор не подключен к кабелю или кабель имеет слишком большую длину, то прибор сообщит об этом и автоматически вернется в режим измерения без измерения длины.*

8. При успешном определении длины линии, прибор автоматически установит необходимый диапазон измерения. Курсор «0» автоматически установится на начало зондирующего импульса, а курсор «1» – на начало отраженного импульса.

9. На экране прибора слева внизу появится измеренная длина кабеля в метрах.

**Определение места повреждения линии.** Точному определению места повреждения в линиях электропередачи и связи, которое

производится на трассе, должна предшествовать предварительная его локализация дистанционным методом.

**Последовательность операций при анализе рефлектограмм:**

- установить коэффициент укорочения измеряемого кабеля;
- во избежание пропуска повреждения установить диапазон измерения расстояния больше предполагаемой длины кабеля;
- проверить согласование выходного сопротивления прибора с волновым сопротивлением линии;
- при выявлении повреждения проводят операцию определения расстояния до места повреждения.

Формы импульсов при различных характерах повреждения (неоднородности) приведены в приложении 1.

**Содержание отчета**

1. Цель работы.
2. Рисунок рефлектометрического метода определения места повреждения.
3. Рисунок эквивалентных схем повреждений.
4. Таблицы результатов произведенных измерений (табл. 4.1).

*Таблица 4.1*

Определение места повреждения кабельной линии

Измеряемое расстояние	$h_{xy}$ , м	$\gamma$ (коэффициент укорочения)
а) до конца кабельной линии		
б) до места обрыва		
в) до места короткого замыкания		

- 5) Выводы.

**Контрольные вопросы**

1. Перечислите основные виды проверок кабельной линии при помощи цифрового рефлектометра РЕЙС-105М.
2. Объясните принцип действия цифрового рефлектометра РЕЙС-105М.
3. Объясните методику определения места и характера повреждения кабельной линии прибором РЕЙС-105М.

Лабораторная работа № 5  
**ПРОВЕРКА И ПОДГОТОВКА К ЭКСПЛУАТАЦИИ  
АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ.  
ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПУСКОЗАЩИТНОЙ АППАРАТУРЫ**

**Цель занятия:** получить практические навыки по проверке и подготовке к эксплуатации асинхронных электродвигателей. Изучить назначение, принцип действия и конструкции плавких предохранителей, электротепловых реле и автоматических выключателей.

**Задачи занятия**

1. Изучить краткие теоретические сведения по эксплуатации асинхронных электродвигателей.
2. Провести внешний осмотр электродвигателя, проверку состояния подшипников и вентилятора.
3. Выполнить проверку маркировки выводов обмоток электродвигателя, измерить сопротивление изоляции обмоток.
4. Изучить методику сушки электродвигателя, выбрать схему сушки и необходимое оборудование. Определить режимы сушки электродвигателя.
5. Собрать схему испытаний и выполнить пуск электродвигателя. Оформить протоколы испытаний.
6. Ознакомиться с представленными на лабораторном стенде аппаратами защиты.
7. Изучить схему лабораторной установки и в соответствии с предложенной методикой снять защитные характеристики тепловых расцепителей автоматического выключателя и электротеплового реле.
8. Изучить методику выбора и настройки электротепловых реле и автоматических выключателей.

**Теоретические сведения**

При подготовке к эксплуатации асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором, выполняются следующие приемно-сдаточные испытания:

1. Определение возможности включения электродвигателей напряжением выше 1000 В без сушки.

2. Измерение сопротивления изоляции:

а) обмотки статора электродвигателя напряжением до 1000 В мегаомметром на напряжение 1000 В ( $R_{60}$  должно быть не менее 0,5 МОм при 10...30 °С);

б) обмотки ротора электродвигателей с фазным ротором мегаомметром на напряжение 500 В (сопротивление изоляции должно быть не менее 0,2 МОм).

3. Испытание повышенным напряжением промышленной частоты.

4. Измерение сопротивления по постоянному току:

а) обмоток статора и ротора электродвигателей мощностью 300 кВт и более (разница между измеренными сопротивлениями обмоток различных фаз или между измеренными и заводскими данными допускается не более 2 %);

б) у реостатов и пускорегулировочных сопротивлений измеряется общее сопротивление и проверяется целостность отпаек. Разница между измеренным сопротивлением и паспортными данными допускается не более 10 %.

5. Измерение зазоров между сталью ротора и статора. Разница между воздушными зазорами в диаметрально противоположных точках, сдвинутых относительно оси ротора на 90°, и средним воздушным зазором допускается не более 10 %.

6. Измерение зазоров в подшипниках скольжения.

7. Измерение вибрации подшипников электродвигателей.

8. Измерение разбега ротора в осевом направлении для электродвигателей, имеющих подшипники скольжения (допустимо значение разбега 2...4 мм).

9. Испытание вентилятора давлением 0,20...0,25 МПа (2...2,5 кгс/см<sup>2</sup>). Продолжительность испытания 10 мин.

10. Проверка работы электродвигателя на холостом ходу или с ненагруженным механизмом. Значение тока холостого хода не нормируется. Продолжительность проверки не более 1 ч.

11. Проверка работы электродвигателя под нагрузкой.

При наладке электродвигателя часто возникает необходимость в дополнительных измерениях и испытаниях.

**Внешний осмотр и проверка механической части.** При внешнем осмотре проверяется:

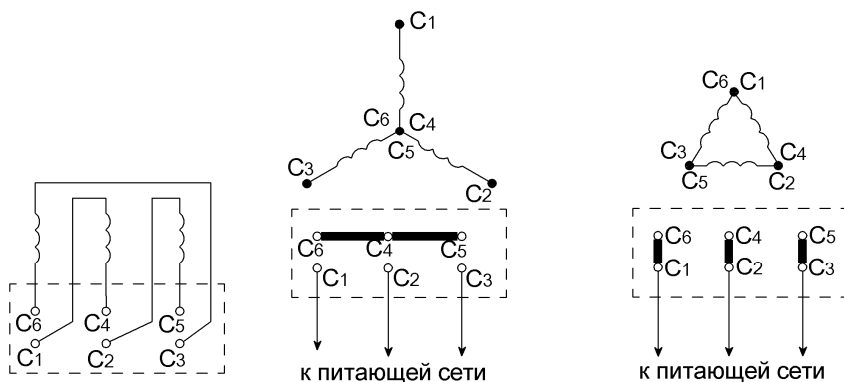
1) чистота помещения, где установлена электрическая машина;

2) комплектность поставки (наличие всех деталей, паспортного и клеммного щитков и необходимых обозначений на них);

- 3) соответствие паспортных данных техническим условиям;
- 4) наличие и содержание технической документации по ревизии и ремонту;
- 5) заполнение подшипников смазкой;
- 6) соответствие направления вращения;
- 7) наличие заземляющей проводки и качество соединения;
- 8) состояние соединительной муфты;
- 9) целостность изоляции и соединений видимых частей обмоток и выводов;
- 10) чистота поверхностей двигателя;
- 11) отсутствие трещин подшипниковых щитов, лап и станины;
- 12) отсутствие деформации вала или забоин на его поверхности;
- 13) наличие шпонки в шпоночной канавке на свободном конце вала;
- 14) отсутствие на внутренних частях машины посторонних предметов (просвечивание, продувка сухим чистым воздухом).

**Проверка маркировки выводов обмотки статора.** Для проверки маркировки выводов обмотки статора снимается крышка коробки выводов.

Схема клеммного щитка двигателя с подключенными к зажимам обмотками и соединением обмотки в звезду или треугольник показаны на рис. 5.1.



*Рис. 5.1.* Схема клеммного щитка двигателя с обмотками:  
 а – подключенными к зажимам; б – соединенными в звезду;  
 в – соединенными в треугольник

Если маркировка выводных концов фаз обмотки отсутствует, то при помощи омметра определяется принадлежность выводных концов к отдельным фазам и обозначаются фазы обмотки соответственно I, II и III.

Начало и конец первой фазы выбираются произвольно и обозначаются C1 и C4, начала и концы других фаз определяются одним из следующих способов: проверка на переменном токе, проверка на постоянном токе.

*Проверка на переменном токе.* Для определения начала и конца фаз обмотки собирается схема, показанная на рис. 5.2. На две фазы обмотки двигателя, соединенные последовательно, подается напряжение переменного тока 12 или 36 В от трансформатора T, подключенного через рубильник QS и предохранитель FU к сети.

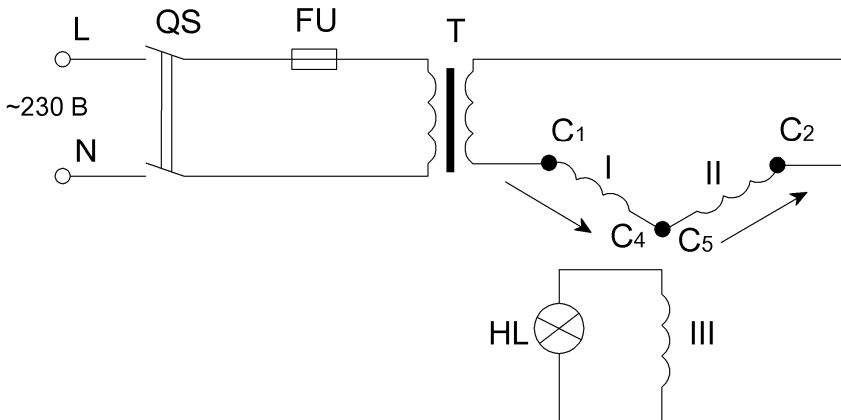


Рис. 5.2. Схема для определения начала и конца обмотки на переменном токе

К выводам третьей фазы обмотки подключается вольтметр переменного тока на 30 В, или лампочка на напряжение 6,3 В при вторичном напряжении трансформатора 12 В, или на 24 В при вторичном напряжении 36 В.

Если первые две фазы соединены одноименными выводами, то лампочка, подключенная к выводам третьей обмотки, не загорится (стрелка вольтметра не отклонится). При соединении разноименных выводов – начала первой и конца второй фаз, или наоборот –

лампочка загорится (стрелка вольтметра отклонится). Начало и конец второй фазы обмотки маркируются С2 и С5. После определения выводов на двух фазах обмотки вместо второй фазы подключается третья и таким же образом определяются ее начало и конец С3 и С6.

*Проверка на постоянном токе.* Для определения начала и конца фаз обмотки собирается схема, показанная на рис. 5.3. В первую фазу обмотки кратковременными импульсами подается напряжение 3,5 В от батарейки или аккумулятора.

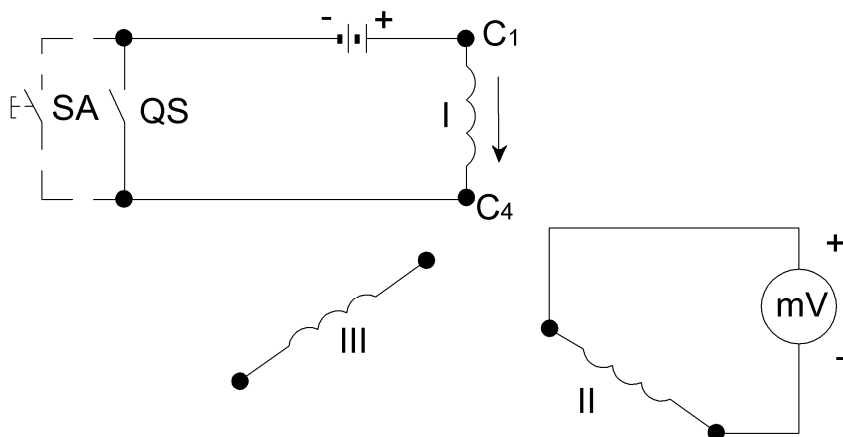


Рис. 5.3. Схема для определения начала и конца обмотки на постоянном токе

К другим фазам обмотки поочередно подключается милливольтметр, с помощью которого определяется полярность наведенных в этих фазах ЭДС в момент включения и отключения тока в первой фазе.

Если «плюс» от батарейки подается на начало первой фазы, то положительная полярность в момент включения тока будет на концах других фаз, а в момент отключения – на началах этих фаз. В соответствии с этим производится маркировка начала и конца II и III фазы обмотки С2 и С5, С3 и С6. Для определения начала и конца фаз обмотки двигателя на постоянном токе может быть применен индикатор полярности типа М227, имеющий встроенную батарейку напряжением 3,5 В.

**Измерение сопротивления изоляции обмотки статора.** Измерение сопротивления изоляции обмотки статора производится при помощи мегаомметра на напряжение 500 В в следующей последовательности:

1. Измерение сопротивления изоляции фаз обмотки относительно корпуса двигателя.

Проводник, подключенный к зажиму З (земля) мегаомметра, подсоединяется к корпусу электродвигателя. Мегаомметр поочередно присоединяют к выводам каждой фазы обмотки С1, С2 и С3 или С4, С5 и С6 проводником, подключенным к зажиму Л (линия) мегаомметра.

2. Измерение сопротивления изоляции между фазами обмотки двигателя.

Мегаомметр поочередно подключают к выводам фаз обмотки, измеряя при этом сопротивление изоляции между I и II, I и III, II и III фазой обмотки электродвигателя.

Сопротивление изоляции обмотки относительно корпуса двигателя и фаз обмотки между собой должно быть не ниже 0,5 МОм ( $R_{60}$ ).

Если сопротивление изоляции обмотки двигателя ниже или равно 0,5 МОм, производится сушка обмоток электродвигателя.

**Сушка обмотки электродвигателя.** Сушка обмоток электродвигателей в зависимости от местных условий, имеющегося оборудования, измерительных приборов и материалов может производиться одним из следующих способов: внешним нагревом; методом потерь в меди обмотки (нагрев током, проходящим в обмотке двигателя); методом индукционных потерь в стали.

**Электрические аппараты защиты.** Электрические аппараты защиты служат для отключения электрических цепей в аварийных режимах.

Для защиты проводок и электрооборудования от токов коротких замыканий применяются плавкие предохранители и автоматические выключатели без выдержки времени, а для защиты от перегрузок – автоматические выключатели с выдержкой времени и электротепловые реле магнитных пускателей.

Плавкие предохранители включаются в каждую фазу электродвигателя или другого электроприемника. Основными элементами предохранителя являются плавкая вставка, контактная система



и корпус с дугогасительным устройством. При аварийном увеличении тока отключение электрической цепи происходит за счет расплавления калиброванной плавкой вставки.

Для защиты электрических цепей напряжением до 1000 В используются предохранители общего назначения (ПР2, ПН2, НПН, ПП31, ПП32, ППН, ППНИ), предохранители для защиты силовых полупроводниковых приборов (ПНБ5, ПНБ7, ПП57, ПП59, ПП50, ПП60).

На рис. 5.4 показано устройство плавкого предохранителя типа ППН-33.

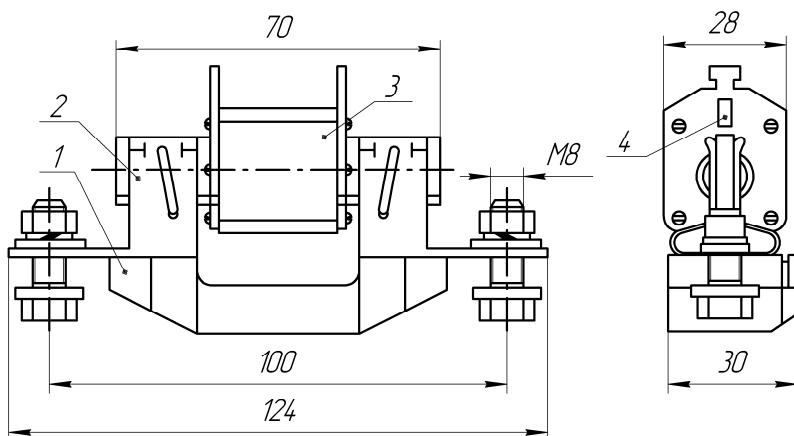


Рис. 5.4. Общий вид предохранителя ППН-33 для плавких вставок на ток от 2 до 160 А с креплением на основании:

- 1 – основание; 2 – держатель плавкой вставки (контактные выводы);  
3 – плавкая вставка; 4 – указатель срабатывания

Автоматические выключатели предназначены для коммутации электрических цепей, а также для их защиты от перегрузок и коротких замыканий. Контактная система автоматического выключателя замыкается и размыкается вручную с помощью рукоятки или кнопок; для отключения цепей при коротких замыканиях служит максимальное токовое реле прямого действия, для отключения при перегрузках – тепловое реле прямого действия (электромагнитный и тепловой расцепители). Устройство однополюсного модульного автоматического выключателя ВА14 показано на рис. 5.5.

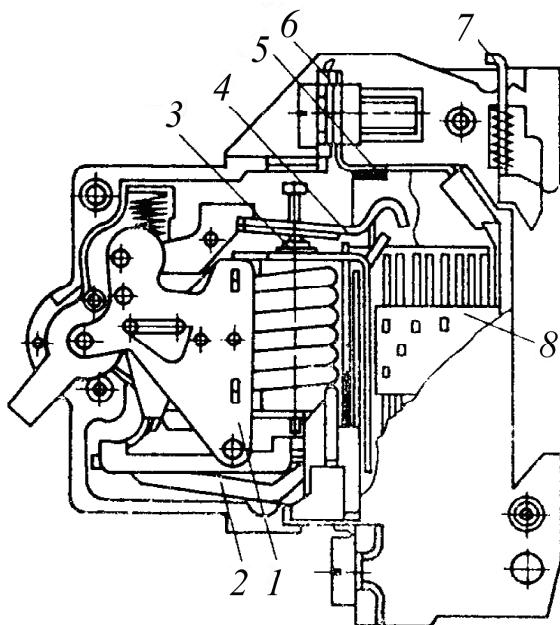


Рис. 5.5. Однополюсный автоматический выключатель ВА14:  
 1 – механизм свободного расцепления; 2 – тепловой расцепитель;  
 3 – электромагнитный расцепитель; 4 – подвижный контакт;  
 5 – неподвижный контакт; 6 – выводной зажим;  
 7 – рычаг открепления выключателя; 8 – дугогасительная решетка

Принцип действия автоматического выключателя показан на рис. 5.6. Ток нагрузки  $I$  протекает через контакт 1 автоматического выключателя, через нагреватель теплового расцепителя 6, катушку 9 электромагнитного расцепителя. При коротком замыкании в защищаемой цепи ток резко возрастает, сердечник 10 втягивается в катушку 9 и толкателем 8 воздействует на рычаг 5. Рычаг 5 приподнимает защелку 4, которая освобождает рычаг 3, и под действием пружины 2 контакт 1 выключателя размыкается.

При перегрузке цепи отключение происходит с выдержкой времени, обратной величине тока перегрузки. Когда ток в защищаемой цепи больше допустимого, но меньше тока короткого замыкания, происходит нагрев элемента 6 теплового расцепителя, вызывающий нагрев и деформацию биметаллической пластины 7. В результате

изгиба пластины 7 рычаг 5 освобождает защелку 4 и под действием пружины 2 контакт 1 размыкается.

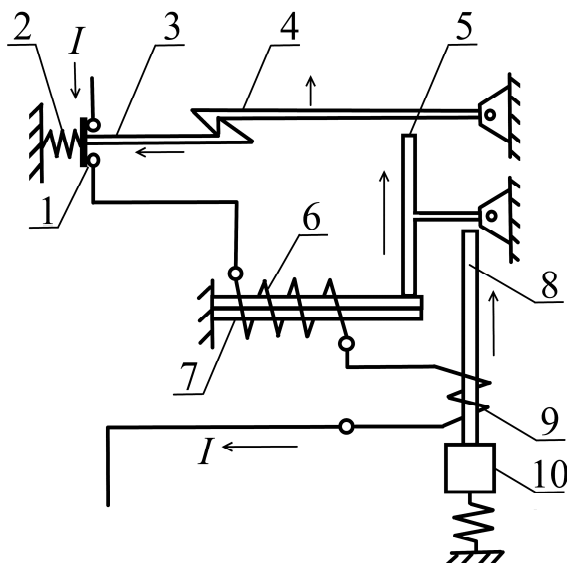


Рис. 5.6. Устройство и принцип действия автоматического выключателя:

- 1 – контакты; 2 – пружина; 3 – рычаг; 4 – защелка; 5 – рычаг;  
6 – нагревательный элемент; 7 – биметаллическая пластина; 8 – толкатель;  
9 – катушка; 10 – сердечник

Применяемые для коммутации и защиты силовых и осветительных сетей автоматические выключатели типов АП50, А3700, АЕ2000, ВА и другие различаются между собой количеством контактов (полюсов), номинальными значениями токов и напряжений, отключающей способностью, временем отключения. Диапазон их номинальных токов от 10 до 10 000 А, а предельно коммутируемых токов до 100 кА. Время срабатывания электромагнитного расцепителя 0,02...0,70 с, время срабатывания теплового расцепителя зависит от тока перегрузки и изменяется от нескольких секунд до десятков секунд. Некоторые типы автоматических выключателей содержат дистанционный расцепитель, позволяющий производить отключение по внешнему сигналу тока или напряжения. Существуют автоматические выключатели

с электромагнитным приводом, который обеспечивает дистанционное включение аппарата.

Защита электродвигателей от перегрузок может осуществляться при помощи электротепловых реле. Принцип действия и устройство электротепловых реле аналогичны устройству тепловых расцепителей автоматических выключателей. Применяются электротепловые реле типов ТРН (двухполюсные) и РТЛ (трехполюсные). Диапазон регулирования тока вставки тепловых реле – от 0,75 до 1,25  $I_n$ .

Электротепловые реле используются вместе с электромагнитными пускателями. Реле типа ТРН применяются с пускателями ПМЕ и ПАЕ, реле РТЛ – с пускателями ПМЛ.

**Выбор аппаратов защиты.** Плавкие предохранители выбирают по напряжению, предельно отключаемому току и номинальному току плавкой вставки. Номинальный ток плавкой вставки ( $I_{вст}$ ) должен удовлетворять двум условиям. Первое условие:

$$I_{вст} > I_{дл}, \quad (5.1)$$

где  $I_{дл}$  – длительный расчетный ток электроприемника или линии, А.

Второе условие:

$$I_{вст} > I_m / \alpha, \quad (5.2)$$

где  $I_m$  – максимальный кратковременный ток (для электродвигателей – пусковой ток  $I_{пуск}$ );

$\alpha$  – коэффициент, зависящий от продолжительности и частоты пусков электродвигателя;  $\alpha = 2,5$  для электродвигателей с нормальными условиями пуска (относительно редкие пуски и небольшая длительность разгона – 5...10 с);  $\alpha = 1,6...2,0$  – для двигателей с тяжелыми условиями пуска (длительность разгона до 40 с).

Автоматические выключатели надежнее, чем плавкие предохранители, защищают электродвигатели от аварийных режимов и одновременно являются коммутационными аппаратами. Их выбирают по номинальному напряжению, номинальному току и номинальному току расцепителей.

Номинальный ток автоматического выключателя должен соответствовать длительному току электроприемника или линии:

$$I_{\text{н.авт}} > I_{\text{дл}}. \quad (5.3)$$

Номинальный ток электромагнитного или теплового расцепителя должен соответствовать длительному току электроприемника или линии:

$$I_{\text{н.расц}} > I_{\text{дл}}. \quad (5.4)$$

Защита от перегрузки (тепловая защита) считается эффективной, если выполняется условие

$$I_{\text{тр}} > (1,1 \dots 1,2) I_{\text{дл}}; \quad (5.5)$$

где  $I_{\text{тр}}$  – уставка теплового расцепителя, А;

$I_{\text{дл}}$  – длительный рабочий ток электродвигателя, А.

Для модульных автоматических выключателей (например, ВА47-29) номинальный ток теплового расцепителя выбирается по условию

$$I_{\text{тр } 30^\circ\text{C}} \geq \frac{I_{\text{дл}}}{K_N K_t}. \quad (5.6)$$

где  $I_{\text{тр } 30^\circ\text{C}}$  – номинальный ток теплового расцепителя (указанный на маркировке) при температуре настройки  $+30^\circ\text{C}$ , А;

$K_N$  – коэффициент, зависящий от числа полюсов. Например, для ВА47-29  $K_N = 1$  при 1 полюсе;  $K_N = 0,875$  при 2 полюсах;  $K_N = 0,83$  при 3 полюсах;  $K_N = 0,81$  при 4 полюсах;

$K_t$  – коэффициент, зависящий от температуры окружающей среды. Например, для ВА47-29 при  $+50^\circ\text{C}$   $K_t = 0,97$ ; при  $+40^\circ\text{C}$   $K_t = 0,99$ ; при  $+10^\circ\text{C}$   $K_t = 1,04$ ; при  $-10^\circ\text{C}$   $K_t = 1,1$ .

После определения  $I_{\text{тр}}$ , по каталожным данным выбирают выключатель с ближайшим паспортным значением уставки теплового расцепителя.

Ток срабатывания электромагнитного расцепителя для автоматических выключателей типов АП50, АЕ2000 определяется как  $I_{\text{эм}} = 12I_{\text{тр}}$  (указывается в паспортных данных и на крышке корпуса выключателя). Для выключателей модульного типа в каталожных

данных указан класс электромагнитного расцепителя (А, В, С, D, Z, L, К и т. д.), причем каждому классу соответствует свой диапазон кратности тока срабатывания электромагнитного расцепителя в зависимости от теплового.

Выбранный электромагнитный расцепитель автоматического выключателя необходимо проверить на условие несрабатывания от пусковых токов (например, от пусковых токов электродвигателя):

$$I_{эм} > 1,25I_{max}, \quad (5.7)$$

где  $I_{эм}$  – справочное значение уставки электромагнитного расцепителя, А. Для модульных автоматических выключателей  $I_{эм} = K_{эм.мин} I_{тр}$ , где  $K_{эм.мин}$  – минимальная кратность тока срабатывания электромагнитного расцепителя выбранного класса. Например, при выборе расцепителя класса D,  $K_{эм.мин} = 10$ ;

$I_{max}$  – максимальный ток электродвигателя ( $I_{max} = I_n K_i$ , где  $K_i$  – кратность пускового тока), А.

Электротепловые реле предназначены для защиты электродвигателей от перегрева при длительных перегрузках. Защитные характеристики тепловых реле аналогичны характеристикам тепловых расцепителей автоматических выключателей.

Номинальный ток уставки реле выбирается по номинальному току защищаемого электродвигателя так, чтобы последний находился в зоне регулировки номинального тока несрабатывания теплового реле:

$$I_{уст. мин} \leq I_n \leq I_{уст. макс} , \quad (5.8)$$

где  $I_{уст.мин}$ ,  $I_{уст.макс}$  – границы изменения уставки теплового расцепителя, А;

$I_n$  – номинальный ток электродвигателя, А.

Если условие (5.8) выполняется для тепловых реле двух номиналов, то выбирается тепловое реле с меньшим током, чтобы обеспечить возможность регулирования в сторону повышения чувствительности защиты.

**Описание лабораторной установки.** Лабораторная установка состоит из испытуемых автоматического выключателя и теплового реле, трех амперметров, электронного секундомера Ф291, магнитных

пускателей КМ1, КМ2, линейного автотрансформатора (ЛАТРа) TV1 и трансформатора TV2. Схема установки представлена на рис. 5.7.

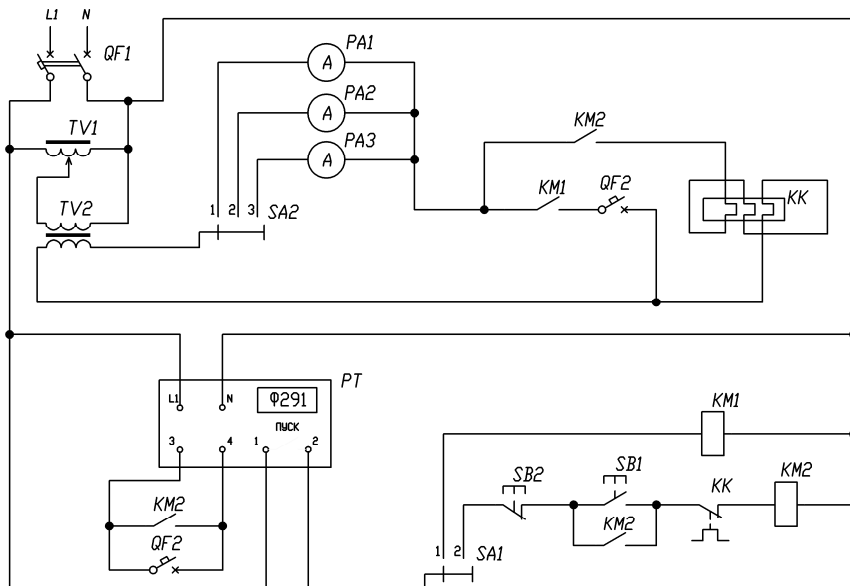


Рис. 5.7. Схема испытания автоматического выключателя и теплового реле

### Методика выполнения лабораторной работы

1. Ознакомиться с оборудованием рабочего места.
2. Произвести внешний осмотр электродвигателя и записать его технические данные.
3. Определить маркировку выводов обмотки статора переменным (рис. 5.2) и постоянным (рис. 5.3) током.
4. Измерить сопротивление изоляции обмотки статора и записать полученные результаты.
5. Записать паспортные данные исследуемых автоматического выключателя, теплового реле и измерительных приборов.
6. Изучить устройство автоматических выключателей, тепловых реле и плавких предохранителей.
7. Провести испытание теплового расцепителя автоматического выключателя в следующей последовательности:

- переключатель SA1 установить в положение 1;
- ручку ЛАТРа TV1 вывести в крайнее левое положение;
- включить QF1, затем включить секундомер РТ кнопкой «Сеть» и перевести тумблер «Пуск» в верхнее положение;
- включить испытуемый автоматический выключатель QF2 и при помощи ЛАТРа установить заданный ток (начальное значение тока и пределы его изменения задаются преподавателем). При этом переключатель SA2 установить в положение 1, 2 или 3 в зависимости от величины протекаемого тока в цепи через амперметр PA1, PA2 или PA3 соответственно;
- отключить QF2 для охлаждения нагревательных элементов теплового расцепителя на 4...5 мин;
- нажать кнопку «Сброс» секундомера;
- включить QF2 и после его срабатывания от тока перегрузки произвести отсчет времени по цифровому индикатору секундомера РТ;
- после охлаждения нагревательного элемента теплового расцепителя в течении 5...7 мин, повторить опыт испытания расцепителя;
- результаты записать в табл. 5.1.

8. Испытания теплового реле КК произвести в следующей последовательности:

- переключатель SA1 установить в положение 2;
- ручку ЛАТРа TV1 вывести в крайнее левое положение;
- включить QF1, затем включить секундомер РТ кнопкой «Сеть» и перевести тумблер «Пуск» в верхнее положение;
- нажать кнопку SB1 и при помощи ЛАТРа установить заданный ток через нагревательный элемент теплового реле КК. Переключатель SA2 при этом должен находиться в положении 1, 2 или 3 в зависимости от величины протекаемого тока в цепи через амперметр PA1, PA2 или PA3 соответственно;
- нажать кнопку SB2 для отключения нагревательного элемента теплового реле КК и его охлаждения в течение 5...7 мин;
- нажать кнопку «Сброс» секундомера, после чего нажать кнопку SB1. После срабатывания теплового реле произвести отсчет времени по секундомеру;
- после охлаждения нагревательного элемента теплового реле повторить опыт. Результаты измерений занести в табл. 5.1.



Результаты испытаний автоматического выключателя и теплового реле

Параметр	Автоматический выключатель					Тепловое реле					
	20	15	10	8	6	8	6	4	3	2	1
Ток через тепловой расцепитель $I$ , А											
Время срабатывания, с											
Кратность тока $I/I_n$											

### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Технические данные асинхронного электродвигателя.
4. Схемы произведенных испытаний и измерений.
5. Результаты произведенных измерений.
6. Технические характеристики исследуемых автоматического выключателя и теплового реле.
7. Электрическая схема лабораторной установки.
8. Таблица с опытными и расчетными данными.
9. Графические зависимости времени срабатывания от кратности тока для автоматического выключателя и теплового реле.
10. Анализ результатов, выводы, пояснения.

### Контрольные вопросы

1. Перечислите виды приемо-сдаточных испытаний асинхронных электродвигателей.
2. Объясните методику измерения сопротивления изоляции электродвигателей, перечислите приборы и оборудование, необходимые для испытаний.
3. Объясните методику измерения сопротивления обмоток электродвигателей постоянному току.
4. Объясните методику маркировки выводов обмотки статора асинхронного трехфазного электродвигателя.
5. Перечислите способы сушки обмотки электродвигателя.
6. Опишите устройство плавких предохранителей. Приведите последовательность их выбора.
7. Опишите устройство автоматического выключателя, приведите основные параметры и последовательность их выбора.

## Лабораторная работа № 6

# ДИАГНОСТИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВ ЗАЩИТНОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ

**Цель занятия:** изучить конструкцию и принцип действия устройств защитного отключения. Получить практические навыки проверки и диагностирования устройства защитного отключения.

### Задачи занятия

1. Выполнить проверку работоспособности устройства защитного отключения.
2. Определить значение дифференциального тока, при котором произойдет отключение устройства защитного отключения.

### Теоретические сведения

Устройство защитного отключения (УЗО) – это механический коммутационный аппарат, предназначенный для включения, проведения и отключения токов при нормальных условиях эксплуатации, а также размыкания контактов в случае, когда значение дифференциального тока достигает заданной величины в определенных условиях.

УЗО предназначены:

- для защиты человека от поражения электрическим током при прикосновении косвенном (прикосновение человека к открытым проводящим нетоковедущим частям электроустановки, оказавшимся под напряжением в случае повреждения изоляции) и прямом (прикосновение человека к токоведущим частям электроустановки, находящимся под напряжением). Данную функцию обеспечивают УЗО соответствующей чувствительности (ток отсечки не более 30 мА);

- предотвращения возгораний при возникновении токов утечки на корпус или на землю.

УЗО отключает питающую сеть в случае:

- одновременного контакта человека или животного с «землей» и частями электроприбора, находящимися под напряжением;
- повреждения основной изоляции и контакта токоведущих частей с заземленным корпусом;

- перемены нулевого рабочего (N) и заземляющего (PE) проводников;
- перемены фазного и нулевого рабочего проводников и одновременного контакта человека с «землей» и частями электроприбора, оказавшимися под напряжением;
- обрыва нулевого рабочего проводника до (и после) УЗО и одновременного контакта человека с «землей» и токоведущими или находящимися под напряжением частями электроприбора.

С точки зрения электробезопасности УЗО принципиально отличаются от устройств защиты от сверхтоков (предохранителей, автоматических выключателей) тем, что УЗО срабатывают при значительно меньших утечках тока (от единиц до сотен миллиампер), чем предохранители и автоматические выключатели (от единиц ампер и выше, что во много раз превышает смертельные для человека значения). При этом УЗО является отдельным видом защиты и не является заменой защиты от сверхтоков, так как УЗО не реагирует на неисправности, если они не сопровождаются утечкой тока (короткое замыкание между фазным и нулевым проводниками).

УЗО должны срабатывать за время не более 25...40 мс, то есть до того, как электрический ток, проходящий через организм человека, вызовет фибрилляцию сердца – наиболее частую причину смерти при поражениях электрическим током.

УЗО с отключающим дифференциальным током 100 мА и более могут применяться для защиты больших участков электрических сетей, где низкие уставки дифференциального тока УЗО привели бы к ложным срабатываниям. Такие низкочувствительные УЗО выполняют противопожарную функцию и не являются эффективной защитой от поражения электрическим током.

Принцип работы УЗО с дифференциальным трансформатором тока (ДТТ) основан на измерении разности токов, проходящих по проводникам через такой трансформатор. УЗО измеряет векторную сумму токов, протекающих по контролируемым проводникам (двум для однофазного УЗО, трем и более для трехфазного исполнения). В нормальном режиме работы векторная сумма токов, протекающих через измерительный трансформатор, равна 0 (ток, «втекающий» по одним проводникам равен току, «вытекающему» по другим), создаваемые такими токами магнитные потоки также

равны нулю, ЭДС во вторичной обмотке трансформатора не индуцируется, срабатывания устройства не происходит (рис. 6.1). При появлении тока утечки (касание человеком фазного проводника или уменьшение сопротивления изоляции линии) векторная сумма токов, протекающих через УЗО, не будет равна 0, так как появляется ток утечки  $I_{\Delta}$ , который протекает только по фазному проводнику. Во вторичной обмотке трансформатора наводится напряжение, пропорциональное току утечки, и при превышении определенного порога происходит срабатывание устройства и отключение защищаемой цепи.

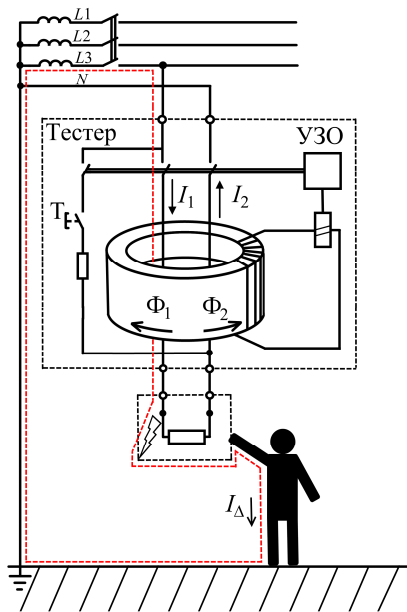


Рис. 6.1. Принцип действия УЗО

Фазный и нулевой проводники от источника питания подключаются к силовым клеммам УЗО. Проводник защитного заземления (РЕ-проводник) к УЗО не подключается.

Кнопка проверки «Т» позволяет проверить работоспособность устройства путем пропускания небольшого тока через тестовый провод, который через сопротивление подключается к фазному

проводнику до трансформатора тока и к нулевому проводнику за трансформатором тока. Таким образом, создается нарушение баланса токов в дифференциальном трансформаторе и УЗО должно сработать. Если УЗО не сработало, значит, оно неисправно и должно быть заменено.

Устройства защитного отключения с ДТТ можно классифицировать по нескольким принципам. По принципу взаимодействия элементов различают две группы:

- электронные (в таких УЗО механизм для выполнения операции отключения нуждается в энергии, сигнал с дифференциального трансформатора тока подается на электронный усилитель или компаратор, с него – на усилитель мощности. Последний включает исполнительный орган, например, промежуточное реле или тиристор);

- электромеханические (в их конструкции присутствует удерживающее реле с постоянным магнитом, что позволяет отказаться от источника энергии для выполнения операции отключения);

По способу установки различают УЗО:

- стационарные, с монтажом стационарной электропроводкой;

- переносные, с монтажом гибкими проводами с удлинителями.

По числу полюсов УЗО бывают двух-, трех- и четырехполюсные.

По виду защиты от сверхтоков УЗО бывают:

- без встроенной защиты от сверхтоков;

- со встроенной защитой от сверхтоков (дифференциальные автоматические выключатели (дифавтоматы). Они содержат в своем составе защиту как от токов утечки, так и от сверхтоков).


По возможности регулирования отключающего дифференциального тока УЗО бывают:


- нерегулируемые;


- регулируемые с дискретным регулированием;

- регулируемые с плавным регулированием.

Типы УЗО по условиям реагирования на форму тока:

- АС – реагирующий на синусоидальный переменный дифференциальный ток утечки, нарастающий медленно или возникающий скачком; на корпусе имеет символ 

- А – реагирующий как на синусоидальный переменный дифференциальный ток утечки, так и на пульсирующий постоянный дифференциальный ток, нарастающий медленно или возникающий скачком; на корпусе имеет символ 

- В – универсальный, реагирующий на синусоидальный, пульсирующий ток и постоянный ток утечки; на корпусе имеет символ .

По наличию задержки времени на срабатывание УЗО бывают:

- без задержки (тип общего применения);
- тип S – селективный (с задержкой);
- тип G – тоже селективный, но с меньшей выдержкой времени.

Выбор УЗО осуществляется по номинальному напряжению УЗО, номинальному току, номинальному дифференциальному отключающему току, способу установки, числу полюсов, по условиям реагирования на форму тока, по наличию задержки времени на срабатывание.

Номинальный ток УЗО ( $I_{н. \text{УЗО}}$ ) должен соответствовать номинальному току установки ( $I_{н. \text{уст}}$ ):

$$I_{н. \text{УЗО}} \geq I_{н. \text{уст}}. \quad (6.1)$$

Шкала номинальных токов УЗО следующая: 6; 16; 25; 40; 63; 80; 100; 125 А. При выборе  $I_{н. \text{УЗО}}$  необходимо, чтобы номинальный ток УЗО был на 1 ступень больше номинального тока автоматического выключателя, стоящего выше (по направлению подачи энергии), т. е.  $I_{н. \text{УЗО}} > I_{н. \text{QF}}$ .

Номинальный дифференциальный отключающий ток УЗО  $I_{\Delta n}$  должен быть в три раза больше «фонового» тока утечки защищаемой цепи:

$$I_{\Delta n} \geq 3I_{\Delta}, \quad (6.2)$$

где  $I_{\Delta}$  – суммарный «фоновый» ток утечки защищаемой цепи электроустановки, мА.

«Фоновый» ток утечки (мА) цепи вычисляется по формуле

$$I_{\Delta} \geq 0,4I_{н. \text{уст}} + 0,01L. \quad (6.3)$$

С учетом (6.2) имеем

$$I_{\Delta n} \geq 3(0,4I_{н. \text{уст}} + 0,01L), \quad (6.4)$$

где  $L$  – длина фазного проводника от места установки УЗО до клемм потребителя, м.

Стандартные значения  $I_{\Delta n}$  равны 10, 30, 100, 300, 500, 1000 мА.

## Методика выполнения работы

1. Ознакомится с УЗО, основными параметрами и видами испытания.

2. Ознакомится с устройством измерения напряжения прикосновения и параметров УЗО.

3. Произвести испытание УЗО.

Основные технические характеристики прибора испытания УЗО на базе SONEL MRP-201 (рис. 6.2):

– измерение параметров устройств защитного отключения типа АС, А и В;

– создаваемый ток (синусоидальный, однополярный, пульсирующий и постоянный);

– возможность выбора начальной фазы создаваемого дифференциального тока (0 или  $180^\circ$ );

– измерение параметров УЗО общего и селективного типа с номинальными токами 10, 30, 100, 300 и 500 мА;

– измерение времени отключения УЗО при токах 0,5; 1; 2 и 5-кратных номинальному дифференциальному току;

– автоматический режим измерения параметров УЗО;

– беспроводной интерфейс с ПК.



Рис. 6.2. Внешний вид прибора испытания УЗО SONEL MRP-201

**Подготовка прибора** к испытаниям устройства защитного отключения:

- включите прибор MRP-201, нажав на соответствующую кнопку, расположенную в центре прибора;
- подключите к прибору адаптер WS-05 из стандартного комплекта оборудования: один конец адаптера – к прибору, другой – к электрической розетке стенда.

**Для измерения напряжения, частоты тока** и отображения их на экране прибора следует установить поворотный переключатель в режим «U,f». Прибор MRP-201 отображает действующее напряжение переменного тока для частоты 45,0...65,0 Гц. Диапазон измеряемых напряжений – 0,0...299,9 В и 300...500 В. Полученные результаты измерения записать в табл. 6.1.

**Для измерения тока срабатывания УЗО**, следует установить поворотный переключатель в режим «I<sub>A</sub>», а затем установить необходимые параметры измерения, для чего следует:

- нажать кнопку SET/SEL;
- при помощи кнопок, указывающих направление вниз и вверх, выбрать значение номинального дифференциального тока (10; 30; 100; 300; 500 mA) и нажать кнопку, указывающую направление вправо;
- при помощи кнопок, указывающих направление вниз и вверх, выбрать необходимую форму тока утечки и нажать кнопку, указывающую направление вправо;
- при помощи кнопок, указывающих направление вниз и вверх, выбрать необходимую задержку срабатывания (без задержки; S; G) и нажать кнопку, указывающую направление вправо;
- при помощи кнопок, указывающих направление вниз и вверх, установить безопасное напряжение прикосновения (50, 25 или 12,5 В) и нажать кнопку, указывающую направление вправо;
- при помощи кнопок, указывающих направление вниз и вверх, выбрать необходимые параметры измерения (ток  $I_A$ , время срабатывания  $t_{A1}$ , напряжение прикосновения  $U_B$ , сопротивление защитного заземления  $R_E$ );
- нажать и держать кнопку ENTER, пока на экране сверху слева не загорится надпись READY;
- нажать кнопку START. Прибор произведет необходимые измерения и отобразит на экране основной результат измерений: зна-



чение тока отключения УЗО  $I_A$ . Последующие нажатия кнопок, указывающих направление вправо, отобразят дополнительные результаты измерения. Записать полученное значение тока  $I_A$  в табл. 6.1.

**Для измерения времени отключения УЗО** необходимо установить поворотный переключатель в режим « $t_A 1x$ », а затем установить необходимые параметры измерения. Алгоритм установки параметров измерения аналогичен алгоритму, приведенному выше для измерения тока срабатывания УЗО:

– нажать кнопку START. Прибор произведет необходимые измерения и отобразит на экране основной результат измерения – время срабатывания УЗО  $t_A$  при протекании тока, равного установленному в параметрах измерения. Последующие нажатия кнопки, указывающей направление вправо, отобразят дополнительные результаты измерения. Записать полученное значение времени  $t_A 1x$  в табл. 6.1;

– по приведенной выше последовательности произвести аналогичные измерения времени срабатывания УЗО при значениях тока, равных  $0,5I_{\Delta n}$ ;  $2I_{\Delta n}$ ;  $5I_{\Delta n}$ , для чего поворотный переключатель поочередно устанавливается соответственно в режимы « $t_A 0,5x$ »; « $t_A 2x$ »; « $t_A 5x$ » и производятся все необходимые измерения. Записать полученные значения времени  $t_A 0,5x$ ;  $t_A 2x$ ;  $t_A 5x$  в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Измерение параметров УЗО

Тип УЗО	Время отключения УЗО				Автоматическое измерение	Ток отключения $I_A$ , мА	Переменное напряжение $U$ , В и частота тока $f$ , Гц.
	$t_A 0,5x$ , мс	$t_A 1x$ , мс	$t_A 2x$ , мс	$t_A 5x$ , мс			

### Содержание отчета

1. Цель лабораторной работы.
2. Теоретические сведения об УЗО.

3. Электрическая схема лабораторной установки для определения значения отключающего дифференциального тока УЗО.
4. Результаты испытаний.

### **Контрольные вопросы**

1. Назовите назначение и область применения УЗО.
2. Поясните принцип действия УЗО с ДТТ.
3. Приведите классификацию УЗО.
4. По каким параметрам производится выбор УЗО?
5. Какие технические требования предъявляются к УЗО?
6. Поясните результаты лабораторных испытаний (проверки работоспособности УЗО).

Лабораторная работа № 7  
**ЭКСПЛУАТАЦИЯ**  
**ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА**

*Цель занятия:* изучить правила эксплуатации преобразователя частоты. Освоить методику наладки асинхронного частотно-регулируемого электропривода.

**Задачи занятия**

1. Ознакомиться с представленным на стенде преобразователем частоты.
2. Изучить схему управления и произвести включение преобразователя частоты.
3. По индивидуальному заданию произвести программирование преобразователя частоты.
4. Произвести пуск электродвигателя при помощи преобразователя частоты и проверить правильность установки заданных параметров.
5. Провести диагностику преобразователя частоты в соответствии с таблицей основных и дополнительных параметров.

**Теоретические сведения**

Современные преобразователи частоты (ПЧ) выполняются на основе полностью управляемых силовых полупроводниковых приборов – запираемых GTO – тиристоров, либо биполярных IGBT – транзисторов с изолированным затвором.

Являясь сложными электронными устройствами, ПЧ требуют тщательного анализа и настройки пользовательских параметров, количество которых может исчисляться десятками и сотнями в зависимости от применяемых моделей и сложности решаемых задач.

Обслуживание современных ПЧ, так же как и их настройка, требует специальной подготовки технического персонала. Решение проблемы своевременного и аварийного обслуживания приводной техники может быть выполнено двумя способами. Первый способ, как уже было описано выше – это создание своей собственной

сервисной службы непосредственно на производстве, а второй – это передача функций обслуживания оборудования специализированной организации, занимающейся решением таких задач на профессиональном уровне.

***Периодическое обслуживание преобразователей частоты.*** Главным фактором, определяющим срок службы ПЧ и его бесперебойную эксплуатацию, является *правильное и своевременное обслуживание*. По существующей статистике, выход электропривода из строя в подавляющем ряде случаев связан с нарушениями в его эксплуатации или обслуживании. Необходимо периодически *проверять работоспособность вентиляторов*. В основном производители ПЧ рекомендуют производить проверку не реже чем 1 раз в полгода, а превентивную замену производить 1 раз в три года. Под воздействием частого заряда и разряда, а также под воздействием повышенной температуры со временем происходит старение электролитических конденсаторов ПЧ, что характеризуется уменьшением их номинальной емкости или возникновением внутренних пробоев.

При пониженной емкости конденсаторов возникают сбои в системе управления ПЧ, иногда это приводит к выходу из строя источников питания или других цепей управления. Основной рекомендацией является периодическая замена электролитических конденсаторов. Электролитические конденсаторы подлежат замене через 30 000–40 000 ч эксплуатации.

Следует периодически проверять падение напряжения на контактах и реле цепей питания ПЧ, а также на силовых полупроводниковых предохранителях защиты. Периодически нужно проверять затяжку силовых винтов, болтов и гаек ответственных соединений ПЧ. Как правило, проверку делают 1 раз в год, хотя для оборудования, где присутствует сильная вибрация, проверку следует проводить чаще. Ослабление затяжки крепежа в точках силовых соединений приводит к возникновению неисправности в виде потери фаз и заканчивается пробоем силовых полупроводниковых элементов (диодов, IGBT-транзисторов) или прогоранием металла шин в точках контакта.

Для предотвращения неисправностей ПЧ и для долговременного сохранения его эксплуатационных характеристик необходима

его периодическая проверка (каждые полгода). Программа проверки приведена в табл. 7.1.

Таблица 7.1

Программа проверки узлов частотно-регулируемого электропривода

Проверяемые узлы	Основные проверки		Критерии
	Предмет проверки	Инструменты и методы	
Окружающая обстановка	Температура	Термометр	Температура окружающего воздуха не должна превышать 40 °С, иначе номинальные характеристики должны быть уменьшены
	Влажность	Гидрометр	Влажность должна соответствовать техническим требованиям
	Пыль	Наблюдение	Отсутствие отложений пыли, следов течи и конденсата
	Пары, газы	Визуальный анализ и обоняние	Отсутствие изменений цвета и посторонних запахов
Преобразователь частоты	Вибрация	Тщательное наблюдение	Ровная работа без вибрации
	Охлаждение и нагревание	Термометр	Вентилятор работает и находится в хорошем состоянии. Скорость вращения и воздушный поток в норме. Отсутствие ненормального нагрева
	Шум	Аудиальный анализ (слух)	Отсутствие посторонних звуков

Проверяемые узлы	Основные проверки		Критерии
	Предмет проверки	Инструменты и методы	
Двигатель	Вибрация	Тщательное наблюдение	Отсутствие ненормальной вибрации и посторонних звуков
	Нагревание	Термометр	Отсутствие ненормального нагрева
	Шум	Аудиальный анализ (слух)	Отсутствие посторонних звуков
Рабочие параметры	Входное напряжение питания	Вольтметр	Соответствует техническим характеристикам
	Выходное напряжение инвертора	Выпрямляющий вольтметр	Соответствует техническим характеристикам
	Выходной ток инвертора	Амперметр	Соответствует техническим характеристикам
	Внутренняя температура	Термометр	Температура повышается не выше 40 °С

**Методика диагностики неисправностей преобразователей частоты.** Проверка и плановое обслуживание позволяют предотвратить многие проблемы, но не гарантируют безаварийную работу ПЧ. На сегодняшний день ни один производитель не обеспечивает достаточно эффективную защиту ПЧ от выхода из строя в результате перегрузок.

Это объясняется тем, что управление защитой реализовано в контроллере ПЧ, поэтому сигнал о перегрузке на выходе ПЧ будет им обработан и будет дана команда на закрытие выходных транзисторов, некоторые из них уже повреждаются и в режиме пробоя создают замыкание шин постоянного тока.

После выхода преобразователя частоты из строя недопустимо его немедленное повторное включение. Как правило, повторный запуск неисправного ПЧ влечет к еще большим повреждениям. Состояние ПЧ должно быть тщательно проанализировано посредством проведения диагностики. Если на дисплее отображается какой-нибудь аварийный код, то следует проанализировать, что он означает, в дальнейшем эта информация позволит быстрее выявить возникшую проблему. Если на дисплее ПЧ ничего не отображается или его просто нет, то следует проверить наличие опорного напряжения 24 В на соответствующих клеммах платы управления, воспользовавшись схемой подключения в документации на ПЧ. В случае отсутствия напряжения на клеммах платы управления следует обратиться в сервисный центр.

Обычно выполняется и проверка силовой части. Перед осуществлением данной процедуры следует дождаться, пока разрядятся конденсаторы шины постоянного тока (см. инструкцию по эксплуатации ПЧ). Время, необходимое на их разряд, составляет 10...15 мин.

Для проверки силовых цепей необходимо установить мультиметр в режим прозвонки диодов, соединить «—» мультиметра и клемму «+» частотного преобразователя, затем поочередно установить «+» мультиметра на клеммы LI, L2, L3, U, V, W. В данном случае P–N-переход диодов будет открыт и показания мультиметра будут 0,3...0,6 Ом. Затем соединяют «+» мультиметра и «+» преобразователя, а «—» мультиметра поочередно соединяют с клеммами LI, L2, L3, U, V, W. В данном случае переходы диодов закрыты и мультиметр показывает обрыв. Аналогично проверяют второе плечо инвертора выпрямителя (сначала «+», а потом «—» мультиметра соединяют с клеммой «—» преобразователя частоты). Результаты проверки сравнивают с результатами, приведенными в табл. 7.2.

Регламент проверки силовых цепей преобразователей частоты

Проверяемый элемент	«+» мультиметра	«-» мультиметра	Показания мультиметра
Входной мост	Клемма «+» Клемма «-»	Клеммы L <sub>1</sub> , L <sub>2</sub> , L <sub>3</sub> Клеммы L <sub>1</sub> , L <sub>2</sub> , L <sub>3</sub>	(Обрыв) P-N-переход открыт
IGBT-транзисторы	Клеммы U,V, W Клеммы «-»	Клемма «-» Клеммы U,V, W	(Обрыв) P-N-переход открыт

Если показания мультиметра не соответствуют приведенным в таблице, то это говорит о том, что имеются повреждения силовой части, поэтому следует обратиться в службу сервиса для обеспечения дальнейшей диагностики и ремонта ПЧ.

Методики, перечисленные выше, не дают однозначного заключения об исправности ПЧ, они лишь позволяют примерно определить неисправность на начальном уровне. Если источник возникновения неисправности определить не удастся, то производится превентивная замена плат и других компонентов.

В настоящее время каждый производитель стремится уменьшить габариты приводов, поэтому расположение компонентов и плат становится более плотным, что негативно сказывается на возможностях сервисного обслуживания и, как следствие, приводит к более частым отказам оборудования в результате его неправильной эксплуатации. Кроме того, при возникновении каких-либо повреждений силовой части управляющая часть также частично разрушается, поэтому ремонт ПЧ мощностью до 4,0...7,5 кВт практически нецелесообразен.

**Электромагнитная совместимость (ЭМС) преобразователей частоты с питающей сетью.** Проблема электромагнитной совместимости преобразователей с сетями электроснабжения связана, главным образом, с искажениями формы напряжения, питающего преобразователи, и потребляемого ими тока. Основными решениями по уменьшению гармонических составляющих тока является применение:



- сетевых дросселей;
- дросселей постоянного тока;
- пассивных фильтров;
- пассивных фильтров совместно с дросселями постоянного тока.

Эти четыре решения могут быть применены для одной и той же установки. Как правило, проще и экономичнее нейтрализовать гармоники на уровне установки в целом, чем на уровне отдельного аппарата, особенно при использовании пассивных фильтров и активных компенсаторов.

Подключение входного фильтра ЭМС (рис. 7.1) позволяет минимизировать такие влияния.

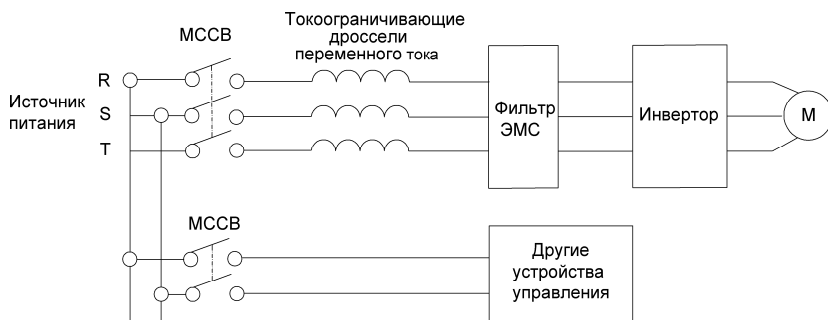


Рис. 7.1. Электромонтаж входной силовой цепи

Если кабели, соединяющие электродвигатель с инвертором, длиннее 50 м, может срабатывать защита от перегрузки по току из-за больших токов утечки. Для уменьшения межфазного тока утечки и излучаемых электромагнитных помех от кабелей, соединяющих инвертор с электродвигателем, необходимо установить выходной фильтр ЭМС, как показано на рис. 7.2.

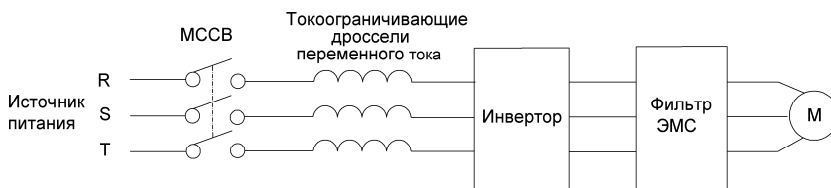


Рис. 7.2. Электромонтаж силовой цепи электродвигателя

Все модели векторных преобразователей частоты оснащаются сетевыми фильтрами, чем обеспечивается необходимый уровень ЭМС. Фильтры допускается не применять для ПЧ мощностью до 30 кВт. Все преобразователи частоты большей мощности снабжаются встроенными фильтрами по умолчанию. Встроенный фильтр дает возможность доводить до минимума наводки и помехи в электронной технике.

**Описание лабораторной установки.** Лабораторная установка состоит из асинхронного электродвигателя, который подключен к трехфазной сети напряжением 400 В и мощностью 50 Гц через преобразователь частоты типа FR-S540-2,2K-EC (Mitsubishi). Нагрузка на валу асинхронного электродвигателя М создается вентильным генератором G типа 70.3701, мощность которого составляет 1000 Вт, а номинальное выходное выпрямленное напряжение – 28 В. Валы генератора и электродвигателя соединены упругой муфтой. Генератор нагружен автомобильными лампами накаливания. Ток нагрузки можно изменять подключением различного числа ламп, а также регулированием тока обмотки возбуждения генератора при помощи регулируемого источника питания ИП. Частота вращения электродвигателя измеряется цифровым радиоволновым тахометром, который позволяет производить измерения без механического контакта датчика частоты вращения ДИ с валом электродвигателя. Измерение мощности на входе и на выходе преобразователя частоты производится электродинамическими ваттметрами PW1...PW4. Напряжение и ток на входе преобразователя измеряются электромагнитными вольтметром PV1 и амперметром PA1; выходные напряжение и ток измеряются электромагнитным амперметром PA2 и выпрямительным вольтметром PV2.

При помощи амперметра PA3 контролируют ток обмотки возбуждения генератора, а выходные ток и напряжения генератора измеряют электромагнитными вольтметром PV3 и амперметром PA3. Автоматические выключатели QF1, QF2 предназначены для включения электродвигателя и источника питания обмотки возбуждения генератора в сеть, а также защиты их цепей от перегрузки и коротких замыканий.

Частота выходного напряжения и параметры настройки частотного преобразователя отображаются на его цифровом индикаторе.

Схема лабораторной установки представлена на рис. 7.3.

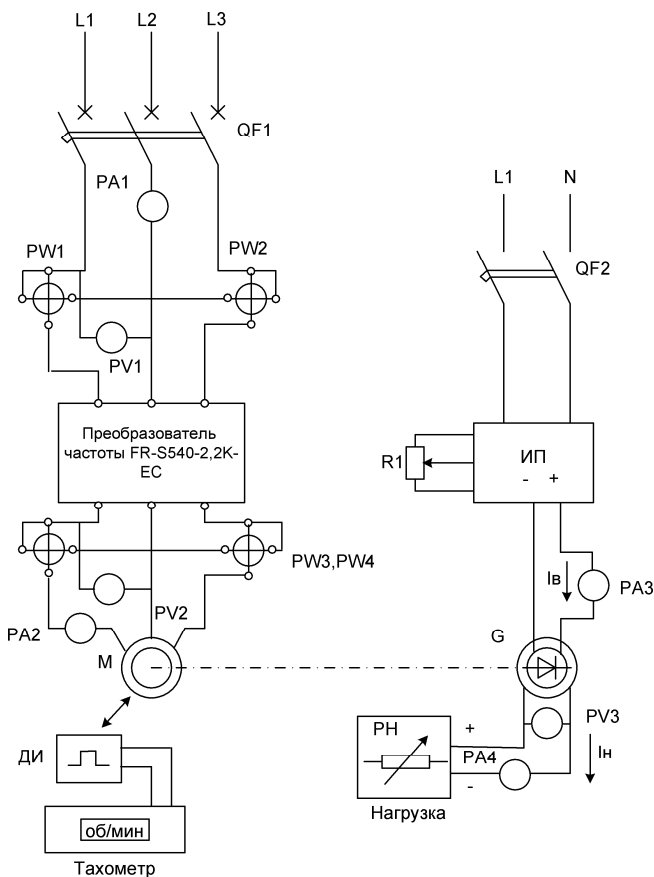


Рис. 7.3. Схема лабораторной установки

### Методика выполнения лабораторной работы

1. В соответствии с программой работы изучить назначение, устройство и принцип действия частотного преобразователя.

2. Включение установки.

– включить установку автоматическим выключателем QF;

– выбрать режим управления преобразователем частоты: для работы с пульта ПЧ нажать кнопку PU; для внешнего управления повторно нажать кнопку PU (режим работы отображается индикаторами PU и EXT);

- для пуска привода с пульта ПЧ нажать кнопку RUN;
- для остановки привода с пульта нажать кнопку STOP/RESET.

### 3. Установка параметров.

а) проверить состояние индикаторов RUN, PU, EXT. Преобразователь должен находиться в режиме управления с пульта (нажать кнопку PU/EXT);

б) нажать кнопку MODE для выбора режима задания параметра;

в) вращать задатчик до появления нужного номера параметра (см. список перечня параметров);

г) нажать кнопку SET для индикации установленной величины;

д) вращением задатчика установить нужное значение параметра;

е) нажать кнопку SET для установки выбранного значения параметра;

ж) после завершения настройки параметра нажать кнопку MODE один раз, чтобы просмотреть сообщения защит, или два раза, чтобы вернуться к индикации выходной частоты;

з) для настройки или изменения других параметров выполнить пункты в–е.

#### *Пример 1. Установка частоты 15 Гц:*

1. Выбрать режим управления с пульта.
2. Нажать кнопку MODE для выбора режима задания параметров.
3. Вращать задатчик до появления нужного параметра 7.
4. Нажать кнопку SET для индикации установленной величины.
5. Вращением задатчика установить значение 15.0, которое мигает около 5 секунд; за это время нажать кнопку SET для установки частоты.

6. После мигания индикатора в течение 3 секунд установится значение 0.0.

7. Нажать кнопку RUN для пуска двигателя. После его разгона на индикаторе отображается значение заданной частоты.

#### *Пример 2. Установка времени разгона (параметр 7):*

1. Выбрать режим управления с пульта.
2. Нажать кнопку MODE для выбора режима задания параметров.
3. Вращать задатчик до появления нужного параметра 7.
4. Нажать кнопку SET для индикации установленной величины.
5. Вращением задатчика установить время разгона в секундах (например, 10.0).

6. Нажать кнопку SET для установки выбранного значения.
7. Нажать кнопку MODE два раза.

### **Содержание отчета**

1. Тема и цель работы.
2. Электрическая схема лабораторной установки.
3. Описание смены параметров для своего варианта.

### **Контрольные вопросы**

1. В чем заключается организация обслуживания преобразователей частоты?
2. Как проводится периодическое, плановое обслуживание преобразователей частоты?
3. Что входит в плановую замену деталей повышенного износа?
4. Объясните методику диагностики неисправностей преобразователей частоты.
5. Что понимается под электромагнитной совместимостью преобразователей частоты с питающей сетью?
6. Назовите основные параметры для наладки и программирования преобразователей частоты.
7. Опишите схему лабораторной установки и методику проведения испытаний частотно-регулируемого электропривода.
8. Перечислите функции защит изучаемого преобразователя частоты.
9. Объясните методику диагностики преобразователя частоты при помощи таблицы основных и дополнительных параметров.

Лабораторная работа № 8  
**ЭКСПЛУАТАЦИЯ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ  
КОНТРОЛЛЕРОВ И АВТОМАТИЧЕСКИХ РЕГУЛЯТОРОВ**

**Цель занятия:** изучить правила эксплуатации микропроцессорных контроллеров и автоматических регуляторов.

**Задачи занятия**

1. Ознакомиться с представленным на стенде микропроцессорным контроллером.
2. Изучить вопросы эксплуатации микропроцессорных контроллеров и автоматических регуляторов.
3. Изучить схемы электрических соединений микроконтроллера.

**Теоретические сведения**

Техническим обслуживанием электронных и микропроцессорных устройств занимаются работники, имеющие специальную подготовку, или представители сервисных служб. Особо сложное и дорогостоящее оборудование монтируется, налаживается и обслуживается представителями предприятия-изготовителя (фирменное обслуживание). Представители эксплуатирующей организации участвуют в монтажных, наладочных и пусковых работах при вводе сложного оборудования в эксплуатацию. Возможна организация обучения персонала на специальных курсах или на предприятии-разработчике.

На крупных предприятиях при отделе главного энергетика создаются службы контрольно-измерительных приборов и автоматики (КИП и А), а также заводские лаборатории. Эти службы занимаются эксплуатацией и ремонтом КИП и А, а также обучением и проверкой знаний эксплуатационного персонала.

Состояние средств автоматизации контролируют при техническом обслуживании и текущем ремонте; осматривают, очищают, проверяют параметры изделий (проводят тестирование), устраняют обнаруженные неисправности.

Заключение о техническом состоянии средств автоматизации делают по результатам измерения и контроля совокупности параметров, определяющих работоспособность устройств автоматизации

и системы в целом. Различают контроль работоспособности, диагностический контроль и др.

**Контроль работоспособности** проводят при подготовке устройств автоматизации и системы в целом к эксплуатации, при техническом обслуживании и ремонте, а также периодически в процессе хранения. Основная задача – оценить состояние системы автоматизации в целом. В процессе контроля настраивают и регулируют устройства.

**Диагностический контроль** выполняют, чтобы найти неисправность и устранить причину ее возникновения. Необходимо выбрать такую методику (программу) поиска, при которой требуется минимальное время для обнаружения поврежденного элемента. Наибольшее распространение получили методы последовательных поэлементных, последовательных групповых и комбинированных проверок.

**Метод последовательных поэлементных проверок** состоит в том, что поиск неисправностей ведут, проверяя элементы системы по одному в определенном, заранее установленном порядке. Обнаружив неисправность, прекращают поиск и заменяют элемент, а затем проверяют работоспособность всей системы.

**Метод последовательных групповых проверок** заключается в следующем. Систему делят на отдельные группы элементов, устройств, блоков и т. п. Затем измеряют один или несколько параметров, выделяя группу элементов, в которой есть неисправность. Далее последовательно разбивают эту группу на подгруппы и сужают область поиска до тех пор, пока не будет выявлен неисправный элемент.

**Комбинированный метод** применяют для сложных систем. Он заключается в том, что при поиске неисправностей измеряют определенную совокупность параметров и по результатам делают заключение об отказавшем элементе. После контроля всей совокупности параметров анализируют состояние системы и принимают решение. Последовательность проверок значения не имеет.

Наиболее распространенными микропроцессорными устройствами для управления технологическими процессами являются микроконтроллеры, они безопасны по своей конструкции, и это означает, что пользователь может устанавливать их практически в любом месте, тем не менее, нужно принимать следующие аспекты во внимание:

- не устанавливать устройства в таких местах, где имеется чрезмерное содержание пыли, или пыль является электропроводящей, где присутствуют агрессивные или воспламеняющиеся газы, имеется повышенная влажность или где устройство может оказаться под дождем, где имеется чрезмерное тепловыделение, где устройство может оказаться подвержено регулярным ударным воздействиям или чрезмерной вибрации. Не помещать контроллер в воду и не допускать протечек воды на контроллер;
- не допускать попадания строительного мусора внутрь устройства при выполнении его инсталляции;
- размещать устройство, насколько это возможно, на удалении от высоковольтных кабелей и силового оборудования;
- контроллер должен быть инсталлирован в распределительном ящике или в стойке управления, как показано на рис. 8.1;
- применять винты М4 при монтаже устройства с использованием монтажных отверстий под винты;
- соединители должны быть накрыты крышками с целью предотвращения поражения электрическим током при касании проводов, находящихся под напряжением;
- оставлять пространство, как минимум, 10 мм для вентиляции между верхней и нижней кромкой контроллера и ограждающими его стенками стойки;
- не разбирать контроллер.

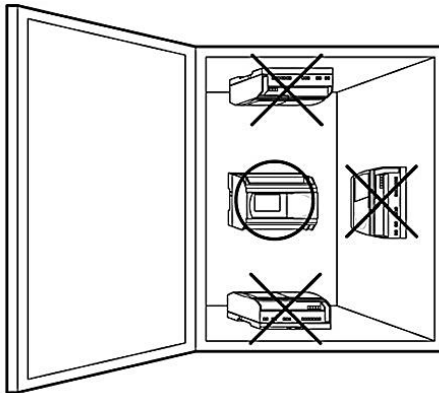


Рис. 8.1. Требуемое расположение устройства при монтаже



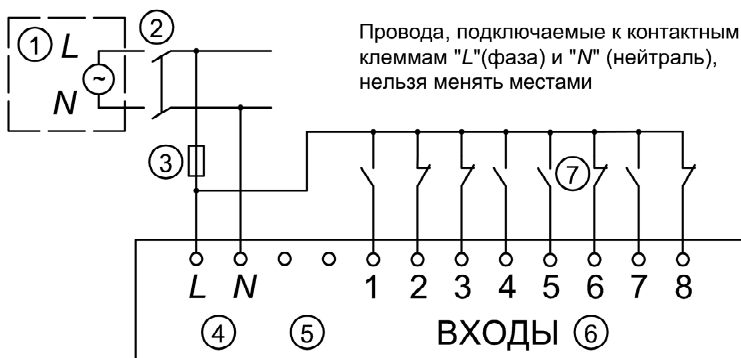
Контроллеры спроектированы с таким расчетом, чтобы обеспечить безопасность и простоту выполнения электрических соединений. Все задачи, связанные с выполнением электрических соединений в контроллерах должен выполнять электротехник или инженер, прошедший подготовку в соответствии с местными и государственными стандартами, устанавливающими требования к выполнению электромонтажных работ. Необходимо *выключить* электропитание перед тем, как будут выполняться любые операции по электромонтажу. Провода входных и выходных цепей не должны проходить в одном и том же многожильном кабеле; один и тот же провод не должен использоваться для создания входных и выходных цепей. Нельзя прокладывать входные/выходные кабели вблизи высоковольтных силовых кабелей. Длина входных и выходных кабелей должна быть не более 30 м (98 футов 5 дюймов).

Необходимо учитывать падение напряжения и наличие шумовых помех при использовании входных/выходных кабельных линий, проложенных на значительном протяжении. Нужно использовать провода, сечение которых подобрано в соответствии с токовой нагрузкой.

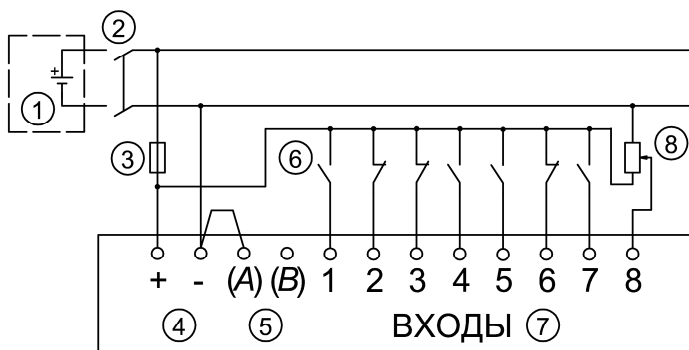
При выполнении электрических соединений с источником питания переменного тока, фазный провод должен быть подключен к контактной клемме L, а нейтральный провод должен быть подключен к контактной клемме N. Нельзя подключать фазный провод к контактной клемме N, так как пользователь может получить опасный удар током при включении электропитания.

При выполнении электрических соединений с источником питания постоянного тока «положительный» провод должен быть подключен к контактной клемме «+», а провод отрицательной полярности должен быть подключен к контактной клемме «-». Контактные клеммы, которые предназначены для подключения источника электропитания, ни в коем случае не должны быть соединены ни с какими другими контактными клеммами, имеющимися на устройстве. Источники питания постоянного тока должны быть способны обеспечивать потребляемый ток величиной 4 А для контроллера.

Пример электрических соединений контроллера с источником питания переменного тока и входными цепями приведен на рис. 8.2, схема электрических соединений контроллера с источником питания постоянного тока и с входными цепями (при подключении источника с общим «+») приведена на рис. 8.3.



*Рис. 8.2.* Схема электрических соединений контроллера с источником питания переменного тока и входными цепями:  
 1 – источник питания переменного тока (~100...240 В, 50/60 Гц);  
 2 – устройство отсоединения цепи; 3 – устройство защиты схемы (ограничение до 1 А); 4 – контактные клеммы подключения источника электропитания переменного тока; 5 – неиспользуемые контактные клеммы; 6 – входные контактные клеммы; 7 – цифровые входные выключатели



*Рис. 8.3.* Схема электрических соединений контроллера с источником питания постоянного тока и с входными цепями (при подключении источника с общим «+»):  
 1 – источник питания постоянного тока (+24 В);  
 2 – устройство отсоединения цепи; 3 – устройство защиты схемы (ограничение до 1 А);  
 4 – контактные клеммы подключения источника электропитания постоянного тока; 5 – входные контактные клеммы для электрического соединения с стоком/источником; 6 – входные датчики-выключатели; 7 – входные контактные клеммы; 8 – аналоговый вход

**Релейные элементы автоматики.** В автоматике наиболее широко распространены электрические реле, которые используют в качестве усилителей и выходных элементов многих приборов (сигнализаторов, регуляторов, датчиков-реле). Основные неисправности реле – подгорание контактов, обрывы и замыкания в обмотках катушек.

При подгорании контакты очищают бархатным напильником, мелкозернистой шлифовальной шкуркой, щеточкой, смоченной бензином или спиртом. Во избежание повреждений нельзя зачищать контакты шлифовальной шкуркой на стеклянной основе. Контакты с накладками из серебра или металлокерамики не зачищают, а только снимают с них брызги металла. Обгоревшие и сработанные контакты с глубокими раковинами (толщина контактных накладок менее 0,5 мм) заменяют.

Контактные пары регулируют с помощью пинцетов: поднимая или опуская держатели, добиваются правильного положения контактов в момент срабатывания и отпускания реле при нажатии рукой на его якорь. Далее проверяют работоспособность реле, подавая на него рабочее напряжение.

Обрыв обмотки или межвитковые замыкания находят, контролируя целостность цепей тестером и измеряя сопротивления обмотки мостами постоянного тока.

Погрешность срабатывания и отпускания реле времени определяют электросекундомером.

Характерная неисправность датчиков-реле температуры, давления, уровня и других – несоответствие параметров срабатывания заданным параметрам.

При эксплуатации дифференциальных реле давления типа РДС, реле скорости потока воздуха типа РПВ, поплавковых реле уровня РП-40, СУ-1, а также прерывателя типа СИП может быть поврежден ртутный переключатель. Приборы с такими переключателями демонтируют в лабораториях: в вытяжных шкафах тщательно удаляют остатки ртути, а затем заменяют разбитые переключатели новыми. Собранную ртуть следует хранить в закрытой металлической или стеклянной емкости.

При эксплуатации автоматических регуляторов, содержащих аналоговые и цифровые компоненты, необходимо соблюдение условий эксплуатации и режимов работы, обеспечивающих надежное

и долговременное функционирование полупроводниковых приборов, микросхем и других компонентов электронных схем.

Следует руководствоваться как общими правилами эксплуатации электронных устройств и систем, так и заводскими инструкциями по эксплуатации конкретных регуляторов, преобразователей, микропроцессорных контроллеров и других устройств.

В большинстве случаев эксплуатация устройств, содержащих компоненты аналоговой и микропроцессорной техники сводится к строгому выполнению требований технической документации конкретного устройства, обеспечению условий окружающей среды, соответствующих исполнению регулятора или контроллера, регулярная очистка поверхностей корпусов и печатных плат от пыли, контроль над состоянием и работой охлаждающих устройств и вентиляторов.

**Техническое обслуживание диодов** заключается в их периодической проверке при помощи омметра или других приборов с омической шкалой с классом точности не ниже 1,5. При проверке диодов измеряют прямое и обратное сопротивления. У плоских диодов значение прямого сопротивления составляет 20...50 Ом. Однако необходимо учесть, что из-за нелинейности вольт-амперной характеристики диодов результаты измерения зависят от способа измерения.

Диоды, применяемые в цепях переменного тока напряжением 230 В и выше, дополнительно испытывают на пробой в запирающем слое наибольшим обратным напряжением, нормируемым техническими условиями, при рекомендуемой нагрузке. Иногда для повышения допустимого обратного напряжения диоды соединяют последовательно. При этом каждый диод обязательно шунтируют сопротивлением 100 кОм на каждые 100 В напряжения, чтобы напряжение на диодах было примерно одинаковое. Такое шунтирование необходимо из-за больших разбросов обратных сопротивлений. Надежность работы диода можно значительно повысить, шунтируя его демпфирующим резистором мощностью 2 Вт и сопротивлением 10...30 кОм. Этот резистор будет сглаживать большие броски тока, возникающие в момент включения и отключения аппаратуры.

**Техническое обслуживание терморезисторов** заключается в периодическом их осмотре, очистке от грязи и различных корковых

образований, проверке соединительных проводов и защитных оболочек. Основным видом ремонта полупроводниковых приборов в обычном исполнении – замена вышедшего из строя чувствительного элемента новым, а при необходимости – восстановление герметичности защитных оболочек, устранение неисправностей клеммной головки и зажимов.

Перед проверкой терморезисторов измеряют сопротивление изоляции относительно корпуса мегаомметром на напряжение 500 В. Сопротивление изоляции должно быть не менее 20 МОм. При помощи моста измеряют сопротивление чувствительных элементов и сравнивают с нормируемыми значениями.

*Техническое обслуживание терморпар* заключается в периодической проверке соответствия градуировочной характеристики испытуемой терморпары стандартной (эталонной).

*Техническое обслуживание логометра* заключается в периодическом осмотре, очистке от пыли, проверке надежности крепления соединительных проводов и проверке его показаний при подключении на контрольный терморезистор. Сопротивление изоляции логометра при 20 °С и 80 % относительной влажности воздуха должно быть не ниже 40 МОм.

*Техническое обслуживание мостовых схем измерения* различных параметров (например, температуры) заключается в периодическом осмотре приборов, очистке от пыли наружных поверхностей, смазке подвижных узлов и деталей, регулировке чувствительности электронного усилителя, чистке реохорды, заправке самопишущих приборов диаграммной бумагой.

Несмотря на большое разнообразие систем управления, защиты и автоматизации, описанные наиболее распространенные приемы и методы их профилактического обслуживания, ремонта и наладки практически одинаковы.

### **Методика выполнения лабораторной работы**

1. Изучить правила эксплуатации микропроцессорных контроллеров и автоматических регуляторов.
2. Получить практические навыки по проверке и подготовке к эксплуатации микропроцессорных контроллеров и автоматических регуляторов.
3. Изучить схемы электрических соединений микроконтроллера.

## **Содержание отчета**

1. Тема и цель работы.
2. Схемы электрических соединений.
3. Ответы на контрольные вопросы.

## **Контрольные вопросы**

1. В чем заключается организация обслуживания микропроцессорных контроллеров и автоматических регуляторов?
2. Назовите совокупность параметров, определяющих работоспособность устройств автоматизации и системы в целом.
3. Назовите требования при инсталляции микроконтроллера.
4. Опишите замечания по выполнению электрических соединений при инсталляции микропроцессорных контроллеров.
5. Как выполняются электрические соединения микропроцессорных контроллеров с источником питания переменного тока, постоянного тока и с входными цепями?
6. Какие условия необходимо соблюдать при эксплуатации автоматических регуляторов?

Практическая работа № 1  
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВНЫХ ЕДИНИЦ ЗАТРАТ ТРУДА  
НА ЭКСПЛУАТАЦИЮ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ**

**Цель занятия:** научиться определять форму эксплуатации и объем работ в электрохозяйстве. Рассчитывать штат службы главного энергетика и нормативное количество электромонтеров.

**Задачи занятия**

1. Определить количество условных единиц затрат труда на эксплуатацию электрооборудования по заданному преподавателем варианту из табл. 1.2.
2. Выбрать форму эксплуатации в хозяйстве.
3. Составить штатное расписание службы главного энергетика (табл. 1.4).
4. Определить нормативное количество электромонтеров в хозяйстве.

**Теоретические сведения**

Для определения объема работ в электрохозяйстве необходимо все оборудование и электроустановки привести к одному показателю – условной единице.

*Условной единицей затрат труда на эксплуатацию электрооборудования* (у. е. э.) называется отношение усредненных годовых трудоемкостей технического обслуживания и ремонта различных видов электрооборудования к годовой трудоемкости технического обслуживания и ремонта базовой электроустановки, принятой за эталон. В качестве эталона приняты трудозатраты на ремонт и обслуживание электродвигателя мощностью до 10 кВт с комплектом пускозащитной аппаратуры. За условную единицу эксплуатации оборудования приняты затраты труда, равные 18,6 чел.-ч. Следовательно, определение числа условных единиц эксплуатации электротехнического оборудования хозяйства есть грубый расчет трудоемкости работ по эксплуатации этого оборудования.

Данные об объеме работ в условных единицах эксплуатации необходимы для определения численности инженерно-технических работников электротехнической службы (ЭТС), ориентировочного

расчета числа электромонтеров, выбора формы и структуры ЭТС и решения крупных эксплуатационных задач.

Сначала нужно провести сбор информации о показателях и условиях работы оборудования. Исходными данными являются данные технических паспортов хозяйства.

Перевод электротехнического оборудования в условные единицы  $Q$  выполняется по нормам (см. табл. 1.5 и 1.6), разработанным в соответствии с системой планово-предупредительного ремонта и технического обслуживания электрооборудования сельскохозяйственных предприятий (ППРЭСх). Для этого количество оборудования определенного вида умножают на переводной коэффициент, при этом учитывают особенности эксплуатации, применяя поправочные коэффициенты, приведенные в примечаниях к табл. 1.5–1.6.

Следует учесть все оборудование хозяйства, при этом для удобства расчетов целесообразно выделить условные единицы эксплуатации, приходящиеся на отрасли (животноводство, растениеводство, подсобное производство) и на бригады. Просуммировав электрооборудование по видам, производственным объектам, отраслям и бригадам, определяют объем работ первого раздела годовой производственной программы (ГПП).

Объем работ второго и третьего раздела ГПП устанавливают на основании данных о сметной стоимости или трудоемкости отдельных видов работ. Объем работ, данные о которых в хозяйстве отсутствуют, рассчитывают по их ожидаемой доле в ГПП (табл. 1.1) по формуле

$$Q_i = \frac{Q_1 d_j}{70}, \quad (1.1)$$

где  $Q_1$  – объем работ первого раздела, у. е. э.;

$d_j$  – доля  $j$ -х работ (%), выбираемая по табл. 1.1.

Таблица 1.1

Производственная программа ЭТС

Раздел и вид работ	Объем, %
<b>1. Техническая эксплуатация электрооборудования</b>	
Организация и контроль произведенного обслуживания	3
Оперативно-дежурное обслуживание	10
Техническое обслуживание	20
Текущий ремонт	26



Раздел и вид работ	Объем, %
Капитальный ремонт	8
Контрольные измерения и испытания	3
<b>2. Повышение эффективности эксплуатации</b>	
Повышение квалификации	2
Корректировка комплектования электроустановок	5
Выбор и контроль режимов использования	2
Развитие базы ЭТС	3
Повышение надежности электрооборудования	2
Мероприятия учета электроэнергии	1
<b>3. Развитие электрификации и автоматизации</b>	
Электромонтажные работы	7
Пусконаладочные работы	3
Модернизация электрооборудования	2
Производство собственной продукции	3

По результатам расчета из табл. 1.4 выбирают штат инженерно-технических работников.

По общему числу условных единиц затрат труда на эксплуатацию электрооборудования можно приблизительно определить нормативное количество электромонтеров в хозяйстве (норма обслуживания на одного электромонтера при существующей оплате труда принимается 100 у. е. э.) по следующей формуле:

$$N = \sum Q / 100. \quad (1.2)$$

Исходя из опыта обслуживания электротехнического оборудования, по количеству условных единиц можно ориентировочно выбрать форму эксплуатации в хозяйстве:

- централизованную комплексную (до 300 у. е. э.);
- специализированную централизованную (301–800 у. е. э.);
- индивидуальную (более 800 у. е. э.).

### Индивидуальное задание

Определить количество условных единиц затрат труда на эксплуатацию электрооборудования, выбрать форму эксплуатации хозяйства, укомплектовать штат службы главного энергетика, рассчитать нормативное количество электромонтеров и объем работ ГПП по разделам. Исходные данные по вариантам приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.2

## Характеристики оборудования хозяйства

№ Варианта	Категория помещений по условиям окружающей среды	Электропривод с асинхронными двигателями			Освещение		Котельное оборудование		ТП		Прочее электрооборудование	
		Мощность, кВт	Кол-во, шт.	Работа в сутки, ч	Вид ламп*	Кол-во, шт.	Наименование	Вид топлива*	Вид	Кол-во трансформаторов, шт.	Название	Кол-во, шт.
1	влажные	0,75	124	8	ЛЛ	148	КМ-1300	жидк.	открыт.	1	Теплогенератор	14
2	сырые	30	18	10	ЛН	110	ДКВР-4-13	тв.	закрыт.	2	Насос	6
3	особо сырые	1,5	115	5	ЛН	128	ТВГ-4	тв.	открыт.	1	Вентилятор	68
4	влажные	30	112	6	ЛЛ	114	КЖ-1500	газ.	закрыт.	1	Компрессор	12
5	влажные	3,0	132	12	ЛН	146	ДКВР-10-13	жидк.	закрыт.	2	ВЛ до 1 кВ	27 км
6	особо сырые	2,2	118	8	ЛЛ	124	КВ-ТСВ	газ.	откр.	1	КЛ до 1 кВ	15 м
7	сухие	1,1	120	14	ЛЛ	142	ПТВМ-30	тв.	закрыт.	2	Эл. плита «Томь»	120

№ Варианта	Категория помещений по условиям окружающей среды	Электропривод с асинхронными двигателями			Освещение		Котельное оборудование		ТП		Прочее электрооборудование	
		Мощность, кВт	Кол-во, шт.	Работа в сутки, ч	Вид ламп*	Кол-во шт.	Наименование	Вид топлива*	Вид	Кол-во трансформаторов, шт.	Название	Кол-во, шт.
8	сухие	11,0	116	10	ЛН	134	КТ-500	газ.	закрыт.	1	Эл. изгородь	6
9	особо сырые	4,0	128	8	ЛЛ	138	ТВГ-8	жидк.	откр.	1	ВЛ свыше 1 кВ	48 км
10	особо сырые	1,5	132	11	ЛЛ	154	КТ-500	тв.	откр.	1	Котел 3К-1МА	5
11	сухие	11,0	122	5	ЛН	130	ДКВР-20-13	тв.	откр.	1	Вентилятор	60
12	влажные	1,5	136	8	ЛЛ	158	КЖ-1500	газ.	закрыт.	2	КЛ свыше 1 кВ	26 км
13	влажные	30	114	5	ЛН	118	ДКВР-4-13	жидк.	закрыт.	2	Холодильник ОТ-20	20
14	особо сырые	4,0	125	10	ЛЛ	128	ПТВМ-50	тв.	закрыт.	1	Бойлер	36
15	сырые	5,5	114	11	ЛН	130	КЖ-1500	жидк.	откр.	1	Топка механическая	6

### **Пример расчета**

Приведем пример расчета для варианта 15.

Определим количество условных единиц эксплуатации оборудования хозяйства. Результаты представим в виде табл. 1.3.

Таблица 1.3

Результаты перевода оборудования хозяйства в условные единицы

Вид оборудования	Категория помещений по условиям окружающей среды	Количество оборудования, шт.	Коэффициент перевода	Число условных единиц, у. е. э.
1. Электропривод с АД, $P = 5,5$ кВт	Сырое	114	$0,92 \times 1,20$	125,9
2. Освещение с ЛН	Сырое	130	0,91	118,3
3. Котельное оборудование КЖ-1500		1	52,8	52,8
4. Открытая трансформаторная подстанция		1	2,2	2,2
5. Топка механическая		6	23,3	139,8
<b>Итого</b>				<b>439</b>

Так как общее количество условных единиц эксплуатации по хозяйству равно  $\sum Q = 439$  у. е. э., то выбираем специализированную централизованную форму обслуживания.

По табл. 1.4 выбираем должность инженера-электрика, на которую возлагается руководство ЭТС.

По формуле (1.2) определим нормативное количество электромонтеров в хозяйстве:

$$N = 439 / 100 = 4,39 \text{ чел.}$$

Принимаем 4 человека.

Зная объем работ первого раздела ГПП, по формуле (1.1) определим объем работ второго и третьего раздела ГПП:

$$Q_2 = \frac{439 \cdot 7}{70} = 43,9 \text{ у.е.э.}$$

Таблица 1.4

## Типовые штаты и штатные нормативы службы главного энергетика

Должность	Нормативы для введения должностей	Примечание
Главный энергетик	1 на хозяйство, имеющее электроустановок свыше 1500 у. е. э. и потребляющее свыше 1,5 млн кВт·ч электроэнергии в год на производственные цели	Только для хозяйств I и II групп по оплате труда работников и специалистов предприятий сельского хозяйства
Старший инженер-энергетик (на правах главного)	1 на хозяйство, имеющее электроустановок от 1001 до 1500 у. е. э. и потребляющее свыше 1,0 млн кВт·ч электроэнергии в год	
Старший инженер-энергетик	1 на хозяйство, имеющее электроустановок от 501 до 1000 у. е. э. и потребляющее свыше 0,5 млн кВт·ч электроэнергии в год	
Инженер-электрик	1 на хозяйство, имеющее электроустановок от 251 до 500 у. е. э. и потребляющее свыше 0,5 млн кВт·ч электроэнергии в год	
Старший техник-электрик	1 на хозяйство, имеющее электроустановок от 101 до 250 у. е. э.	
Инженер-электрик	1 на каждые 1100 у. е. э.	
Старший техник-электрик (техник-электрик)	1 на каждые 650 у. е. э.	

Должность	Нормативы для введения должностей	Примечание
Старший инженер теплотехник	1 на хозяйство, имеющее площадь теплиц и парников на техническом обогреве свыше 50 тыс. м <sup>2</sup> или котельную мощностью свыше 15 т пара в час	
Инженер-теплотехник	1 на хозяйство, имеющее площадь теплиц и парников на техническом обогреве свыше 20 до 50 тыс. м <sup>2</sup> или котельную мощностью от 7 до 15 т пара в час	
Старший инженер по холодильному оборудованию	1 на хозяйство, имеющее объем холодильников для хранения мяса свыше 10 т или для хранения плодов, ягод, винограда и овощей свыше 20 т	
Старший радиотехник (радиотехник)	1 на хозяйство, имеющее радиоузел или диспетчерскую радиосвязь	

Таблица 1.5

Нормы перевода электротехнического оборудования в условные единицы затрат труда

Наименование электротехнического оборудования	Переводные коэффициенты
1. Линии электропередачи воздушные (на 1 км линии): до 1 кВ; свыше 1 кВ	3,93 3,0
2. Кабельные линии (на 1 км линии): до 1 кВ; свыше 1 кВ	1,29 1,90

Продолжение таблицы 1.5

Наименование электротехнического оборудования	Переводные коэффициенты
3. Электростанции дизельные (на один агрегат) <sup>1</sup> : менее 100 кВт; 100...300 кВт; свыше 300 кВт	10,0 20,0 30,0
4. Трансформаторные подстанции (на одну подстанцию): открытые; закрытые с одним трансформатором; с двумя трансформаторами	2,20 2,50 3,50
5. Электропривод с асинхронными электродвигателями (на один электродвигатель с электропроводкой и аппаратурой управления, контроля и защиты) <sup>2</sup>	
5.1. В сухих и влажных помещениях:	
до 1 кВт;	0,44
1,1...10 кВт;	0,61
10,1...40 кВт;	0,72
свыше 40 кВт.	0,92
5.2. В сырых и пыльных помещениях:	
до 1 кВт;	0,67
1,1...10 кВт;	0,92
10,1...40 кВт;	1,13
свыше 40 кВт.	1,38
5.3. В помещениях особо сырых и с химически активной средой:	
до 1 кВт;	0,88
1,1...10 кВт;	1,28
10,1...40 кВт;	1,55
свыше 40 кВт.	1,80
5.4. В открытых установках:	
до 1 кВт;	1,07
1,1...10 кВт;	1,52
10,1...40 кВт;	1,84
свыше 40 кВт	2,24

Наименование электротехнического оборудования	Переводные коэффициенты
6. Электротермические установки (на одну установку с электропроводкой и аппаратурой, контроля и защиты) <sup>3</sup> .	
6.1. Электроводонагреватели электродные водогрейные:	
до 100 кВт;	3,22
101...160 кВт;	4,12
свыше 160 кВт.	5,52
Электродные паровые котлы:	
до 160 кВт;	5,54
свыше 160 кВт.	6,23
6.2. Электроводонагреватели с трубчатыми нагревательными элементами:	
до 200 л;	1,09
201...400 л;	1,66
401...800 л;	2,64
свыше 800 л.	3,49
6.3. Электроводонагреватели бытовые емкостью 6...100 л.	0,98
6.4. Электроплиты стационарные напольного типа «Томь», «Лысьва» (на одну электроплиту с электропроводкой и аппаратурой управления, контроля и защиты).	0,25
6.5. Электроплиты стационарные других типов (на 1 кВт установленной мощности плиты).	0,05
6.6. Электрокалориферы (на одну установку с воздухонагревателем, электроприводом вентилятора, электропроводкой и аппаратурой управления, контроля и защиты) <sup>4</sup> :	
до 40 кВт;	3,16
41...60 кВт;	3,38
свыше 60 кВт.	3,78
6.7. Электровулканизаторы (на одну установку с электропроводкой и аппаратурой управления, контроля и защиты).	0,29



Продолжение таблицы 1.5

Наименование электротехнического оборудования	Переводные коэффициенты
6.8. Сушильные шкафы электрические.	0,53
6.9. Дисциляторы электрические.	0,90
6.10. Электрообогреваемые коврики и панели (на один коврик и одну панель с электропроводкой и аппаратурой управления, контроля и защиты).	0,15
6.11. Устройства электрообогрева полов в животноводческих помещениях (на 100 м <sup>2</sup> помещения, включая необогреваемые проходы и тамбуры) <sup>5</sup> .	0,73
6.12. Устройства электрообогрева почвы в теплицах и парниках (на 100 м <sup>2</sup> обогреваемых теплиц или парников с электропроводкой и аппаратурой управления, контроля и защиты)	0,80
7. Варочные установки (на одну установку с электропроводкой и аппаратурой управления, контроля и защиты):	
– генераторы сварочные:	
до 300 А;	2,88
свыше 300 А;	3,26
– трансформаторы сварочные:	
до 300 А;	0,99
свыше 300 А	1,24
8. Выпрямители зарядные (на одну установку с электропроводкой и аппаратурой управления, контроля и защиты):	
без автоматической стабилизации режима заряда;	0,53
с автоматической стабилизацией режима заряда	1,80
9. Конденсаторные батареи компенсации реактивной мощности	1,84
10. Электроосветительные установки и светильники (на 10 светильников с электропроводкой и аппаратурой управления, контроля и защиты).	

Наименование электротехнического оборудования	Переводные коэффициенты
10.1. В сухих и влажных помещениях с:	
1...2 лампами накаливания;	0,65
3...6 лампами накаливания;	0,99
1...2 люминесцентными лампами;	0,86
3...6 люминесцентными лампами.	1,41
10.2. В сырых и пыльных помещениях:	
с лампами накаливания;	0,91
люминесцентными лампами;	1,74
дуговыми лампами высокого давления.	1,03
10.3. В особо сырых и с химически активной средой помещениях:	
с лампами накаливания;	1,40
люминесцентными лампами;	2,07
дуговыми лампами высокого давления.	1,61
10.4. Наружное освещение (на 10 светильников с электропроводкой и аппаратурой управления, контроля и защиты):	
с лампами накаливания;	1,35
дуговыми лампами высокого давления	1,56
11. Облучательные установки (на 10 облучателей с электропроводкой и аппаратурой управления, контроля и защиты):	
инфракрасного излучения;	0,97
ультрафиолетового излучения;	1,65
комбинированные	2,43
12. Щиты автоматики с количеством реле (контакторов) более 5 шт., транзисторов (тиристоров) более 100 шт. (на одно наименование) <sup>6</sup> :	
реле и контакторы;	0,04
транзисторы, тиристоры;	0,01
микросхемы;	0,02
электронные лампы;	0,02
потенциометры, мосты, электронные самопишущие	1,10

Наименование электротехнического оборудования	Переводные коэффициенты
13. Электроизгородь (на одну установку с электропроводкой и аппаратурой управления, контроля и защиты)	0,50
14. Ящики учета электроэнергии (на один ящик с электропроводкой и аппаратурой управления, контроля и защиты)	0,30
15. Электропроводки жилых домов: многоквартирных (на одну квартиру); усадебного типа (на один дом)	0,10 0,15
16. Работы, выполняемые силами эксплуатационного персонала: по монтажу новых электроустановок (на 100 бел. руб.); по капитальному ремонту (на 50 бел. руб.)	170,0 100,0
17. Мелкомонтажные работы (на 100 у. е. э.)	15,0

*Примечания:*

1. Для агрегатов, находящихся в холодном резерве, трудоемкость умножается на коэффициент 0,15.

2. Указанная трудоемкость в условных единицах приведена для случаев работы двигателей в течении 6...10 ч/сут. При использовании двигателей менее 6 ч условные единицы умножаются на коэффициент 0,85, при работе более 10 ч/сут – на коэффициент 1,2.

3. Перечисленные условные единицы учитывают наличие в электроустановках вводных и распределительных щитов, заземляющих устройств, измерительных приборов, устройств защиты и сигнализации.

4. Условные единицы трудоемкости обслуживания работающих дизельных электростанций не учитывают работы дежурного машиниста.

5. Условные единицы электротехнического оборудования учитывают трудозатраты на выполнение плановых технических обслуживаний и текущих ремонтов, оперативное обслуживание, затраты времени на подготовку рабочих мест и необходимые переезды (переходы) к ним.

6. Приборы учета на электростанциях и подстанциях включены в трудоемкость обслуживаний подстанций.

Таблица 1.6

Нормы перевода теплотехнического оборудования  
в условные единицы затрат труда

Наименование теплотехнического оборудования	Переводные коэффициенты
1. Котельное оборудование*:	
ЗК-1МА	15,0/-
КМ-1300	20,3/25,3
КМ-1600	25,3/33,0
МЗК-2Г, КВ-300М, КВ-300МТ, КВ-300У, КМ-2500	27,9/35,3
Энергия-6, ММЗ-0,8/9, КТ-500	37,7/45,5
Универсал-6, Д-721А, Е-1/9М	42,7/53,0
КЖ-1500, КГ-1500	52,8/-
ДКВР-2,5-13	75,4/95,8
ДКВР-4-13	95,8/120,8
ДКВР-6,5-13, ТВГ-4	111,6/141,3
ДКВР-10-13, ТВГ-8	128,3/154,5
ДКВР-20-13	171,9/205,1
ПТВМ-30, ТВГВ-30, КВ-ТСВ	293,7/341,6
ПТВМ-50	409,8/475,5
2. Котельно-вспомогательное оборудование:	
топки механические	23,30
топки полумеханические	6,40
механические решетки	15,80
мельницы молотковые для угля	16,80
дробилки молотковые для угля	8,50
механизованная система шлакоудаления	5,40
мазутное хозяйство	13,90
система химической водоочистки	7,20
циклемы и скрубберы	2,40
бойлеры	3,80
горелки пылеугольные	1,70
деаэраторы в комплекте	8,60
3. Прочее оборудование и тепловые сети:	
тепловые пункты в комплекте	6,2
водопровод холодной и горячей воды	3,2
паропровод на 1000 м длины с арматурой	1,0

Наименование теплотехнического оборудования	Переводные коэффициенты
воздуховод на 1000 м длины	7,6
теплогенераторы всех типов	0,7
вентиляторы	1,5
вентиляторы с калориферами	7,0
компрессоры	4,8
насосы	6,7
холодильные машины:	
ОТ-10 (УВ-10)	12,9
МХУ-8С, МВТ-14-1-0	27,9
ОТ-20 (МВТ-20-1-0), ОТ-30 (АВ-30)	27,9
ХМ-АУ-45, ХМ-АВ-22, ХМ-АУУ-90	27,9

\* В разделе «Котельное оборудование» цифры в числителе даны при работе котлов на жидком и газообразном топливе, а в знаменателе – на твердом.

### Контрольные вопросы

1. Как и с какой целью производится пересчет оборудования в условные единицы?
2. Перечислите разделы, входящие в годовую производственную программу.
3. Что такое условные единицы эксплуатации электрооборудования? Чему равна 1 у. е. э.?
4. Как определить штат инженерно-технических работников электротехнической службы?
5. Как определить нормативное количество электромонтеров в хозяйстве?

Практическая работа № 2  
**ПРИЕМКА ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК  
В ЭКСПЛУАТАЦИЮ**

**Цель занятия:** освоить методику и приобрести навыки приема электроустановок в эксплуатацию.

**Задачи занятия**

1. Изучить порядок приемки электроустановок в эксплуатацию.
2. Изучить перечень и содержание приемо-сдаточной документации.
3. Оформить приемо-сдаточную документацию, используя формы документов приложения 2.
4. Организовать приемку электроустановки в эксплуатацию (в виде деловой игры).

**Теоретические сведения**

Допуску в эксплуатацию подлежат все электроустановки потребителей напряжением выше 1000 В независимо от их ведомственной принадлежности и электроустановки напряжением до 1000 В, подключаемые к сетям энергосистемы.

Вновь сооруженные и реконструированные электроустановки и установленное в них оборудование должны быть подвергнуты приемо-сдаточным испытаниям.

Вновь сооруженные и реконструированные электроустановки вводятся в промышленную эксплуатацию только после приемки их приемочными комиссиями согласно действующим положениям.

Основанием для допуска в эксплуатацию служат:

- 1) технические условия энергосистемы или другого владельца энергосистемы на присоединение электроустановок;
- 2) рабочий проект энергоснабжения;
- 3) разрешение на присоединение новой или дополнительной мощности, выданное владельцем энергоисточника;
- 4) справка района электрических сетей (РЭС) или предприятия электрических сетей (ПЭС) о выполнении технических условий и готовности внешних сетей к подключению (форма 1);

5) выписка из приказа о назначении ответственного лица за электрохозяйство из числа инженерно-технических работников (ИТР) электротехнической специальности с указанием занимаемой должности, квалификационной группы по технике безопасности (ТБ) и даты последней проверки значений (форма 2);

6) акт разграничения балансовой принадлежности электросетей и эксплуатационной ответственности сторон (форма 3);

7) приемосдаточный акт электромонтажных работ между монтажной организацией и потребителем (форма 4);

8) ведомость технической документации по электроустановке (форма 5);

9) материалы рабочего проекта с изменениями, согласованными с проектной организацией;

10) протоколы измерения сопротивлений изоляции электрооборудования и электропроводки (форма 6, 7);

11) акты на скрытые работы по выполнению проводок и уравнивателей электрических потенциалов (форма 8);

12) протоколы измерения сопротивления устройств выравнивания потенциалов (форма 9);

13) протокол проверки сопротивления петли «фаза–нуль» (форма 10);

14) справка о наличии защитных средств (форма 11).

При необходимости присоединения новых мощностей или реконструкции электроснабжения, колхоз, совхоз, индивидуальные домовладельцы и т. п. подают заявку в электроснабжающую организацию о выдаче технических условий на электроснабжение. В заявке должны быть указаны запрашиваемая мощность, предполагаемая категория по надежности электроснабжения и другие необходимые данные. Заявка рассматривается в течение 2 недель.

На основании технических условий организацией, имеющей лицензию на проектные работы, разрабатывается рабочий проект. Он должен быть согласован в установленном порядке с энергонадзором и энергоснабжающей организацией (РЭС, ПЭС).

Заказчик (потенциальный потребитель электрической энергии) после завершения работ предъявляет необходимую техническую документацию владельцу электрических сетей (участок, РЭС или ПЭС). При выполнении всех требований составляется справка о выполнении технических условий.

Заказчик подает в энергоинспекцию письменную заявку (форма 12) на допуск в эксплуатацию электроустановок. Заявка рассматривается в пятидневный срок. Приемка-сдача электроустановок в эксплуатацию осуществляется комиссией.

*Состав приемной комиссии:* заказчик (ответственный за электрооборудование), представитель монтажной организации, инспекторы энергонадзора и госпожтехнадзора.

*Электроустановки в эксплуатацию не допускают* при отступлении от проекта, технических условий, действующих правил, а также при отсутствии подготовленного персонала, испытанных защитных средств, средств пожаротушения и технической документации.

Повторный осмотр объекта производится по письменной заявке, подписанной руководителем хозяйства, в которой должно быть сообщено, что перечисленные в акте недостатки полностью устранены.

*Выдача наряда на подключение электроустановок* (форма 13) производится начальником отделения (участка), руководителем группы, начальником энергоинспекции на основании акта инспектора с заключением о возможности ввода электроустановок в эксплуатацию и перечнем недостатков, не препятствующих включению, со сроком их устранения.

Подключение электроустановок потребителей к сетям энергосистемы производится только персоналом РЭС, ПЭС, а к абонентским сетям – персоналом абонента по распоряжению лица, ответственного за электрохозяйство.

### **Задание**

Преподаватель назначает из числа студентов членов приемной комиссии, которая должна принять в эксплуатацию электроустановки лаборатории или объекта (при занятиях на объектах учхоза или полигона), и представителей заказчика. Приемка-сдача ведется в виде деловой игры с необходимыми измерениями и испытаниями. Оформить приемо-сдаточную документацию, используя формы документов приложения 2.

### **Контрольные вопросы**

1. Какова последовательность приемки электроустановок в эксплуатацию?



2. Каковы перечень и содержание приемосдаточной документации?
3. Кто входит в состав комиссии по приемке-сдаче электроустановок в эксплуатацию?
4. При каких условиях электроустановки не допускаются в эксплуатацию?
5. Когда производится повторный осмотр объекта?
6. Кто производит подключение электроустановок потребителей к сетям энергосистемы?
7. В течение какого времени и кем рассматривается заявка на подключение?

Практическая работа № 3  
**АНАЛИЗ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ  
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ**

**Цель занятия:** научиться анализу деятельности электротехнической службы хозяйства в целях контроля эффективности эксплуатации электрооборудования и своевременного выявления резервов ее повышения.

**Задачи занятия**

1. Определить значения технико-экономических показателей работы электротехнической службы, используя данные табл. 3.1.
2. Сравнить расчетные значения с базисными.
3. Принять решение о состоянии электротехнической службы хозяйства и указать конкретные пути повышения эффективности работы электротехнической службы.

**Теоретические сведения**

Электротехническая служба существует для обслуживания основного производства и всегда является вспомогательной службой предприятий АПК. Поэтому анализ деятельности должен производиться, исходя из оценки влияния работы ЭТС на конечные результаты основного производства.

Общая методика оценки деятельности включает три этапа.

**1 этап.** Определяют фактические значения технико-экономических показателей работы ЭТС на некоторый период по отчетным документам.

**2 этап.** Сравнивают фактические значения с базисными. За базисные принимают плановые или средние (за пять лет), или лучшие (перспективные) значения показателей.

**3 этап.** По результатам сравнения принимают решение о работе ЭТС.

Техническое состояние электрооборудования оценивают по интенсивности отказов ( $\lambda$ ), коэффициенту простоев ( $\tau$ ) и комплексному коэффициенту технического состояния ( $k_r$ ), величины которых находятся по следующим формулам:

$$\lambda = \frac{\Delta n}{n}, \quad (3.1)$$

где  $n$ ,  $\Delta n$  – число установленного и отказавшего электрооборудования соответственно, шт.

$$\tau = \frac{T_{\text{п}}}{T_{\text{и}}}, \quad (3.2)$$

где  $T_{\text{п}}$  – средневзвешенная продолжительность простоев техники по вине ЭТС, ч;

$T_{\text{и}}$  – число часов использования установленной мощности электрооборудования, ч.

$$T_{\text{п}} = \frac{1}{Y} \sum_{i=1}^{\Delta n} T_{ni} Y_i, \quad (3.3)$$

где  $Y$  – суммарный ущерб, руб.;

$T_{ni}$  – продолжительность  $i$ -го отказа, ч;

$Y_i$  – ущерб от  $i$ -го отказа, руб.

$$T_{\text{и}} = \frac{W}{P_{\text{уст}}}, \quad (3.4)$$

где  $W$  – годовое потребление электроэнергии, кВт·ч;

$P_{\text{уст}}$  – установленная мощность всего электрооборудования, кВт.

Коэффициент технического состояния

$$k_{\text{т}} = (1 - \lambda)(1 - \tau). \quad (3.5)$$

Одним из показателей экономической эффективности является производительность труда электромонтера  $Q_N$ :

$$Q_N = \frac{Q}{N}, \quad (3.6)$$

где  $Q$  – количество условных единиц электрооборудования, у. е. э.;

$N$  – фактическое число электромонтеров, чел.

Полную комплексную оценку ЭТС по технической эксплуатации дает обобщенный критерий эффективности:

$$\mathcal{E}' = a_1 \kappa_T + a_2 Q_N + a_3 Z_{\mathcal{E}} + a_4 T_{\text{и}} ; \quad (3.7)$$

$$\mathcal{E}'' = (\kappa_T)^{a_1} (Q_N)^{a_2} (Z_{\mathcal{E}})^{a_3} (T_{\text{и}})^{a_4} , \quad (3.8)$$

где  $a_1, a_2, a_3, a_4$  – весовые коэффициенты, которые определяют значение целей работы;

$Z_{\mathcal{E}}$  – затраты на единицу потребляемой электроэнергии руб./кВт·ч.

Итоги развития электрификации оценивают по объему работ, связанных с развитием электрификации и автоматизации производства и приросту энерговооруженности  $\Delta P_M$  и электровооруженности  $\Delta W_M$  труда:

$$\Delta P_M = \frac{\Delta P}{M} ; \quad (3.9)$$

$$\Delta W_M = \frac{\Delta W}{M} , \quad (3.10)$$

где  $\Delta P$  – прирост установленной мощности электроустановок, кВт;

$\Delta W$  прирост потребленной электроэнергии, кВт·ч;

$M$  – число работников предприятия, чел.

Важными экономическими показателями являются себестоимость электроэнергии  $C_c$  и стоимость обслуживания одной условной единицы электрооборудования. Себестоимость электроэнергии определяется по формуле

$$C_c = \frac{E \Phi_o + \sum Z + \Pi_p + C_s}{W} , \quad (3.11)$$

где  $E$  – банковская кредитная ставка, о.е.;

$\Phi_o$  – основные фонды ЭТС, руб.;

$\sum Z$  – стоимость выделенных ресурсов, руб.;

$\Pi_p$  – годовая заработная плата рабочих, руб.;

$C_s$  – стоимость потребленной энергии, руб.

Стоимость обслуживания одной условной единицы электротехнического оборудования определяется по формуле

$$C_{\text{у.е.э.}} = \frac{\sum 3 + \Pi_p}{Q}. \quad (3.12)$$

### Задание

Выполнить анализ работы электротехнической службы хозяйства в целях контроля эффективности эксплуатации электрооборудования и своевременного выявления резервов ее повышения. Исходные данные для расчета приведены в табл. 3.1.

#### *Пример расчета*

Приведем пример расчета для варианта 15.

Определим интенсивность отказов по формуле (3.1):

$$\lambda = 52 / 520 = 0,1.$$

Определим коэффициент простоев по формуле (3.2):

$$\tau = 120 \cdot 3000 / 2150 \cdot 10^3 = 0,167.$$

Определим комплексный коэффициент технического состояния по формуле (3.3):

$$k_T = (1 - 0,1) (1 - 0,167) = 0,75.$$

Определим производительность труда электромонтеров по формуле (3.6):

$$Q_N = 600 / 4 = 150 \text{ у. е. э./чел.}$$

Определим себестоимость электрической энергии с учетом затрат на службу эксплуатации по формуле (3.11):

$$C_e = \frac{0,15 \cdot 5000 + 3200 + 4 \cdot 12 \cdot 200 + 2150 \cdot 10^3 \cdot 0,01}{2150 \cdot 10^3} = 0,0163 \text{ руб./кВт}\cdot\text{ч},$$

где 200 – это условная среднемесячная зарплата одного электромонтера 3-го разряда, руб.;

0,01 – тариф на электроэнергию, руб.

Определим стоимость обслуживания одной условной единицы электрооборудования по формуле (3.12):

$$C_{\text{у. е. э.}} = (3200 + 4 \cdot 12 \cdot 200) / 600 = 22,85 \text{ руб./у. е. э.}$$

## Индивидуальные задания

Таблица 3.1

Исходные данные для расчета (в ценах 2018 г.)

№ Варианта	Наименование хозяйства	Число электромонтеров $N$ , чел.	Основные фонды ЭТС $\Phi_0$ , руб.	Установленная мощность электрооборудования $P_{уст}$ , кВт	Число электродвигателей $n$ , шт.	Количество условных единиц электродвигателей $Q$ , у. е. э.	Число отказавших электродвигателей $\Delta n$ , шт.	Средняя продолжительность простоев $T_{пр}$ , ч	Потребление электроэнергии $W$ , Вт·ч· $10^3$	Стоимость выделенных ресурсов $\sum Z$ , руб.
1	СУП «Заболотье»	3	3300	2100	380	420	40	120	1200	2400
2	СПК «Трабы»	6	6800	4500	700	760	42	120	2500	5200
3	ОАО «Мирополье»	7	8000	5000	850	900	84	120	3200	5800
4	КУСХП «Кашинское»	5	6000	3500	620	700	90	220	2300	4100
5	СПК «Речень»	13	12 000	7000	1300	1350	71	220	4600	9000
6	СПК «Колхоз имени Дзержинского»	10	10 000	6500	1050	1100	153	320	3600	7200
7	СПК имени Деньщикова	8	7000	5000	850	900	108	220	2800	6000
8	СПК Шипяны-АСК»	9	7500	6000	950	1000	109	120	3400	7200
9	ОАО «Ханевичи»	5	5000	2800	500	530	30	120	1800	3400
10	КСУП «Белица-Агро»	5	4500	2800	480	510	23	120	1650	3200
11	СПК «Пугачи»	7	6500	4000	640	675	97	120	2100	4100
12	Колхоз «Авангард»	8	8500	5000	1000	1150	44	220	3400	6500
13	СПК «Гудогай»	8	10 000	6300	1020	1090	92	120	3800	7400
14	ОАО «Агрофирма «Славгородский»	6	6800	4500	750	830	38	120	3150	4800
15	СПК «Гастелловское»	4	5000	3000	520	600	52	120	2150	3200

### **Выводы**

Служба не обеспечивает требуемое техническое состояние электрооборудования, поскольку интенсивность отказов ( $\lambda$  базисное = 0,07) в 1,4 раза выше, а коэффициент простоев ( $\tau$  базисное = 0,07) в 2,3 раза выше базисных значений. По этим причинам высокую производительность электромонтеров ( $Q_N$  базисное = 100) и малые удельные затраты ( $C_{у. е. э.}$ ) нельзя признать положительными факторами в работе ЭТС.

Необходимо увеличить количество обслуживающего персонала и материальные ресурсы, чтобы стоимость обслуживания одной условной электротехнической единицы была около 35 руб. в ценах 2018 г.

### **Контрольные вопросы**

1. Перечислите формы организации электротехнических служб, условия, при которых они принимаются.
2. Какова методика оценки деятельности ЭТС?
3. По каким показателям оценивается техническое состояние электрооборудования?
4. По каким показателям оценивают экономическую эффективность эксплуатации?
5. Дайте определение обобщенного критерия эффективности ЭТС. Как он определяется?
6. Как определить себестоимость электроэнергии с учетом эксплуатации и стоимость обслуживания условной единицы электрооборудования?

Практическая работа № 4  
**СОСТАВЛЕНИЕ ГРАФИКА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ,  
ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ  
И ТЕКУЩЕГО РЕМОНТА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ**

**Цель занятия:** изучить особенности и освоить методику составления графика диагностирования, технического обслуживания и текущего ремонта электрооборудования.

**Задачи занятия**

1. Составить годовой график диагностирования, технического обслуживания и текущего ремонта заданного объекта хозяйства.
2. Рассчитать трудоемкость годовой производственной программы и определить численность персонала электротехнической службы.

**Теоретические сведения**

Основным документом, на основании которого организуют работу по эксплуатации электрооборудования, является годовой график диагностирования (Д), технического обслуживания (ТО), текущего ремонта (ТР). График служит основным документом для определения рабочей силы, потребности в материалах, запасных частях, изделиях и аппаратах. График составляет лицо, ответственное за электрохозяйство, а утверждает руководитель хозяйства.

Для разработки графика необходимо провести паспортизацию оборудования и проанализировать его состояние, определить периодичность, годовое число и трудоемкость Д, ТО, ТР. После этого рассчитывается требуемое количество электромонтеров.

Годовые затраты труда (трудоемкость) на обслуживание, диагностирование и ремонт электрического оборудования подсчитываются по группам этого оборудования.

Расчет трудоемкости производственной программы можно выполнить по двум методикам:

- по нормативам трудоемкости системы ППРЭСх для каждого оборудования в отдельности;
- по укрупненным нормативам трудоемкости, составленным для определенных технологических процессов.



Для определения периодичности работ по Д, ТО, ТР все электрическое оборудование сельскохозяйственного предприятия, СПК и т. д. делится на три группы:

1-я группа – электродвигатели, магнитные пускатели, автоматические выключатели, установленные в животноводческих помещениях, ремонтных мастерских, кузницах, помещениях пилорам и др.;

2-я группа – электродвигатели, магнитные пускатели, автоматические выключатели, установленные в помещениях, которые не охватывает 1-я группа, а также погружные электродвигатели, генераторы передвижных электростанций, сварочная аппаратура, электрокалориферы, электронагреватели, котлы электродные;

3-я группа – электрооборудование, которого нет в рекомендациях по организации ремонта и технического обслуживания на основе диагностирования.

Для 1-й группы расчет выполняется, исходя из годовой программы работ ТО и диагностирования (конкретного хозяйства), в соответствии с нижеприведенными трудоемкостями одного:

– технического обслуживания электродвигателя (0,25 чел.-ч); магнитного пускателя (0,13 чел.-ч); автоматического выключателя (0,125 чел.-ч);

– диагностирования электродвигателя (0,725 чел.-ч); магнитного пускателя (0,39 чел.-ч); автоматического выключателя (0,35 чел.-ч); а так же исходя из средней трудоемкости текущего ремонта электрооборудования на год эксплуатации (табл. 4.12).

Суммарная плановая годовая трудоемкость 1-й группы оборудования рассчитывается по формуле

$$T_{\text{ГР}} = n_1(K_{\text{Д1}}t_{\text{Д1}} + K_{\text{ТО1}}t_{\text{ТО1}} + t_{\text{ТР1}}) + n_2(K_{\text{Д2}}t_{\text{Д2}} + K_{\text{ТО2}}t_{\text{ТО2}} + t_{\text{ТР2}}) + \dots + n_n(K_{\text{Дn}}t_{\text{Дn}} + K_{\text{ТОn}}t_{\text{ТОn}} + t_{\text{ТРn}}), \quad (4.1)$$

где  $n_1, n_2, n_n$  – количество единиц электрооборудования в подгруппе, шт.;

$K_{\text{Д1}}, K_{\text{Д2}}, K_{\text{Дn}}$  – количество Д единицы подгруппы электрооборудования за год (по графику);

$K_{\text{Т1}}, K_{\text{ТО2}}, K_{\text{ТОn}}$  – количество ТО единицы подгруппы электрооборудования за год (по графику);

$t_{\text{ТО1}}, t_{\text{ТО2}}, t_{\text{ТОn}}$  – трудоемкость одного ТО единицы подгруппы электрооборудования, чел.-ч;

$t_{Д1}, t_{Д2}, t_{Дn}$  – трудоемкость одного Д единицы подгруппы электрооборудования, чел.-ч;

$t_{ТР1}, t_{ТР2}, t_{ТРn}$  – годовая трудоемкость ТР единицы подгруппы электрооборудования, чел.-ч.

Для 2-й группы электрооборудования расчет выполняется, исходя из средней трудоемкости Д, ТО, ТР на год эксплуатации одного электродвигателя, электронагревателя и пр., данные приведены в табл. 4.8...4.9.

Суммарная плановая трудоемкость определяется из выражения

$$T_{2ГР} = n_1(t_{Д1} + t_{ТО1} + t_{ТР1}) + n_2(t_{Д2} + t_{ТО2} + t_{ТР2}) + \dots + n_n(t_{Дn} + t_{ТОn} + t_{ТРn}), \quad (4.2)$$

где  $t_{ТО1}, t_{ТО2}, t_{ТОn}$  – годовая трудоемкость одного ТО единицы подгруппы электрооборудования, чел.-ч;

$t_{Д1}, t_{Д2}, t_{Дn}$  – годовая трудоемкость одного Д единицы подгруппы электрооборудования, чел.-ч.

Для 3-й группы электрооборудования трудоемкости работ приведены в табл. 4.13...4.18.

Суммарная плановая годовая трудоемкость третьей группы электрооборудования рассчитывается по формуле

$$T_{3ГР} = n_1(K_{ТО1}t_{ТО1} + K_{ТР1}t_{ТР1}) + n_2(K_{ТО2}t_{ТО2} + K_{ТР2}t_{ТР2}) + \dots + n_n(K_{ТОn}t_{ТОn} + K_{ТРn}t_{ТРn}). \quad (4.3)$$

Суммарная годовая плановая трудоемкость Д, ТО, ТР всех трех групп электрооборудования вычисляется по формуле

$$T_{Пл} = T_{1ГР} + T_{2ГР} + T_{3ГР}. \quad (4.4)$$

Затраты труда на оперативные работы ( $T_{ОПР}$ ) определяются по следующим параметрам:

- средней удаленности ( $l$ ) производственных объектов электрооборудования от пункта технического обслуживания;
- количеству электродвигателей ( $n_{эд}$ ) в хозяйстве.

Средняя удаленность электрооборудования определяется из выражения, км:

$$l = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} l_i \cdot n_{\text{ЭД}i}}{n_{\text{ЭД}}}, \quad (4.5)$$

где  $l_i$  – расстояние от пункта ТО до  $i$ -го производственного объекта (фермы, парника, мастерской и др.), км;

$n_{\text{ЭД}i}$  – количество электродвигателей на  $i$ -м производственном объекте, шт.

Таблица 4.1

Годовые трудозатраты на оперативное обслуживание при специализации персонала

$l = 5$ км						
$n_{\text{ЭД}}$	до 590		591–1250		1251–2000	
$T_{\text{ОПР}}$	2086		4172		6258	
$l = 10$ км						
$n_{\text{ЭД}}$	до 390	391–870	871–1350	1351–1880	1881–2000	
$T_{\text{ОПР}}$	2086	4172	6258	8344	10 430	
$l = 15$ км						
$n_{\text{ЭД}}$	до 300	301–630	631–1000	1001–1400	1401–1800	1801–2000
$T_{\text{ОПР}}$	2086	4172	6258	8344	10 430	12 516

Если количество двигателей отличается от табличных значений, годовые затраты на оперативное обслуживание принимаются в размере 25 % от плановых работ.

Трудоемкость годовой производственной программы равна

$$T_{\text{ГПП}} = k T_{\text{ПЛ}} + T_{\text{ОПР}} + T_2 + T_3, \quad (4.6)$$

где  $k$  – коэффициент, учитывающий время на разъезды электромонтеров при выполнении плановых работ, а также рассредоточенность электрооборудования по хозяйству ( $k = 1,14$  при  $l = 5$  км,  $k = 1,23$  при  $l = 10$  км,  $k = 1,32$  при  $l = 15$  км);

$T_2, T_3$  – трудоемкости второго и третьего разделов, определяемые руководителем хозяйства на основании табл. 1.1, чел.-ч.

Составление графика технического обслуживания и ремонта электрооборудования в хозяйстве или его отделении следует начинать с объектов сезонного использования. В случае сезонного использования электрооборудования дополнительно учитывают необходимость его консервации и расконсервации. Трудоемкость этих работ оценивают плановой трудоемкостью ТО соответствующего типа электрооборудования, увеличенной на 15 %.

В качестве интервала времени, на который планируют работы в течение года, принята неделя. Это дает возможность легко определить объемы работ по годовому графику на квартал и месяц, а также позволяет отказаться от разработки квартальных и месячных графиков выполнения технического обслуживания и ремонта электрооборудования.

Расчет графика технического обслуживания и ремонта электрооборудования выполняют по каждому объекту хозяйств:

1. Определяют производственную программу по каждому объекту хозяйству.
2. Определяют численность персонала ЭТС.
3. Составляют годовой график технического обслуживания и ремонта электрооборудования.

Численность электромонтеров можно определить по количеству условных единиц эксплуатации, но более точный метод – по плановой трудоемкости годовой производственной программы:

$$N_2 = 1,1T_{\text{пл}} / (\Phi - \Phi_{\text{пер}}) k_{\text{вн}}, \quad (4.7)$$

где 1,1 – коэффициент неучтенных работ;

$\Phi$  – действительный годовой фонд рабочего времени, ч;

$\Phi_{\text{пер}}$  – время, затрачиваемое электромонтером на переезды (берется среднее фактическое за прошедший год), ч;

$k_{\text{вн}}$  – коэффициент выполнения нормы ( $k_{\text{вн}} = 1,10 \dots 1,15$ ).

Действительный годовой фонд рабочего времени электромонтера подсчитывается по формуле

$$\Phi = (d_k - d_v - d_{\text{п}} - d_o) z\eta, \quad (4.8)$$

где  $d_k, d_b, d_{п}, d_o$  – количество календарных, выходных, праздничных и отпускных дней в году соответственно;

$z$  – продолжительность рабочей смены (при одном выходном дне в неделе – 6,834 ч, при двух – 8,24 ч), ч;

$\eta$  – коэффициент выхода электромонтера на работу, 0,95...0,96.

Ориентировочно за годовой фонд рабочего времени электромонтера  $\Phi$  можно принять 1904 ч.

Численность электромонтеров оперативной службы

$$N_{\text{ОПР}} = \frac{T_{\text{ОПР}}}{\Phi k_{\text{ВН}}}. \quad (4.9)$$

Для обеспечения непрерывности технологических процессов, Д, ТО и ТР электрооборудования производят во время технологических пауз. Выполнение ТР электрооборудования планируют одновременно с ТР технологического оборудования. Сезонные ТО и ТР, а также капитальный ремонт электропроводок животноводческих помещений и зернотоков планируют на период их простоя. Эти работы должны завершиться до начала сезона использования производственного объекта. При планировании работ по диагностированию, техническому обслуживанию и ремонту электрооборудования хозяйства или его отделений необходимо, чтобы загрузка электромонтеров в течении года по неделям была равномерной. Следует при этом на каждую неделю резервировать примерно 25 % общего недельного фонда рабочего времени на выполнение оперативных и мелкомонтажных работ.

### ***Задание***

Составить годовой график Д, ТО, ТР заданного объекта хозяйства. Рассчитать трудоемкость годовой производственной программы и определить численность персонала ЭТС. Исходные данные приведены в табл. 4.19.

### ***Пример расчета***

Произведем расчет периодичности и количества ремонтных работ хозяйства для варианта № 15.

Для определения объема работ 1-й группы электрооборудования подсчитаем количество отказов и число рабочих или животных на один электродвигатель по формулам ниже.

Для телятника на 800 гол. количество отказов составляет

$$n_{\text{отк}\%} = \frac{n_0}{n_{\text{Э.д}}} 100 \% = \frac{2}{52} 100 \% = 3,85 \%,$$

где  $n_0$  – число отказов электродвигателей, установленных в данном производственном помещении (в среднем на 100 двигателей 4–7 отказов), шт.;

$n_{\text{Э.д}}$  – общее количество установленных электродвигателей, шт.

Количество рабочих, а также содержащихся животных или птицы в расчете на один установленный двигатель определяется по выражению

$$n = \frac{n'}{n_{\text{Э.д}}} = \frac{800}{52} = 15,38 \text{ гол.}$$

Затем по табл. 4.3...4.7 определим периодичность диагностирования оборудования. Для телятника  $\Pi_{\text{д}} = 3$  мес.

Количество диагностирований в год определим по формуле

$$K_{\text{д}} = \frac{12}{\Pi_{\text{д}}} = \frac{12}{3} = 4.$$

Периодичность технического обслуживания

$$\Pi_{\text{ТО}} = \frac{\Pi_{\text{д}}}{2} = \frac{3}{2} = 1,5.$$

Годовое количество технических обслуживаний

$$K_{\text{ТО}} = \frac{12}{\Pi_{\text{ТО}}} - \frac{12}{\Pi_{\text{д}}} = \frac{12}{1,5} - \frac{12}{3} = 4.$$

Умножив  $K_{\text{д}}$  и  $K_{\text{ТО}}$  на количество двигателей  $n_{\text{Э.д}}$ , узнаем общее количество диагностирований и технических обслуживаний двигателей в данном помещении за год:

$$K_{\text{д}}' = K_{\text{д}} n_{\text{Э.д}} = 4 \cdot 52 = 208;$$

$$K_{\text{ТО}}' = K_{\text{ТО}} n_{\text{Э.д}} = 4 \cdot 52 = 208.$$

Произведем расчет графика Д, ТО, ТР, трудоемкости ГПП, численности персонала для варианта № 15.

1. Определим периодичность и количество ремонтных работ. Результаты внесем в табл. 4.2.

2. Определим трудоемкость видов работ по отдельности. Рассчитаем общую трудоемкость работ каждого вида оборудования. Результаты внесем в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Результаты расчетов для составления годового графика Д, ТО, ТР объекта

Наименование, тип электро- оборудования	Количество оборудования, шт.	Годовое количество, раз			Трудоемкость, чел.-ч					
		Д	ТО	ТР	на единицу оборудования			общая		
					Д	ТО	ТР	Д	ТО	ТР
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Электродвигатель	52	4	4	–	0,725	0,25	1,3	150,8	52	67,6
Магнитный пускатель	30	4	4	–	0,39	0,13	0,6	46,8	15,6	18
Автоматический выключатель	28	4	4	–	0,35	0,125	0,71	39,2	14	19,88
Водонагреватель	4	2	6	–	1,4	1,6	7,9	5,6	6,4	31,6
Регулятор температуры РПД	3	–	12	2	–	0,9	2,3	–	32,4	13,8
Электрокалориферы мощностью 40 кВт	14	2	6	–	3,1	3,04	5,5	43,4	42,56	77
Светильники с ЛН	70	–	4	1	–	0,15	0,4	–	42	28
Светильники с ЛЛ	80	–	4	1	–	0,2	0,5	–	64	40

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Кабель СРГ на скобах	3400 м	–	3	0,66	–	14	210	–	142,8	471,24
Силовые сборки на 6 групп	3	–	8	1	–	0,48	7,2	–	11,52	21,6
Осветительные щитки на 6 групп	4	–	8	1	–	0,36	5,4	–	11,52	21,6

3. По формулам рассчитаем суммарную плановую трудоемкость по группам оборудования:

$$T_{ГР} = n_1 (K_{Д1}t_{Д1} + K_{ТО1}t_{ТО1} + t_{ТР1}) + n_2 (K_{Д2}t_{Д2} + K_{ТО2}t_{ТО2} + t_{ТР2}) +$$

$$+ n_3 (K_{Д3}t_{Д3} + K_{ТО3}t_{ТО3} + t_{ТР3}) = 52 \cdot (4 \cdot 0,725 + 4 \cdot 0,25 + 1,3) +$$

$$+ 30 \cdot (4 \cdot 0,39 + 4 \cdot 0,13 + 0,6) + 28 \cdot (4 \cdot 0,35 + 4 \cdot 0,125 + 0,71) = 423,88 \text{ чел.-ч.}$$

$$T_{2ГР} = n_1 (t_{Д1} + t_{ТО1} + t_{ТР1}) + n_2 (t_{Д2} + t_{ТО2} + t_{ТР2}) = 4 \cdot (1,4 + 1,6 + 7,9) +$$

$$+ 14 \cdot (3,1 + 3,04 + 5,5) = 206,56 \text{ чел.-ч.}$$

$$T_{3ГР} = n_1 (K_{ТО1}t_{ТО1} + K_{ТР1}t_{ТР1}) + n_2 (K_{ТО2}t_{ТО2} + K_{ТР2}t_{ТР2}) +$$

$$+ n_3 (K_{ТО3}t_{ТО3} + K_{ТР3}t_{ТР3}) + n_4 (K_{ТО4}t_{ТО4} + K_{ТР4}t_{ТР4}) + n_5 \times$$

$$\times (K_{ТО5}t_{ТО5} + K_{ТР5}t_{ТР5}) + n_6 (K_{ТО6}t_{ТО6} + K_{ТР6}t_{ТР6}) = 3 \cdot (12 \cdot 0,9 +$$

$$+ 2 \cdot 2,3) + 70 \cdot (4 \cdot 0,15 + 1 \cdot 0,4) + 80 \cdot (4 \cdot 0,2 + 1 \cdot 0,5) + 3,4 \cdot (3 \cdot 14 + 0,66 \cdot 210) +$$

$$+ 3 \cdot (8 \cdot 0,48 + 1 \cdot 7,2) + 4 \cdot (8 \cdot 0,36 + 1 \cdot 5,4) = 900,48 \text{ чел.-ч.}$$

Суммарную годовую плановую трудоемкость ТО, Д, ТР всех трех групп электрооборудования вычислим по формуле (4.4):

$$T_{ИЛ} = T_{ГР} + T_{2ГР} + T_{3ГР} = 423,88 + 206,56 + 900,48 = 1530,92 \text{ чел.-ч.}$$

Определим затраты труда на оперативные работы, которые составляют 25 % от плановых работ:



$$T_{\text{ОПР}} = 0,25 T_{\text{ПЛ}} = 0,25 \cdot 1530,92 = 382,73 \text{ чел.-ч.}$$

Трудоемкость годовой производственной программы рассчитаем по формуле (4.6):

$$T_{\text{ГПП}} = kT_{\text{ПЛ}} + T_{\text{ОПР}} + T_2 + T_3 = \\ = 1,14 \cdot 1530,92 + 382,73 + 136,88 + 91,04 = 2356 \text{ чел.-ч.}$$

Численность электромонтеров определим по формуле (4.7). При средней удаленности электрооборудования от центрального пункта технического обслуживания около 3 км  $\Phi_{\text{ПЕР}} = 171,6$  ч.

$$N_2 = 1,1 T_{\text{ПЛ}} / (\Phi - \Phi_{\text{ПЕР}}) k_{\text{ВН}} = 1,1 \cdot 1530,92 / (1904 - 171,6) \cdot 1,1 = 1,1 \text{ чел.}$$

Принимаем одного электромонтера.

Численность электромонтеров оперативной службы определим по формуле (4.9):

$$N_{\text{ОПР}} = \frac{T_{\text{ОПР}}}{\Phi k_{\text{ВН}}} = \frac{382,73}{1904 \cdot 1,1} = 0,2 \text{ чел.}$$

Принимаем, что электромонтеры оперативной службы не входят в штат ЭТС.

Годовой график Д, ТО, ТР нужно составить для своего варианта с учетом полученных данных. Он будет иметь вид рис. 4.1.

Таблица 4.3

Периодичность диагностирования электродвигателей, работающих в помещениях для содержания КРС, мес.

Количество животных, приходящихся на один установленный электродвигатель	Количество отказов, приходящихся на один электродвигатель, %						
	0–1,2	1,21–1,40	1,41–2,20	2,21–2,80	2,81–3,40	3,41–4,60	4,61 и более
7,5–22,5	5	5	4	4	4	3	2
22,6–27,5	5	5	4	3	3	3	2
27,6–35,0	5	4	4	3	2	2	2
35,1 и более	5	4	3	3	2	2	2

Таблица 4.4

Периодичность диагностирования электродвигателей, работающих в помещениях для содержания телят, телок, нетелей, мес.

Количество животных, приходящихся на один установленный электродвигатель	Количество отказов, приходящихся на один электродвигатель, %						
	0–2,75	2,76–2,85	2,86–3,10	3,20–3,75	3,76–4,50	4,51–6,80	6,81 и более
10–35	5	5	4	4	3	3	2
35,1–39,0	5	5	4	4	3	2	2
39,1 и более	5	4	4	2	2	2	2

Таблица 4.5

Периодичность диагностирования электродвигателей, работающих в помещениях для содержания свиней, мес.

Количество животных, приходящихся на один установленный электродвигатель	Количество отказов, приходящихся на один электродвигатель, %													
	0–0,65	0,66–1,10	1,11–1,25	1,26–1,50	1,51–2,20	2,21–2,75	2,76–2,85	2,86–3,50	3,51–3,85	3,86–5,25	5,26–5,90	5,91–8,10	8,11–9,76	9,77 и более
2–8	6	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3
8,1–15	6	5	5	5	4	4	3	4	3	3	3	3	3	2
15,1–25	6	5	5	5	4	4	3	3	3	2	2	2	2	2
25,1–45	6	5	5	5	4	3	3	2	2	2	2	2	2	2
45,1–55	6	5	5	5	4	3	3	2	2	2	2	2	1	1
55,1–65	6	5	5	3	3	3	2	2	2	2	2	2	1	1
65,1–75	5	5	5	3	3	3	2	2	2	2	1	1	1	1
75,1–85	5	5	3	3	3	3	2	2	2	2	1	1	1	1
85,1 и более	5	5	3	3	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1

Таблица 4.6

Периодичность диагностирования электродвигателей, работающих в помещениях для содержания птицы, мес.

Количество животных, приходящихся на один установленный электродвигатель	Количество отказов, приходящихся на один электродвигатель, %										
	0-0,50	0,51-1,00	1,01-1,05	1,06-1,10	1,11-1,25	1,26-1,60	1,61-2,70	2,71-3,50	3,51-5,20	5,21-7,30	7,31 и более
45-84	5	5	5	4	4	3	3	2	2	2	1
85-114	5	5	5	4	4	3	3	2	2	1	1
115-177	5	5	5	4	4	3	2	2	2	1	1
178-204	5	5	5	4	4	3	2	2	1	1	1
205-219	5	4	4	3	4	3	2	2	1	1	1
220-234	5	4	3	3	3	3	2	2	1	1	1
235-294	5	4	3	3	2	2	2	2	1	1	1
295 и более	5	3	3	3	2	2	2	2	1	1	1

Таблица 4.7

Периодичность диагностирования электродвигателей, работающих в ремонтных мастерских, кузницах, помещениях пиломрам и др., мес.

Количество рабочих, приходящихся на один установленный электродвигатель	Количество отказов, приходящихся на один электродвигатель, %														
	0-0,70	0,71-0,90	0,91-1,00	1,01-1,20	1,21-1,70	1,71-2,00	2,01-2,70	2,71-4,00	4,01-5,00	5,01-5,40	5,41-6,60	6,61-8,40	8,41-10,00	10,01-11,50	11,51 и более
0,04-0,12	8	8	8	7	7	7	7	6	6	6	6	6	5	5	5
0,13-0,18	8	8	8	7	6	6	6	6	6	5	5	5	5	5	5
0,19-0,22	8	8	8	7	6	6	5	5	5	5	5	5	5	4	4
0,23-0,30	8	8	8	7	6	5	5	5	5	5	4	4	4	4	4
0,31-0,34	8	8	8	7	6	5	5	5	5	5	4	4	4	4	3
0,35-0,36	7	7	7	7	6	5	4	4	4	4	4	4	4	4	3
0,37-0,40	7	6	6	6	6	5	4	4	4	4	4	4	4	4	3
0,41-0,84	7	6	5	5	5	5	4	4	3	3	3	3	3	3	3
0,85-1,14	6	6	5	5	5	5	4	4	3	3	3	3	3	3	3
1,15-1,20	5	5	5	5	5	5	4	4	3	3	3	3	3	3	3
1,21-1,30	5	5	5	5	5	5	4	4	3	3	3	2	2	2	2
1,31-1,70	5	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	2	2	2	2
1,71 и более	5	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2

Таблица 4.8

Периодичность и средние трудоемкости ТО, Д и ТР электродвигателей (ЭД), магнитных пускателей (МП) и автоматических выключателей (АВ)

Тип помещения, условия работы	Место установки ЭД, МП и АВ	Используемое оборудование	Серия ЭД	Периодичность		Средняя трудоемкость (на год эксплуатации), чел.-ч								
				ТО (в периоды между Д)	Д	ТО			Д			ТР (плановая)		
						ЭД	МП	АВ	ЭД	МП	АВ	ЭД	МП	АВ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Сухие и влажные (влажность до 75 %)	Гаражные котельные	Насосы, вентиляторы, станки, теплогенераторы	А02 4А, Д	4	8	0,75	0,39	0,38	1,09	0,59	0,53	0,95	0,28	0,34
				4	8	0,75	0,39	0,39	1,09	0,59	0,53	0,88	0,28	0,34
Сырые (влажность превышает 75 %)	Цеха переработки овощей; цеха переработки продуктов животноводства, обработки зерна	Агрегаты для сортировки, транспортеры; костедробильные машины, гомогенизаторы, маслоизготовители, сепараторы и др.	А02 4А, Д	3	6	1,0	0,52	0,50	1,45	0,78	0,70	1,30	0,32	0,42
				3	6	1,0	0,52	0,50	1,45	0,78	0,70	1,15	0,32	0,42
Пыльные (влажность до 98 %, $t$ от $-40$ до $+45$ °С; запыленность до $240 \text{ г/м}^3$ )	Мельницы, элеваторы, комбикормовые заводы, зерносклады	Транспортеры, вентиляторы, зерноочистительные агрегаты, зерносушилки, смесители, зернодробилки, молотилки, прессы	А02 44А, Д	2	4	1,5	0,78	0,75	2,18	1,17	1,05	1,48	0,41	0,46
				3	6	1,0	0,52	0,50	1,45	0,78	0,70	1,17	0,41	0,46

Продолжение таблицы 4.8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Особо сырые (влажность превышает 98 %)	Сараи, неотапливаемые склады, силосные и сенажные башни	Транспортеры, загрузчики и разгрузчики башен, линии обработки овощей, воздухонагревательное оборудование, электростригальные цехи, установки профилактической обработки овец	A02	2	4	1,5	0,78	0,75	2,18	1,17	1,05	1,52	0,6	0,71
			4А, Д	3	6	1,0	0,52	0,50	1,45	0,78	0,70	1,20	0,6	0,71
Особо сырые (влажность превышает 98 %)	Моечные отделения цехов по переработке плодов и овощей, парники, теплицы	Машины для мойки плодов, отмывки семян	A02	2	4	1,5	0,78	0,75	2,18	1,17	1,05	1,20	0,6	0,71
			4А, Д	3	6	1,0	0,52	0,50	1,45	0,78	0,70	0,98	0,6	0,71
Особо сырые с химически активной средой	Склады минеральных удобрений; помещения для протравливания семян	Дозаторы, транспортеры, насосы, вентиляторы	A02	2	4	1,5	0,78	0,75	2,18	1,17	1,05	1,52	0,67	0,76
			4А, Д A02 Сх	3	6	1,0	0,52	0,50	1,45	0,78	0,70	1,16	0,67	0,76
На открытом воздухе, под навесом		Протравители семян, транспортеры	A02	2	4	1,5	0,78	0,75	2,18	1,17	1,05	1,76	0,77	0,80
			4А, Д A02 Сх	3	6	1,0	0,52	0,50	1,45	0,78	0,70	1,35	0,77	0,80

Таблица 4.9

Периодичность и средние трудоемкости ТО, Д и ТР погружных электродвигателей, генераторов передвижных электростанций, сварочных генераторов, преобразователей и трансформаторов, электрокалориферов, электроводонагревателей и парогенераторов

Условия и режим работы	Периодичность, мес.		Средняя трудоемкость (на год эксплуатации), чел.-ч		
	ТО	Д	ТО	Д	ТР
<b>Погружной электродвигатель мощностью 12–32 кВт*</b>					
Наработка в сутки					
до 5 ч	1	6	4	1,4	1,9
8–10 ч	1	4	3,6	2,1	2,4
более 16 ч	1	3	3,2	2,8	5,3
<b>Генератор передвижной электростанции мощностью 30–60 кВА**</b>					
При работе в помещении при наработке в сутки					
до 8 ч	3	6	2,8	4,2	5,0
8–16 ч	2	4	4,2	6,3	7,3
более 16 ч	1,5	3	5,6	8,4	12,5
При работе на открытом воздухе при наработке в сутки					
до 8 ч	2	4	4,2	6,3	15,0
8–16 ч	1,5	3	5,6	8,4	19,0
более 16 ч	1	2	8,4	12,6	24,6
<b>Генератор сварочный с номинальным сварочным током 300 А</b>					
При работе					
в помещении	3	6			
на открытом воздухе	2	4	3,0	3,8	7,4
			4,5	5,7	10,2

Условия и режим работы	Периодичность, мес.		Средняя трудоемкость (на год эксплуатации), чел.-ч		
	ТО	Д	ТО	Д	ТР
Преобразователь сварочный с номинальным сварочным током 300 А					
При работе в помещении на открытом воздухе	3	6	3,6	5,0	8,5
	2	4	5,4	7,5	12,1
Трансформатор сварочный с номинальным сварочным током 300 А					
При работе в помещении на открытом воздухе	3	6	0,8	1,1	3,2
	2	4	1,2	1,65	4,3
Электрокалорифер мощностью 40 кВт					
Наработка в сутки до 12 ч более 12 ч	2	6	3,04	3,1	5,5
	2	4	2,28	4,65	5,5
Электроводонагреватель элементный емкостной					
	2	6	1,6	1,4	7,9
Электроводонагреватель элементный проточный					
	2	6	2,0	1,5	5,5
Электроводонагреватель элементный электродный					
	2	4	4,5	5,7	10,5
Котел электродный паровой					
	2	4	9,0	10,5	7,5

Таблица 4.10

Периодичность технического обслуживания  
и текущего ремонта электрооборудования 3-й группы

Электрооборудование	Периодичность, мес.	
	ТО	ТР
1. Средства автоматизации при работе: в сухих и влажных помещениях; в сырых и пыльных помещениях; в особо сырых помещениях и с химически активной средой; на открытом воздухе и под навесом	3	12
	2	9
	1	6
	1	6
2. Силовые сборки и щитки освещения, установленные в помещениях: сухих, влажных, пыльных и сырых; особо сырых и с химически активной средой	3	24
	1,5	12
3. Светильники, установленные в помещениях: сухих и влажных; сырых и особо сырых; сырых, особо сырых и с химически активной средой	6	36
	4	24
	3	12
4. Электропроводки сети освещения	6	24
5. Электропроводки, выполненные кабелем в трубах, коробах, лотках по стенам, фермам и т. п., проложенные в помещениях: сухих, влажных, пыльных и сырых; особо сырых и с химически активной средой	6	24
	4	18
6. Электропроводки, выполненные изолиро- ванным проводом в трубах, коробах, лотках по стенам, фермам и т. п., проложенные в помещениях: сухих, влажных, пыльных и сырых; особо сырых и с химически активной средой	4	18
	3	12

*Примечание:* при использовании электрооборудования более 8 ч в сутки периодичность умножается на коэффициент 0,6.



Таблица 4.11

Периодичность технического обслуживания и текущего ремонта установок культурно-бытового назначения

Наименование оборудования	Периодичность	
	ТО	ТР
Установки наружного освещения	7 дн. (по необходимости)	6 мес.
Стационарные электроплиты	12 мес.	6 мес.
Электроводонагреватели	3 мес.	6 мес.
Вводно-распределительные устройства, щитки	6 мес.	12 мес.
Осветительные установки	4 мес.	12 мес.
Электропроводка открытая	3 мес.	6 мес.
Электропроводка скрытая	6 мес.	6 мес.
Электропроводка в трубах	6 мес.	6 мес.

Таблица 4.12

Средняя трудоемкость текущего ремонта электродвигателей, магнитных пускателей и автоматов, установленных в животноводческих помещениях, ремонтных мастерских, кузницах и т. д.

Назначение помещения	Средняя трудоемкость текущего ремонта на год эксплуатации, чел.-ч		
	одного электродвигателя	одного магнитного пускателя	одного автомата
Содержание крупного рогатого скота	1,6	0,77	0,8
Содержание телят, телок, нетелей	1,3	0,6	0,71
Содержание свиней	1,5	0,67	0,76
Содержание птицы	1,7	0,77	0,8
Ремонтные мастерские, кузницы, пилорамы и др.	1,2	0,6	0,71

Таблица 4.13

Трудоемкость технического обслуживания  
и текущего ремонта силовых сборок

Силовые сборки с вводным рубильником с числом групп	Трудоемкость, чел.-ч	
	ТО	ТР
4	0,36	5,4
5	0,42	6,3
6	0,48	7,2
7	0,54	8,1
8	0,60	9,0
10	0,70	10,5
12	0,80	12,0

Таблица 4.14

Трудоемкость технического обслуживания  
и текущего ремонта осветительных щитков

Щитки осветительные с числом групп	Трудоемкость, чел.-ч	
	ТО	ТР
2	0,20	3,0
3	0,24	3,6
4	0,28	4,2
5	0,32	4,8
6	0,36	5,4
7	0,40	6,0
8	0,44	6,6
9	0,48	7,2
10	0,52	7,8
12	0,60	9,0
14	0,68	10,2
16	0,76	11,4

Таблица 4.15

Трудоемкость технического обслуживания и ремонта средств автоматизации

Наименование средств автоматизации	Трудоемкость, чел.-ч	
	ТО	ТР
<b>1. Средства автоматизации для контроля и регулирования температуры</b>		
Сигнализаторы температуры:		
дилатометрические ТР, ТУДЭ	0,4	1,0
биметаллические РБ	0,8	3,5
электронные	1,4	4,0
Регуляторы температуры прямого действия		
РПД, РПДП	0,9	2,3
Температурное реле ТР-200	0,4	1,0
Датчик температуры ДТКМ-3Б	0,5	1,3
Датчик-реле температуры ТР-1-0,2-2	0,4	1,0
Терморегулирующий вентиль ТРВ-7М	0,8	2,2
Терморегулятор полупроводниковый двухпозиционный ПТР-2	1,0	2,6
Терморегулятор трехпозиционный ПТР-3	1,1	2,9
Термопара ТПЛ, ТПР, ТХА, ТХК, ТПС	0,4	–
Термостат Т-631-А	0,4	1,0
<b>2. Средства автоматизации для измерения и регулирования давления и разрежения</b>		
Датчик реле напора ДН, тяги ДТ, давления ДД, перепада напора ДПН и напора и тяги ДТН	0,6	1,5
Сигнализатор падения давления мембранный СПД	0,7	1,8
Регулятор давления РД-12	0,7	1,8
Реле давления РД-1	0,2	0,6
<b>3. Средства автоматизации для контроля и измерения уровня жидких и сыпучих сред</b>		
Измерительная диафрагма ДКН-10-250	0,2	0,4
Дроссель регулирующий Г77	0,5	1,0
Датчик уровня мембранный МДУ-3М	0,2	0,6
Исполнительный механизм МЭП-10/100	1,0	3,0
Исполнительный механизм ПР-1М	1,2	3,3
Электронный сигнализатор уровня ЭСУ-1М	0,7	1,8
Уровнемеры поплавковые УДУ-5М, УДУ-5П	1,0	5,0

Наименование средств автоматизации	Трудоемкость, чел.-ч	
	ТО	ТР
<b>4. Средства автоматизации для контроля состава и свойств веществ</b>		
Мост электронный с записью на дисковой диаграмме ЭП 120	1,3	3,2
Мост уравновешенный автоматический ЭМВ-2	1,2	3,0
<b>5. Электрическая аппаратура</b>		
Реле времени:		
электропневматические	0,6	1,5
электронные	1,0	5,0
моторные	0,8	4,0
Фотодатчик ФД-А 3Ф	0,3	–
Реле промежуточные РПТ-100,ПЭ,ЭП,1В, РПК	0,2	0,8
Реле импульсной сигнализации РИС-33М	0,4	1,0
Шаговый искатель	0,3	1,0
Ключ управления КСВФ-1А	0,4	–
Электромагнит МИС-400	0,4	3,4
Реле токовое РТ-40/20	0,4	1,0
Реле максимального напряжения ЭМ-520	0,4	1,0

Таблица 4.16

Трудоемкость технического обслуживания  
и текущего ремонта светотехнического оборудования

Наименование светотехнического оборудования	Трудоемкость, чел.-ч	
	ТО	ТР
<b>1. Светильники для сухих и влажных помещений:</b>		
с лампами накаливания;	0,10	0,25
с газоразрядными лампами	0,13	0,30
<b>2. Светильники и облучатели для сырых, особо сырых помещений, с химически активной средой:</b>		
с лампами накаливания;	0,15	0,40
с газоразрядными лампами	0,20	0,50
<b>3. Облучатели тепличные с газоразрядными лампами высокого давления</b>	0,50	1,00

Таблица 4.17

Трудоемкость технического обслуживания  
и текущего ремонта установок культурно-бытового назначения

Наименование оборудования	Вид работ	Трудоемкость, чел.-ч
Установки наружного освещения*	Объезд	0,03 на 1 км распределительной сети
	Обход	0,15
	Замена электролампы с подъемом на автовышке	0,17 на 1 лампу
	Чистка	0,34 на 1 светильник 0,44 на 1 прожектор
	Текущий ремонт	0,52 на 1 светильник с лампами накаливания 0,66 на 1 прожектор или светильник с люминисцентными лампами
Полная замена установки		0,72 на 1 светильник 0,63 на 1 прожектор
Стационарные электроплиты	ТО	0,7
	ТР	0,9
Вводно-распределительные устройства и щитки**	ТО	1,2 на 1 вводно-распределительное устройство
	ТР	0,55 на 1 щиток
		1,8 на 1 вводно-распределительное устройство 0,85 на 1 щиток
Осветительные установки	ТО	0,26 на светильник 0,35 на 1 прожектор
	Замена ламп	0,1 на 1 лампу
	ТР	0,45 на 1 светильник 0,52 на 1 прожектор

Наименование оборудования	Вид работ	Трудоемкость, чел.-ч
Электропроводки	ТО	9,0 на 100 лестничных клеток и 2,0 на каждые 1000 м <sup>2</sup> площади осматриваемых помещений

\* При техническом обслуживании и текущем ремонте установок наружного освещения к нормам следует применять поправочные коэффициенты при производстве работ:

- в зимних условиях на открытом воздухе – 0,09;
- в труднодоступных местах (сады, огороды и т. п.) – 1,2;
- вблизи действующих линий электропередачи, ответственных линий связи, а также вблизи оборудования, находящегося под высоким напряжением, что связано с выполнением дополнительных мероприятий по технике безопасности – 1,25.

\*\* В приведенных трудоемкостях на техническое обслуживание и текущий ремонт вводно-распределительных устройств и щитков не учитываются затраты времени на обслуживание и ремонт коммутационной и защитной аппаратуры и приборов измерений и учета.

Таблица 4.18

Трудоемкость технического обслуживания  
и ремонта внутренних электропроводок

Электропроводки	Сечение, мм <sup>2</sup>	Вид прокладки	Трудоемкость, чел.-ч	
			ТО	ТР
1. Кабельные электропроводки в сетях напряжением до 1 кВ протяженностью 1000 м Силовые кабели ААБ, ААБГ, (3-4 жильные) и др.	4–10	В проходных каналах	1,2	18
	16–50		1,4	21
	70–95		1,6	24
	4–10	В непроходных каналах и по стенам на высоте до 2,5 м	1,6	24
	16–50		1,8	27
	70–95		2,0	30
	4–10	По стенам на высоте более 2,5 м	1,8	27
	16–50		2,2	33
	70–95		2,4	36

Продолжение таблицы 4.18

Электропроводки	Сечение, мм <sup>2</sup>	Вид прокладки	Трудоемкость, чел.-ч	
			ТО	ТР
Контрольные кабели КСРГ	4-14*1,5	В проходных каналах	1,2	18
	19-30*1,5		1,4	21
	37*1,5		1,6	24
	4-8*2,5		1,2	18
	10-30*2,5		1,4	21
	37*2,5		1,6	24
	4-14*1,5	В непроходных каналах и по сте- нам на высоте до 2,5 м	1,6	24
	19-30*1,5		1,8	27
	37*1,5		2,0	30
	4-8*2,5		1,6	24
	10-30*2,5		1,8	27
	37*2,5		2,0	30
	4-14*1,5	По стенам на высоте более 2,5 м	1,8	27
	19-30*1,5		2,2	33
37*1,5	2,4		36	
4-8*2,5		1,8	27	
10-30*2,5		2,2	33	
37*2,5		2,4	36	
КВРГ	4-24*1,5	В проходных каналах	1,2	18
	4-24*1,5	В непроходных каналах и по сте- нам на высоте до 2,5 м	1,6	24
	4-24*1,5	По стенам на высоте более 2,5 м	1,8	27
	30-37*1,5	В проходных каналах	1,4	21
	4-19*2,5		1,2	18
КНРГ	24-37*2,5	В непроходных каналах и по сте- нам на высоте до 2,5 м	1,4	21
	30-37*1,5		1,8	27
	4-19*2,5		1,6	24
	24-37*2,5		1,8	27

Продолжение таблицы 4.18

Электропроводки	Сечение, мм <sup>2</sup>	Вид прокладки	Трудоёмкость, чел.-ч	
			ТО	ТР
КАБГ	30–37*1,5	По стенам на	2,2	33
	4–19*2,5	высоте более	2,4	36
	24–37*2,5	2,5 м	2,2	33
	7–8*1,5	В проходных	1,2	18
		каналах		
	7–8*1,5	В непроходных	1,6	24
КАБ		каналах и по сте-		
		нам на высоте до		
		2,5 м		
	7–8*1,5	По стенам на	1,8	27
		высоте более		
		2,5 м		
	10–37*1,5	В проходных	1,4	21
	5–8*2,5	каналах	1,2	18
	10–24*2,5		1,4	21
	30–37*2,5		1,6	24
	10–37*1,5	В непроходных	1,8	27
	5–8*2,5	каналах и по сте-	1,6	24
	10–24*2,5	нам на высоте до	1,8	27
	30–37*1,5	2,5 м	2,0	30
10–37*1,5	По стенам на	2,2	33	
5–8*2,5	высоте более	1,8	27	
10–24*2,5	2,5 м	2,2	33	
30–37*2,5		2,4	36	
2. Электропроводки, выполненные прово- дами в сетях напря- жением до 1 кВ про- тяженностью 1000 м: Провода на роликах	2,5	По деревянным	3,4	51
	6	основаниям	3,8	57
	2,5	По различным	5,6	84
	6	основаниям, кроме деревянных	6,0	90



Электропроводки	Сечение, мм <sup>2</sup>	Вид прокладки	Трудоемкость, чел.-ч	
			ТО	ТР
Провода на закрепках с роликами	2,5	2 в линии	8,0	100
	6		9,0	135
	2,5	3 в линии	10,0	150
	6		12,0	180
Провода на крюках с изоляторами	16	По деревянным основаниям	3,6	54
	35		4,4	6
	70		5,4	81
	120		6,4	96
	6	По различным основаниям кроме деревянных	4,2	63
	10		4,8	72
	16		4,8	72
	35		5,2	78
	70		6,8	102
	120		7,6	114
Провода на якорях и полуякорях с изоляторами	2,5	По деревянным основаниям	6,8	102
	6		8,0	120
	2,5	2 в линию	10,0	150
	6	То же	12,0	180
	2,5	3 в линию	9,0	135
	6	По бетонным основаниям	10,0	150
	2,5	2 в линию	15,0	225
	6	То же	17,0	255
	2,5	3 в линию	2,4	36
	6	Поперек ферм	4,8	72
	2,5	2 в линию	3,8	57
	6	То же	4,4	66
	2,5	3 в линию	7,4	111
	6	Вдоль ферм	8,0	120
Провода тросовые марки АТРГ 3- и 4-жильные	6	2 в линию	4,5	45
	6			
Кабель марок ВРГ, НРГ, АВРГ, АНРГ на тросе	2,5		4,2	66
	6		4,6	69
	10		5,0	75

Электропроводки	Сечение, мм <sup>2</sup>	Вид прокладки	Трудоёмкость, чел.-ч			
			ТО	ТР		
Провод изолированный	16	На лотках или в коробах	0,9	13,5		
	35		1,1	16,5		
	70		1,3	19,5		
	110		2,0	30		
Кабели марок СРГ,АСРГ,ВРГ,НРГ или АНРГ	2,5	С креплениями накладными скобами	13,0	195		
	6		14,0	210		
	10		14,4	216		
Шнур осветительный АППВ,ППВ,АПН	2,5	При открытой проводке	4,8	72		
	6		5,2	78		
	2,5	При скрытой проводке	3,6	54		
	6		4,0	60		
Провод одножильный или многожильный в общей оплетке	2,5	Проводка в стальных трубах	1,2	18		
	6		1,4	21		
	10–16		1,8	27		
	35		2,6	39		
	70		2,8	42		
	120		3,2	48		
	Провод одножильный или многожильный 2 в линию		2,5	Проводка в стальных трубах	1,7	25,6
			6		2,0	30
10–16		3,2	48			
35		3,8	57			
70		4,4	66			
Провод одножильный 3 в линию	120	Проводка в стальных трубах	4,8	72		
	2,5		2,2	33		
	6		2,6	39		
	10–16		3,8	57		
	35		4,8	72		
	70		5,8	87		
Провод одножильный 4 в линию	120	Проводка в стальных трубах	6,6	99		
	2,5		2,8	42		
	6		3,2	48		
	10–16		4,8	72		
	35		6,0	90		
	70		7,2	108		
	120	8,4	126			

Таблица 4.19

## Исходные данные для расчета

№ варианта	Вид производства	Кол-во рабочих или животных	Электротехническое оборудование								
			Электродвигатели			Пускозащитная аппаратура		Водонагреватель типа САОС, 400л, шт.	Регулятор температуры РПД, шт.	Электрокалориферы мощностью 40 кВт	
			Серия ЭД	Кол-во ЭД, шт.	Кол-во отказавших ЭД, шт.	Магнитные пускатели, шт.	Автоматические выключатели, шт.			Кол-во, шт.	Наработка в сут.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Ферма по откорму КРС	1200 гол.	4А	62	3	50	46	4	7	4	4
2	Птицефабрика	1500 гол.	АО2	40	1	36	24	3	36	26	14
3	Котельная	8 чел.	АО2	16	0	16	14	2	21	4	1
4	Комбикормовой завод	24 чел.	4А	34	1	22	22	4	31	22	6
5	Свинокомплекс	1000 гол.	АО2	65	2	48	24	2	14	21	4
6	Ремонтная мастерская	16 чел.	4А	40	0	34	12	1	1	4	6
7	Телятник	900 гол.	4А	55	2	33	23	4	15	23	5
8	Пилорама	25 чел.	4А	30	1	16	13	–	–	1	2
9	Станция тех. обслуживания	20 чел.	АО2	18	0	13	13	1	4	5	8
10	Коровник	450 гол.	4А	52	2	35	25	4	13	7	4
11	Птицефабрика	800 гол.	АО2	62	1	44	32	3	20	25	5
12	Свинарник	500 гол.	4А	55	2	35	25	4	13	12	5
13	Склад мин. удобрений	6 чел.	4А	34	0	24	22	–	11	4	4
14	Ферма по откорму КРС	1000 гол.	АО2	50	2	46	24	4	4	4	3
15	Телятник	800 гол.	4А	52	2	30	28	4	3	14	6

№ варианта	Наличие электрооборудования									Средняя удаленность электрооборудования, км
	Светильники, шт.		Электропроводка			Силовые сборки, шт.		Осветительные щитки, шт.		
	с ЛН	с ЛЛ	Вид, способ прокладки	Сечение, мм <sup>2</sup>	Протяженность, м	Количество	Число групп	Количество	Число групп	
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	84	120	Кабель АВРГ на тресе	10	4200	4	8	6	6	2,8
2	10	180	Кабель АСРГ на скобах	6	2300	2	4	4	4	1,1
3	14	8	Провод в трубе 2 в линию	2,5	900	1	12	1	8	12,3
4	16	32	Провод в лотке	16	2200	2	6	2	4	10,0
5	60	40	Провод АТРГ	6	3800	3	8	4	6	3,7
6	10	48	Провод на крюках	6	1800	1	10	2	8	8,0
7	60	10	Кабель ВРГ на скобах	10	2800	2	6	3	4	12,0
8	34	82	Провод в коробах	16	4002	3	8	4	6	6,4
9	22	20	Провод тросовый	6	1900	2	4	1	12	14,0
10	42	60	Кабель АНРГ на скобах	2,5	2600	2	6	2	8	8,2
11	10	90	Провод на роликах	2,5	2700	1	12	2	10	2,0
12	48	24	Кабель СРГ	6	2600	2	4	3	6	3,4
13	18	10	Провод в трубе 4 в линию	2,5	2200	1	4	1	3	14,0
14	60	160	Кабель АВРГ на тресе	10	4200	4	10	5	8	1,6
15	70	80	Кабель СРГ на скобах	6	3400	3	6	4	6	3,0

		ВЫПОЛНЯЕМЫЕ РАБОТЫ																																																								
		1 КВАРТАЛ												2 КВАРТАЛ													3 КВАРТАЛ													4 КВАРТАЛ																		
		НЕДЕЛИ																																																								
№ ЭО		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51						
1		○																																																								
2			○								○																																															
3				△																																																						
4							○	○	□																																																	

Рис. 4.1. Пример составления годового графика диагностирования, технического обслуживания, ремонта электрооборудования:

○ – техническое обслуживание; △ – текущий ремонт; □ – диагностирование

### Контрольные вопросы

1. Объясните цель составления графика диагностирования, технического обслуживания и текущего ремонта.
2. Какова последовательность составления графика диагностирования, технического обслуживания и текущего ремонта?
3. Как осуществляется резервирование рабочего времени в графиках технического обслуживания?
4. Перечислите особенности составления графика для сезонного оборудования.
5. Опишите методику расчета трудоемкости работ.
6. Кто составляет и утверждает график технического обслуживания электрооборудования?
7. Каким образом на графиках технического обслуживания и ремонта электрооборудования обозначают планируемые и выполненные диагностирования, технические обслуживания и текущие ремонты?
8. Какие существуют методики расчета численности персонала электротехнической системы?

Практическая работа № 5  
**РАСЧЕТ ГОДОВОЙ ПОТРЕБНОСТИ ХОЗЯЙСТВА  
В ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

**Цель занятия:** рассчитать годовую потребность хозяйства в электроэнергии.

**Задачи занятия**

1. Определить годовое потребление хозяйства в электроэнергии по вариантам, заданным преподавателем.
2. Научится прогнозу по потреблению электроэнергии хозяйством на последующие годы.

**Теоретические сведения**

Ежегодно многие сельскохозяйственные предприятия подают заявки о потребности в электроэнергии с разбивкой по кварталам в энергоснабжающую организацию. На основании этой заявки хозяйству выделяют лимит, за превышение которого полагаются штрафные санкции (оплата в 10-кратном размере). Существует несколько методов исчисления потребности хозяйства в электроэнергии. Применение того или иного метода определяется конкретными условиями и наличием информации.

Годовое потребление электроэнергии  $W$  подсобным производствам следует рассчитывать по максимальной расчетной нагрузке  $P_p$  и годовому количеству часов ее использования  $T_m$ :

$$W = P_p T_m. \quad (5.1)$$

Годовое число использования максимальной нагрузки зависит от характера (коммунально-бытовая, производственная, смешанная) и величины расчетной нагрузки (табл. 5.1).

Годовое количество часов использования максимума мощности для уличного освещения при горении фонарей на протяжении всей ночи равно 3200 ч.

Потребление электроэнергии на шинах трансформаторной подстанции определяют по установленной мощности  $S_T$  силового трансформатора, коэффициенту динамики роста нагрузки  $K_d$ ,

коэффициенту загрузки трансформатора  $K_3$  и коэффициенту мощности  $\cos\varphi$ :

$$W_T = S_T K_3 K_d T_M \cos\varphi. \quad (5.2)$$

Таблица 5.1

Зависимость годового количества часов использования максимума от нагрузки

Годовое потребление электроэнергии $W$ , тыс. кВт·ч	Расчетная нагрузка $P_p$ , кВт	Годовое количество часов использования максимума $T_m$ , ч, при нагрузке		
		коммунально-бытовой	производственной	смешанной
До 10	До 10	900	1100	1300
10–25	10–20	1200	1500	1700
28–80	20–50	1600	2000	2200
80–200	50–100	2000	2500	2800
200–600	100–250	2350	2700	3200
свыше 600	свыше 250	2600	2800	3400

Для дневного максимума с производственной нагрузкой  $\cos\varphi$  принимают равным 0,7, коммунально-бытовой – 0,9; смешанной – 0,8; для вечернего максимума с производственной нагрузкой – 0,75; коммунально-бытовой – 0,91; смешанной – 0,83.

Потребность хозяйства и его подразделений в электроэнергии может исчисляться по нормам потребления электроэнергии в различных отраслях, процессах производства и на бытовые нужды сельского населения по формуле

$$W = a Q. \quad (5.3)$$

где  $a$  – норма потребления электроэнергии, кВт·ч/у. е. э.;

$Q$  – объем производства, у. е. э.

При отсутствии норм расхода электроэнергии потребность определяется по мощности токоприемника  $P$  и времени его работы за год  $T_T$  или по объему производства  $Q$  и производительности оборудования  $\Pi_m$  с учетом коэффициента загрузки  $K_3$  и коэффициента полезного действия  $\eta$  по формулам

$$W = P T_{\Gamma} K_3 / \eta \text{ или } W = P Q K_3 / (\eta \Pi_M). \quad (5.4)$$

Потребление электроэнергии за любой последующий год определяется по формуле

$$W_t = W(1 + T_{\text{cp}}/100)^{t-1}, \quad (5.5)$$

где  $T_{\text{cp}}$  – среднегодовой темп роста потребления электроэнергии за последние 4–5 лет, %;

$t$  – порядковый номер года, на который ведут расчет потребления электроэнергии.

$$T_{\text{cp}} = \left( \sqrt[n]{\frac{W_n}{W}} - 1 \right) 100, \quad (5.6)$$

где  $n$  – количество лет, за которое имеются данные о потреблении электроэнергии.

На практике прогнозирование потребления электроэнергии на последующие годы определяют по выражению

$$W_k = W_{\text{cp}} \text{И}_{\text{cp}}^{k+1}, \quad (5.7)$$

где  $k$  – порядковый номер года перспективного планирования;

$W_{\text{cp}}$  – среднегодовое потребление электроэнергии, определяемое как среднеарифметическая величина за ряд лет;

$\text{И}_{\text{cp}}$  – среднегодовой индекс потребления электроэнергии.

$$W_{\text{cp}} = \frac{W_1 + W_2 + \dots + W_n}{n}, \quad (5.8)$$

$$\text{И}_{\text{cp}} = \frac{\frac{W_2}{W_1} + \frac{W_3}{W_2} + \dots + \frac{W_n}{W_{n-1}}}{n-1}. \quad (5.9)$$

В зависимости от сложившегося уровня электрификации хозяйства и его производственного направления, потребление электроэнергии по месяцам и кварталам бывает разным. Наиболее точно прогноз потребления электроэнергии в месяц на следующий год определяют по формуле



$$W_{\text{м.п}} = \left( \frac{\sum_{j=1}^m \frac{W_{\text{mi}}}{W_{\text{гj}}}}{m} \right) I_{\text{ср}} W_{\text{п}}, \quad (5.10)$$

где  $W_{\text{mi}}$  – потребление электроэнергии в  $i$ -м месяце, кВт·ч;  
 $W_{\text{гj}}$  – годовое потребление в  $j$ -м году, кВт·ч;  
 $m$  – количество лет;  
 $W_{\text{п}}$  – потребление электроэнергии в последующем году, кВт·ч.

Для хозяйств зернового и животноводческого направления примерные лимиты на потребление электроэнергии по месяцам года приведены в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Лимиты потребления электроэнергии по месяцам, %

№ месяца	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Лимит	10,4	11,2	10,4	9,2	7,1	6,1	6,6	6,5	6,0	6,5	9,8	10,2

### Задание

Определить годовую потребность хозяйства в электроэнергии по установленной мощности трансформаторов, распределить лимит электроэнергии по кварталам, спрогнозировать потребление электроэнергии на последующие пять лет. Исходные данные для расчета взять из табл. 5.3.

### Пример расчета (вариант № 15)

Определим расчетную мощность трансформатора 160 кВА для смешанной нагрузки по формуле

$$P_{\text{п}}^{160} = S_{\text{т}} \cos \varphi K_{\text{д}} K_{\text{з}} = 160 \cdot 0,8 \cdot 0,7 \cdot 0,8 = 71,68 \text{ кВт.}$$

Годовое число часов использования максимальной нагрузки определим по табл. 5.1,  $T_{\text{м}}^{160} = 2800$  ч.

Определим потребление электроэнергии на шинах подстанции по формуле (5.1):

$$W^{160} = 2800 \cdot 71,68 = 200\,704 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

Аналогично рассчитаем потребление электроэнергии на шинах других подстанций:

$$P_p^{250} = 250 \cdot 0,8 \cdot 0,7 \cdot 0,8 = 112 \text{ кВт}; T_M^{250} = 3200 \text{ ч.}$$

$$W^{250} = 112 \cdot 3200 = 358\,400 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

$$P_p^{250} = 250 \cdot 0,7 \cdot 0,7 \cdot 0,8 = 98 \text{ кВт}; T_M^{250} = 2500 \text{ ч.}$$

$$W^{250} = 98 \cdot 2500 = 245\,000 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

Определим годовое потребление электроэнергии в хозяйстве:  
 $W = 2W^{160} + 4W^{250} + 2W^{250} = 2325 \cdot 10^3 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$

Потребление электроэнергии по кварталам в соответствии с табл. 5.2 составит, тыс. кВт·ч:

1 кв	2 кв	3 кв	4 кв
744,00	520,80	444,08	616,13

Определим среднегодовое потребление энергии по формуле (5.8) за годы, указанные в табл.5.3:

$$W_{cp} = (1710 + 1900 + 2000 + 2150) \cdot 10^3 / 4 = 1940 \cdot 10^3 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

Среднегодовой индекс потребления электроэнергии (формула 5.9):

$$I_{cp} = ((1900 / 1710) + (2000 / 1900) + (2150 / 2000)) / 3 = 1,0796.$$

Потребление электроэнергии за пять последующих лет (формула 5.7):

$$W_1 = 2261,1 \text{ тыс. кВт}\cdot\text{ч};$$

$$W_2 = 2441,0 \text{ тыс. кВт}\cdot\text{ч};$$

$$W_3 = 2635,4 \text{ тыс. кВт}\cdot\text{ч};$$

$$W_4 = 2845,2 \text{ тыс. кВт}\cdot\text{ч};$$

$$W_5 = 3071,7 \text{ тыс. кВт}\cdot\text{ч.}$$

Таблица 5.3

Исходные данные для расчета

№ варианта	Установленная мощность трансформаторов, кВА	Вид нагрузки	K <sub>д</sub>	K <sub>з</sub>	Потребление электроэнергии, 10 <sup>3</sup> кВт·ч			
					2017	2016	2015	2014
1	2x160, 4x250	Смешанная	0,69	0,80	1200	1080	1000	890
2	2x160, 2x250 4x250	Комм.-бытовая	0,72	0,83	2500	2250	2100	1800
		Производственная	0,74					

Окончание таблицы 5.3

№ варианта	Установленная мощность трансформаторов, кВА	Вид нагрузки	K <sub>д</sub>	K <sub>з</sub>	Потребление электроэнергии, 10 <sup>3</sup> кВт·ч			
					2017	2016	2015	2014
3	4x250, 4x250	Смешанная	0,73	0,85	3200	2900	2780	2520
4	2x250, 4x250	Комм.-бытовая	0,73	0,79	2300	2100	1980	1800
5	2x160, 4x250 4x250	Смешанная Производственная	0,74 0,71	0,78	4600	4150	3960	3800
6	2x160, 2x250, 4x250	Смешанная Комм.-бытовая	0,71 0,72	0,82	3600	3400	3240	3040
7	1x160, 2x250, 4x250	Производственная	0,73	0,86	2800	2600	2500	2310
8	2x160, 2x250, 4x250	Смешанная Производственная	0,72 0,70	0,84	3400	3300	3150	3000
9	3x160, 4x250	Смешанная	0,75	0,80	1800	1650	1580	1410
10	2x160 2x250, 4x250	Комм.-бытовая Смешанная	0,70 0,73	0,81	1650	1500	1420	1300
11	2x250, 2x250 2x160	Производственная Комм.-бытовая	0,70 0,70	0,82	2100	1900	1800	1680
12	2x250, 2x400	Смешанная	0,75	0,84	3400	3150	3000	2800
13	3x160 4x400, 2x250	Производственная Комм.-бытовая	0,73 0,70	0,85	3800	3550	3350	3140
14	2x160 2x250, 4x160	Комм.-бытовая Смешанная	0,73 0,75	0,83	3150	2950	2810	2700
15	2x160, 4x250 2x250	Смешанная Производственная	0,70 0,70	0,80	2150	2000	1900	1710

## **Контрольные вопросы**

1. Как определить потребление электроэнергии подсобным производством?
2. Как определить потребление электроэнергии на шинах трансформаторной подстанции?
3. Как определить потребность хозяйства и его подразделений в электроэнергии?
4. Как определить потребление электроэнергии при отсутствии норм расхода?
5. Как определить среднегодовые темпы потребления электроэнергии?
6. Как осуществляется прогнозирование потребления электроэнергии на последующие годы?

## Практическая работа № 6 ЭКСПЛУАТАЦИЯ УСТРОЙСТВ ЗАЩИТНОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ (УЗО)

**Цель занятия:** закрепить теоретические знания по эксплуатации устройств защитного отключения, управляемых дифференциальным током.

### Задачи занятия

1. Ознакомиться с методикой определения порога срабатывания УЗО по дифференциальному отключающему току.
2. Изучить методику измерения тока утечки в зоне защиты УЗО.

### Теоретические сведения

При монтаже УЗО необходимо правильно выполнить разделение нулевого рабочего (N) и нулевого защитного (PE) проводников в зоне защиты УЗО.

Нулевой рабочий проводник не должен иметь электрического контакта с заземленными элементами установки (на рис. 6.1, а неверное соединение перечеркнуто).

Необходимо обращать внимание на то, чтобы после УЗО нулевые проводники двух линий имели отдельные клеммы 1 и 2 для нулевого проводника (рис. 6.1, б).

Соединять нулевые проводники двух и более линий нельзя, потому что образуется цепь тока в нулевом проводнике, минуя УЗО. Это приводит к ложному срабатыванию УЗО.

Нельзя подключать нагрузку к одному полюсу УЗО, а второй конец нагрузки соединять с TV-проводником (рис. 6.1, в) или подключать нагрузку к TV-проводнику другого УЗО (рис. 6.1, з).

При использовании УЗО, в розетках не должно быть соединения перемычкой (зачеркнуто на рис. 6.1, д) между клеммами N и PE.

Если 4-полюсное УЗО используется в однофазном режиме (2 полюса), то следует обратить внимание на подключение того полюса, с которого питается цепь проверки исправности УЗО (кнопка «Тест»).

В процессе эксплуатации следует ежемесячно проверять работоспособность (исправность) УЗО нажатием кнопки «Тест».

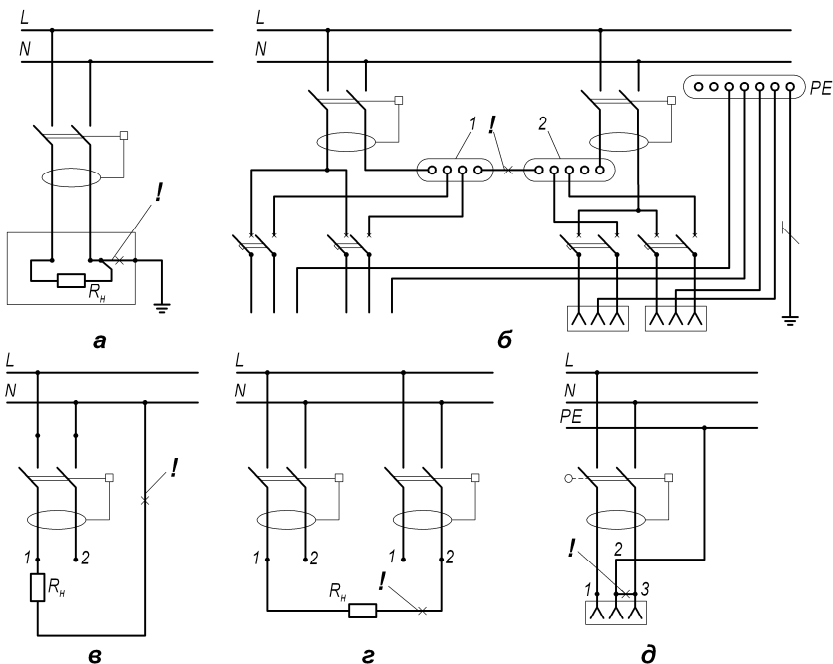


Рис. 6.1. Типичные ошибки при монтаже УЗО:  
 а – соединение заземления с клеммой N нагрузки;  
 б – объединение клеммников двух УЗО;  
 в – подсоединение нагрузки к одной клемме УЗО,  
 а второго провода к N-проводнику;  
 г – присоединение нагрузки к проводнику другого УЗО;  
 д – установка или неснятия переключки (2–3) в розетке

Проверка работы УЗО производится по рекомендациям ТКП 339–2011.

*Метод 1* (рис. 6.2, а). При использовании этого метода регулируемое сопротивление присоединяют между фазным проводником на стороне нагрузки и открытой проводящей частью. Ток увеличивают путем уменьшения сопротивления регулируемого резистора  $R_p$ .

Ток  $I_{\Delta}$ , при котором УЗО срабатывает, не должен быть больше номинального тока срабатывания  $I_{\Delta n}$ .

Примечания:

1. Этот метод может быть использован для систем TN-S, TT и IT. В системе IT может быть соединение точки схемы

с землей при проведении испытания. Это необходимо для срабатывания УЗО.

2. Магазин сопротивлений должен обеспечивать сопротивления от 43 кОм до 750 Ом.

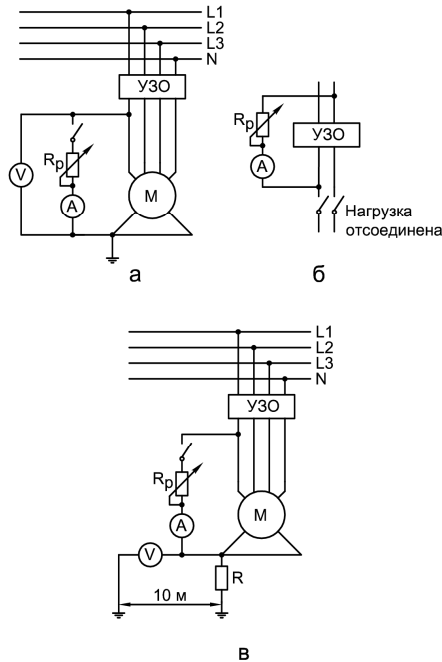


Рис. 6.2. Проверка УЗО по методам 1 (а), 2 (б), 3 (в)

*Метод 2* (рис. 6.2, б). При использовании этого метода регулируемое сопротивление присоединяют между одним проводником (фазным или нулевым рабочим) на стороне питания и другим проводником (нулевым рабочим или фазным) на стороне нагрузки. Ток увеличивают путем уменьшения сопротивления регулируемого резистора.

Ток  $I_{\Delta}$ , при котором УЗО срабатывает, не должен быть больше  $I_{\Delta n}$ . Нагрузка во время испытания должна быть отсоединена.

Примечание. Метод 2 может быть использован для систем TN-S, TT и IT.

*Метод 3* (рис. 6.2, в). При применении этого метода используют вспомогательный электрод. Ток увеличивают путем уменьшения сопротивления регулируемого резистора  $R_p$ . Затем измеряют напряжение  $U$  между открытыми проводящими частями и независимым вспомогательным электродом, а также измеряют ток  $I_{\Delta}$  (он не должен быть больше  $I_{\Delta n}$ ), при котором УЗО срабатывает.

Должно быть выполнено следующее условие:

$$U \leq U_L \frac{I_{\Delta}}{I_{\Delta n}}, \quad (6.1)$$

где  $U_L$  – предельное нормируемое напряжение прикосновения, В.

Примечания:

1. Метод 3 может быть использован только в том случае, если расположение электроустановки позволяет использовать вспомогательный электрод.

2. Метод 3 может быть использован для систем TN-S, TT и IT. В системе IT при проведении испытаний может быть необходимым соединение точки общей системы с землей для обеспечения срабатывания УЗО.

Для контроля работоспособности УЗО в составе электроустановки необходимо иметь следующие приборы:

- миллиамперметр переменного тока (СН-300 мА);
- переменный резистор (магазин сопротивлений) от 0,75 до 43 кОм с определенной мощностью, рассчитанной по формуле

$$P = I_{\Delta n}^2 R, \quad (6.2)$$

где  $P$  – мощность переменного резистора, Вт;

$I_{\Delta n}$  – номинальный отключающий дифференциальный ток испытуемого УЗО, А;

$R$  – максимальное значение сопротивления переменного резистора, Ом.

Методика определения порога срабатывания УЗО по дифференциальному отключающему току имеет следующую последовательность действий:



1. Отключить от установленного в электроустановке УЗО цепь нагрузки с помощью двухполюсного автоматического выключателя. В том случае, если в электроустановке применен однополюсный автоматический выключатель, при выполнении данного измерения необходимо отсоединить и нулевой рабочий проводник (для исключения влияния тока утечки с нулевого рабочего проводника).

2. Подключить с помощью гибких проводников к указанным на схеме клеммам УЗО измерительную цепь с переменным резистором и миллиамперметром. Переменный резистор первоначально должен находиться в положении максимального сопротивления.

3. Плавно снижая сопротивление резистора, зафиксировать показание миллиамперметра в момент срабатывания УЗО.

Зафиксированное значение тока является отключающим дифференциальным током данного экземпляра УЗО, которое согласно требованиям стандартов должно находиться в диапазоне  $(0,5I_{\Delta n} \dots I_{\Delta n})$ .

В том случае, если значение  $I_{\Delta}$  выходит за границы данного диапазона, УЗО подлежит замене.

Методика измерения тока утечки в зоне защиты УЗО.

1. Подключить к УЗО цепь нагрузки с помощью автоматического выключателя.

2. Подключить с помощью гибких проводников к указанным на схеме клеммам УЗО измерительную цепь с переменным резистором (магазином сопротивлений) и миллиамперметром. Переменный резистор первоначально должен находиться в положении максимального сопротивления.

3. Плавно снижая сопротивление переменного резистора, зафиксировать показание миллиамперметра в момент срабатывания УЗО. Вычислить «фоновый» ток утечки электроустановки по формуле

$$I_{ут} = I_{\Delta} - I_{изм} \quad (6.3)$$

где  $I_{ут}$  – ток утечки в зоне защиты УЗО, мА;

$I_{\Delta}$  – значение отключающего тока, используемого для данного измерения УЗО, мА;

$I_{изм}$  – замеренное миллиамперметром значение тока, мА.

Если определенное по данной методике значение тока утечки  $I_{ут}$  в зоне защиты УЗО превышает 1/3 номинального отключающего

дифференциального тока УЗО, то это означает, что в зоне защиты имеется дефектная цепь.

Для обнаружения дефектных цепей электроустановки проводят измерение тока утечки по вышеизложенной методике с последовательным отключением электрических цепей и электроприемников.

После устранения дефекта изоляции, являющегося причиной повышенного тока утечки, необходимо провести повторное измерение тока утечки в электроустановке.

Для обнаружения дефектных цепей электроустановки необходимо измерять токи утечки на отдельных участках или ответвлениях. Наиболее простое устройство для измерения тока утечки состоит из ДТТ и милливольтметра. Устройство включается последовательно с УЗО в исследуемую цепь. На вторичной обмотке ДТТ измеряется напряжение (мВ) и по тарифовочному графику, прилагаемому к прибору, определяется ток утечки (мА). Прибор фирмы Simens типа 5SZ9300 имеет номинальный ток 63А. Для сети напряжением до 500 В диапазон измерения тока утечки составляет 0...30 мА. Вольтметр имеет внутреннее сопротивление более 1 МОм/В.

Выпускаются цифровой прибор «АСТРО\* $I_{\Delta}$ » для измерения дифференциального тока в цепи, а также портативное устройство «АСТРОТЕСТ» для контроля исправности УЗО. Последнее отличается тем, что обеспечивает протекание комбинированного значения тока утечки (10, 30, 100, 300 мА) в течение 200 мс. Реальное время отключения качественных электромеханических УЗО составляет 30...40 мс. Допустимое время отключения УЗО – 300 мс, но реально оно не превышает 200 мс. Применение прибора «АСТРО\*ТЕСТ» позволяет быстро проверить исправность УЗО под действием номинального дифференциального тока утечки и за определенное время. Такая проверка более качественная, чем по схемам рис. 6.2.

Кроме вышеуказанных приборов, существует более сложный, но многофункциональный прибор «АСТРО ПРОФИ». С его помощью можно измерить токи  $I_{\text{дл}}$ , время отключения при номинальном токе утечки и при двух- и пятикратном значении  $I_{\text{дл}}$ , частоту и напряжение сети, сопротивление петли «фаза–ноль», ток КЗ петли «фаза–ноль», малые сопротивления. Прибор имеет

жидкокристаллический индикатор, с помощью порта RS-232 подключается к компьютеру.

Порядок поиска дефектной цепи в электроустановке (срабатывает УЗО и повреждена изоляция в электроустановке).

1. Повторно включить УЗО. Если УЗО включается, то была временная неисправность. Произвести проверку изоляции электроустановки мегаомметром, включая N- и PE-проводники. Если УЗО не включается, то следует отключить все предохранители или автоматические выключатели после УЗО.

2. Снова включить УЗО. Если оно включилось, то поочередно включать отдельные электрические цепи до тех пор, пока не срабатывает УЗО. Следовательно, цепь, вызывающая срабатывание УЗО, имеет дефектную изоляцию. Продолжить локализацию повреждения: отключить поврежденную цепь и снова поочередно включать другие потребители. В отключенной линии измерять, сопротивление всех проводников; найти поврежденную часть электроустановки, отремонтировать ее и снова включить в сеть.

3. Если при включении УЗО по п. 2 оно не включается, то следует отключить проводники на выходе УЗО, включая N-проводник.

4. Снова включить УЗО. Если оно тут же отключается, то УЗО неисправно. Если УЗО не отключается, то повреждена изоляция проводников на выходе УЗО. Следует заменить проводники и снова включить электроустановку в сеть.

УЗО, применяемые в электроустановках, должны иметь сертификат соответствия с указанием срока его действия (обычно выдается на 3 года), технический паспорт, руководство по эксплуатации с указанием технических параметров, гарантийное обязательство.

Результаты контроля УЗО в составе электроустановки заносятся в протокол испытаний УЗО. В протоколе указываются технические параметры применяемого УЗО, результаты проверки правильности установки УЗО в схеме электроустановки, результаты проверки правильности монтажа, проверка работоспособности УЗО.

При выборе проводников следует учитывать возможность их присоединения к УЗО, так как многие импортные УЗО допускают подключение только медных проводников.

Применяемые типы УЗО функционально должны предусматривать возможность проверки работоспособности.

Рекомендации по применению УЗО приведены в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Токи срабатывания УЗО, рекомендуемые ТКП 339–2011

Объект применения	Ток срабатывания $I_{\Delta n}$ , мА
Жилые и общественные здания: розеточные цепи общие цепи	30 <300
Ванные и душевые помещения: отдельная линия совмещенные цепи	10 <30
Строительные площадки: штепсельные розетки	<30
Промышленные объекты: штепсельные розетки общие цепи	30 <500
Мобильные здания	<30
Сельскохозяйственные объекты: штепсельные розетки общие цепи	30 <100
Передвижные электроустановки	<30
Переносной электроприемник	<30
Групповые линии, питающие электроприемники наружной установки	<30
Наружное освещение фасадов, световая реклама	<30
Цепи освещения помещений	<30

#### *Жилые и общественные здания*

Для повышения уровня электробезопасности в жилых зданиях, коттеджах и общественных помещениях жилых домов (прачечные, мастерские и т. п.) требуется для защиты цепей штепсельных розеток и оборудования использовать УЗО с уставкой 30 мА. Для повышения уровня защиты от возгорания при замыкании на заземленные

части на вводе в квартиру, индивидуальный дом и т. п. требуется установка УЗО с током срабатывания до 300 мА [11]. Если в бытовой электроустановке имеются однофазные и трехфазные цепи штепсельных розеток, то необходимо защищать трехфазные цепи четырехполюсными УЗО, а однофазные – двухполюсными УЗО. Приведенные рекомендации относятся и к общественным зданиям, например, объектам коммунальных услуг, школам, административным зданиям и т. д.

#### *Ванные и душевые помещения*

Для сантехнических кабин, ванных и душевых требуется устанавливать УЗО с током срабатывания 10 мА, если на них выделена отдельная линия, и с током срабатывания 30 мА в остальных случаях (например, при использовании одной линии для сантехнической кабины и кухни) (ТКП 339–2011).

#### *Строительные площадки*

Строительные площадки характеризуются значительным числом несчастных случаев, вызванных поражением электрическим током. Это объясняется тем, что электроустановки, применяемые на строительных площадках, являются временными, а эксплуатация электрооборудования ведется в тяжелых условиях. При этом большая часть электрооборудования и ручного электроинструмента используется в наружной среде, не защищенной от влаги, а обслуживающий персонал, как правило, не проходит соответствующей специальной подготовки. Применение переносных кабелей, проложенных непосредственно на земле, обуславливает высокую степень вероятности механического нарушения целостности защитного проводника, что может привести к реальной угрозе жизни людей, прикоснувшихся к открытой проводящей части оборудования, питаемого поврежденным кабелем. В соответствии с требованием ТКП 339–2011 на строительных площадках должны быть установлены в каждом распределительном щите для защиты цепей штепсельных розеток УЗО с током срабатывания до 30 мА.

#### *Промышленные объекты*

Качество электроустановок промышленных предприятий выше, поскольку предполагается постоянный контроль, осуществляемый квалифицированным персоналом и плановые периодические испытания защитных мер электробезопасности. Однако и в этом случае область применения УЗО широкая. В помещениях промышленных

предприятий УЗО с уставкой не более 30 мА используются для защиты цепей штепсельных розеток, к которым подключается ручной электроинструмент. УЗО необходимо применять для защиты стационарного оборудования, установленного в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных [11]. Во всех вводно-распределительных щитах для защиты от пожаров должно быть установлено УЗО с номинальным отключающим дифференциальным током, не превышающим 0,5 А (ТКП 339–2011).

#### *Мобильные здания*

Электрооборудование в мобильных помещениях (мастерские, ремонтные и жилые помещения, медицинские и измерительные лаборатории) должно быть оснащено собственной защитой открытых проводящих частей, не зависящей от исполнения и состояния защиты сети питания. Выполнение этой задачи возлагается на УЗО. В ТКП 339–2011 применительно к зданиям из металла или с металлическим каркасом задается значение уставки УЗО не выше 30 мА.

#### *Сельскохозяйственные объекты*

Опасность несчастных случаев, вызванных электрическим током, в объектах сельского хозяйства чрезвычайно высока. Причиной этого являются тяжелые условия эксплуатации электрооборудования (влажность, агрессивная среда и т. д.) и неквалифицированное обслуживание, нарушения правил электробезопасности. Для всех групповых цепей, питающих штепсельные розетки, должна быть дополнительная защита от прямого прикосновения при помощи УЗО с номинальным отключающим дифференциальным током не более 30 мА. В животноводческих помещениях, где отсутствуют условия, требующие выполнения выравнивания потенциалов, должна быть выполнена защита при помощи УЗО с номинальным отключающим дифференциальным током не менее 100 мА, устанавливаемых на вводном щитке.

### **Контрольные вопросы**

1. Объясните сущность защиты с помощью УЗО.
2. В каких случаях возникает опасность поражения человека или животного электрическим током?
3. Какими величинами напряжения определяется опасность поражения человека и сельскохозяйственных животных?
4. Какие токи опасны для человека?

5. Какие требования предъявляются к УЗО?
6. Перечислите виды УЗО по контролируемому параметру.
7. Назовите достоинства УЗО, управляемых дифференциальным током.
8. Назовите недостатки УЗО, управляемых дифференциальным током.
9. Какие три вида УЗО, управляемых дифференциальным током, вы знаете?
10. Объясните работу удерживающего реле с постоянным магнитом, применяемого в УЗО.
11. Назовите достоинства и недостатки электромеханических УЗО, управляемых дифференциальным током.
12. Что означает тип характеристики УЗО по дифференциальному току АС, А или В?
13. Назовите основные параметры УЗО.
14. Какое время отключения имеют УЗО?
15. По каким параметрам выбирают УЗО?
16. По каким параметрам проверяют выбранное УЗО?
17. Как рассчитывается фоновый ток утечки?
18. Какие номинальные дифференцированные токи имеют УЗО?
19. Сколько полюсов имеют УЗО?
20. Какое соотношение необходимо соблюдать между номинальным током УЗО и номинальным током автоматического выключателя в цепи УЗО?
21. В каких случаях применяют УЗО с дифференциальным током 10 мА?
22. В каких случаях применяют УЗО с дифференциальным током 30 мА?
23. В каких электроустановках рекомендуется использовать УЗО?
24. По какой схеме проверяются УЗО?
25. Какой тип характеристики по дифференциальному току (А, АС или В) имеют УЗО типа ВД1-63?

Практическая работа № 7

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ**

**Цель занятия:** закрепить теоретические знания и освоить методики определения показателей надежности при эксплуатации электрооборудования.

### **Задачи занятия**

1. Ознакомиться с понятием надежности и ее показателями, а также формулами для оценки показателей надежности при различных законах распределения.
2. Ознакомиться с решением типовых примеров по определению показателей надежности.
3. По указанию преподавателя решить 2...3 задачи для самостоятельного решения.

### **Теоретические сведения**

Надежность – свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования.

Для удобства решения задач в теории надежности различают системы и элементы. Система – совокупность совместно действующих элементов с определенными связями, предназначенная для выполнения определенных функций. Элемент – составная часть системы.

Объекты могут находиться в работоспособном и неработоспособном состояниях. Работоспособным называется состояние объекта, при котором он может выполнять возложенные на него функции с параметрами, установленными технической документацией.

Событие, заключающееся в нарушении работоспособности, называется отказом.

Надежность является комплексным свойством, которое в зависимости от назначения объекта и условий его применения может включать в себя безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость, а также определенное сочетание этих свойств.



### *Показатели безотказности неремонтируемых объектов*

Неремонтируемые объекты работают до первого отказа. Различные показатели надежности таких объектов являются характеристиками случайной величины наработки до первого отказа. Для таких объектов обычно используются следующие показатели:  $P(t)$  – вероятность безотказной работы,  $f(t)$  – плотность распределения наработки до отказа,  $\lambda(t)$  – интенсивность отказов,  $T_1$  – наработка до отказа.

Вероятность безотказной работы — вероятность того, что в пределах заданного интервала времени или наработки не возникнет отказ объекта. Это убывающая функция, при  $t \rightarrow \infty P(t) \rightarrow 0$ . Значения этой функции находятся в диапазоне от 0 до 1.

Плотностью распределения наработки до отказа (частотой отказов) называется производная от функции надежности

$$f(t) = \frac{dQ}{dt} = -\frac{dP}{dt}. \quad (7.1)$$

Интенсивность отказов характеризует условную вероятность того, что объект откажет на интервале  $(t + \Delta t)$  при условии, что он был работоспособен в начале интервала. Интенсивность отказов определяется по формуле

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)}. \quad (7.2)$$

Интенсивность отказов связана однозначной зависимостью с вероятностью безотказной работы:

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}. \quad (7.3)$$

Наработкой до первого отказа  $T_1$  называется математическое ожидание наработки объекта до первого отказа. На основании известного соотношения между математическим ожиданием и дифференциальным законом распределения случайной величины устанавливается связь  $T_1$  с вероятностью безотказной работы:

$$T_1 = \int_0^{\infty} P(t) dt. \quad (7.4)$$

Тип распределения случайной величины наработки до отказа зависит от особенностей процесса развития отказа. Для электротехнических изделий, находящихся в эксплуатации, наиболее часто применяются следующие законы распределения: экспоненциальный, нормальный, Вейбулла. Ниже в табл. 7.1 приведены формулы для оценки показателей надежности при различных законах распределения наработки до отказа.

Таблица 7.1

Показатели надежности для различных законов распределения

Тип распределения	Показатели надежности
Экспоненциальное	<p>Вероятность безотказной работы: <math>P(t) = e^{-\lambda t}</math>.</p> <p>Плотность распределения: <math>f(t) = \lambda e^{-\lambda t}</math>.</p> <p>Интенсивность отказов: <math>\lambda(t) = \lambda</math>.</p> <p>Наработка до отказа: <math>T_1 = \frac{1}{\lambda}</math></p>
Вейбулла	<p>Вероятность безотказной работы: <math>P(t) = e^{-\lambda_0 t^b}</math>.</p> <p>Плотность распределения: <math>f(t) = \lambda_0 b t^{(b-1)} e^{-\lambda_0 t^b}</math>.</p> <p>Интенсивность отказов: <math>\lambda(t) = \lambda_0 b t^{(b-1)}</math>.</p> <p>Наработка до отказа: <math>T_1 = \lambda_0^{-\frac{1}{b}} \Gamma\left(1 + \frac{1}{b}\right)</math></p>
Нормальное (усеченное $t > 0$ )	<p>Вероятность безотказной работы:</p> $P(t) = \frac{\Phi\left[\frac{(m_t - t)}{\sigma_t}\right]}{\Phi\left(\frac{m_t}{\sigma_t}\right)}$ <p>Плотность распределения:</p> $f(t) = \frac{e^{-\frac{(m_t - t)^2}{2\sigma_t^2}}}{\sigma_t \sqrt{2\pi} \Phi\left(\frac{m_t}{\sigma_t}\right)}$

Тип распределения	Показатели надежности
	<p>Интенсивность отказов: <math>\lambda(t) = \frac{e^{-\frac{(m-t)^2}{2\sigma_t^2}}}{\sigma_t \sqrt{2\pi} \Phi\left(\frac{m-t}{\sigma_t}\right)}</math>.</p> <p>Наработка до отказа: <math>T_1 = m_t + \frac{\sigma_t e^{-\frac{m_t^2}{2\sigma_t^2}}}{\sqrt{2\pi} \Phi\left(\frac{m_t}{\sigma_t}\right)}</math></p>

*Примечание:*  $\lambda_0$  и  $b$  – параметры распределения Вейбулла;  $\Gamma$  – гамма-функция;  $m_t$  и  $\sigma_t$  – параметры нормального распределения;  $\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int e^{-\frac{t^2}{2}} dt$  – функция Лапласа.

Из трех рассмотренных законов распределения случайной величины наиболее часто используется показательное распределение. Оно применимо для сложных систем, характеризует работу изделия на участке длительной эксплуатации, расчеты ведутся по простым формулам. При оценке надежности используются также нормальный закон распределения на участке ускоренного износа изделий и распределение Вейбулла на участке приработки.

Для описания дискретных случайных величин в теории надежности применяется распределение Пуассона. Согласно закону Пуассона вероятность того, что случайная величина примет вполне определенное значение  $k$ , вычисляется по формуле

$$P_k = \frac{a^k}{k!} e^{-a}, \quad (7.5)$$

где  $a$  – параметр распределения.

### Решение типовых примеров

*Пример 1.* Нарботка до отказа щита управления электрооборудованием подчинена экспоненциальному закону с интенсивностью

отказов  $\lambda(t) = 1,3 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1}$ . Определить количественные характеристики надежности устройства  $P(t)$ ,  $f(t)$  и  $T_1$  в течение года.

Решение. По формуле  $P(t) = e^{-\lambda t}$  определяем вероятность безотказной работы:

$$P(8760) = e^{-1,3 \cdot 10^{-5} \cdot 8760} = 0,89.$$

Плотность распределения случайной величины рассчитываем исходя из выражения (7.2):

$$f(t) = \lambda(t)P(t) = 1,3 \cdot 10^{-5} \cdot 0,89 = 1,16 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1}.$$

Наработка до отказа равна

$$T_1 = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{1,3 \cdot 10^{-5}} = 76\,923 \text{ ч.}$$

*Пример 2.* Предприятие по капитальному ремонту электрических машин гарантирует вероятность безотказной работы электродвигателей после ремонта 0,8 в течение наработки 9000 ч. Определить интенсивность отказов и среднюю наработку до отказа асинхронного короткозамкнутого электродвигателя после ремонта на участке длительной эксплуатации.

Решение. Из формулы  $P(t) = e^{-\lambda t}$  для  $P(t) = 0,8$  и  $t = 9000$  ч имеем уравнение:  $0,8 = e^{-\lambda \cdot 9000}$ , откуда  $\lambda = 2,44 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1}$ .

Определяем наработку до отказа электрических машин при экспоненциальном распределении:

$$T_1 = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{2,44 \cdot 10^{-5}} = 40\,983 \text{ ч.}$$

*Пример 3.* Сравнить между собой наработку до отказа двух неремонтируемых объектов, имеющих функцию надежности, определяемую по формулам

$$P_1(t) = e^{-(2,5 \cdot 10^{3t})} \text{ и } P_2(t) = 0,7e^{-(4,1 \cdot 10^{3t})} + 0,08e^{-(0,22 \cdot 10^{-3t})}.$$

Решение. По общей формуле для определения наработки до отказа  $T_1 = \int_0^{\infty} P(t) dt$  находим:

$$T_{11} = \int_0^{\infty} e^{-2,5 \cdot 10^{-3} \cdot t} dt = \frac{1}{2,5 \cdot 10^{-3}} = 400 \text{ ч};$$

$$T_{12} = \int_0^{\infty} e^{-4,1 \cdot 10^{-3} \cdot t} dt + 0,08 \int_0^{\infty} e^{-0,22 \cdot 10^{-3} \cdot t} dt = \frac{0,7}{4,1 \cdot 10^{-3}} + \frac{0,08}{0,22 \cdot 10^{-3}} = 534 \text{ ч}.$$

Делаем вывод. Нароботка до отказа второго объекта выше, чем первого.

*Пример 4.* Солнечная батарея состоит из 100 функционально необходимых равнонадежных элементов. Определить, какой величины интенсивности отказов должны обладать элементы, чтобы вероятность безотказной работы системы в течение 100 ч была бы не менее 0,9.

Решение. Вероятность безотказной работы системы определим по упрощенной формуле  $P(t) = e^{-(N\lambda_r)} \approx 1 - N\lambda t$ . Подставив численные значения, получаем:  $0,9 = 1 - 100\lambda$ , откуда  $\lambda = 10^{-5} \text{ ч}^{-1}$ .

*Пример 5.* Вероятность безотказной работы машины постоянно-го тока на этапе приработки подчиняется распределению Вейбулла с параметрами  $\lambda_0 = 2 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}$  и  $b = -1,2$ . Определить наработку до отказа машины за время  $t = 400 \text{ ч}$ .

Решение. Воспользовавшись аналитическими выражениями, приведенными в табл. 7.1, определим наработку до отказа:

$$T_1 = \lambda_0^{\frac{1}{b}} \Gamma\left(1 + \frac{1}{b}\right) = (2 \cdot 10^{-4})^{-\frac{1}{1,2}} \Gamma\left(1 + \frac{1}{1,2}\right) = 1126 \text{ ч}.$$

*Пример 6.* Определить, какое из устройств имеет большую вероятность безотказной работы за период работы от 0 до 1000 ч, если плотность распределения случайной величины наработки до отказа для устройств описывается формулами

$$f_1(t) = \lambda e^{-\lambda t} \text{ и } f_2(t) = \frac{1}{r^2} e^{-\frac{t^2}{2r^2}}.$$

При значениях  $\lambda = 10^4 \text{ ч}^{-1}$ ,  $r = 0,5 \cdot 10^4 \text{ ч}$ .

Решение. Первое устройство имеет наработку до отказа, подчиненную экспоненциальному закону распределения, следовательно:

$$P(t) = e^{-\lambda t} = e^{-10^4 \cdot 1000} = 0,905.$$

Наработка второго устройства имеет распределением Вейбулла, поэтому

$$P(t) = e^{-\lambda_0 t^b}; \quad b = 2; \quad \lambda_0 = \frac{1}{2} r^2.$$

$$\text{Откуда } P(t) = e^{-\lambda_0 t^b} = e^{-2 \cdot 10^{-8} \cdot 1000^2} = 0,98.$$

Проведя сравнение, устанавливаем: второе устройство имеет большую вероятность безотказной работы, чем первое.

*Пример 7.* Тиристорный преобразователь имеет параметры усеченного нормального распределения  $m_t = 1200$   $\sigma_t = 480$  ч. Определить значение вероятности безотказной работы и интенсивности отказов для  $t = 200$  ч.

Решение. С учетом нормального распределения наработки до отказа преобразователя имеем

$$\begin{aligned} P(200) &= \frac{\Phi[(m_t - t) / \sigma_t]}{\Phi(m_t / \sigma_t)} = \frac{\Phi[(1200 - 200) / 480]}{\Phi(1200 / 480)} = \\ &= \frac{\Phi[2,08]}{\Phi(2,5)} = \frac{0,981}{0,993} = 0,988. \end{aligned}$$

Интенсивность отказов определим по выражению, приведенному в табл. 7.1 для усеченного нормального распределения:

$$\lambda(t) = \frac{e^{-\frac{(200-1200)^2}{2 \cdot 480^2}}}{480 \sqrt{2 \cdot 3,14} \cdot \Phi[(1200 - 200) / 480]} = 9,68 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1}.$$

*Пример 8.* Средний выход осветительных приборов в ремонтной мастерской за время  $T = 1000$  ч составил 20 шт. Какова вероятность того, что за время 100 ч возникнет 3 отказа?

Решение. Так как отказы независимы друг от друга и равномерно распределены во времени, число отказов за время 100 ч распределяется по закону Пуассона. Математическое ожидание числа отказов за время 100 ч определим следующим образом:

$$\lambda = \frac{n}{t} = \frac{200}{1000} = 0,2; \quad a = \lambda t = 0,2 \cdot 100 = 2.$$

Вероятность возникновения трех отказов

$$P_{k=3} = \frac{a^k}{k!} e^{-a} = \frac{2^3}{1 \cdot 2 \cdot 3} e^{-2} = 0,18.$$

*Пример 9.* На испытаниях находилось  $N = 1000$  осветительных приборов. За время  $t = 3000$  ч отказало  $n = 200$  изделий. За последующие  $\Delta t_i = 200$  ч отказало еще  $\Delta n_i = 100$  изделий. Определить  $P^*(3000)$ ,  $P^*(3200)$ ,  $f^*(3100)$ ,  $\lambda^*(3100)$ .

Решение. Определяем вероятность безотказной работы осветительных приборов для  $t = 3000$  ч и  $t = 3200$  ч:

$$P^*(3000) = \frac{N - n(3000)}{N} = \frac{1000 - 200}{1000} = 0,8;$$

$$P^*(3200) = \frac{1000 - 300}{1000} = 0,7.$$

Плотность распределения

$$f^*(3100) = \frac{\Delta n_i}{N \Delta t_i} = \frac{100}{1000 \cdot 200} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}.$$

Интенсивность отказа осветительных приборов

$$\lambda^*(3100) = \frac{\Delta n_i}{N_{\text{оп}} \Delta t_i} = \frac{100}{(800 + 700) / 2 \cdot 200} = 6,6 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}.$$

*Пример 10.* Проведены ускоренные испытания 500 предохранителей. Число отказов  $\Delta n_i$  предохранителей фиксировалось через каждые  $\Delta t_i = 100$  ч. Ниже приведены данные об отказах:

$\Delta t_i, \text{ч}$	0...100	100...200	200...300	300...400	400...500
$\Delta n_i$	30	26	20	14	12

Необходимо определить  $P^*(500)$ ,  $\lambda^*(450)$  и  $T_1^*$ .

Решение. Вероятность безотказной работы определяем следующим образом:

$$P^*(500) = \frac{n - \sum \Delta n_i}{n} = \frac{500 - (30 + 26 + 20 + 14 + 12)}{500} = 0,796.$$

Рассчитаем интенсивность отказов:

$$\lambda^*(450) = \frac{\Delta n_5}{N(N_i + N_{i+1}) / 2 \cdot \Delta t} = \frac{12}{(410 + 398) / 2 \cdot 100} = 2,97 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}.$$

Общее число отказавших элементов  $N_0 = 102$ , поэтому при расчете  $T_1^*$  предположим, что на испытаниях находились только элементы, которые отказали.

$$T_1^* = \frac{30 \cdot 50 + 26 \cdot 150 + 20 \cdot 250 + 14 \cdot 350 + 12 \cdot 450}{102} = 203 \text{ ч.}$$

*Пример 11.* Прибор состоит из четырех блоков. Отказ любого из них приводит к отказу прибора. Первый блок отказал девять раз в течение 21 000 ч, второй – семь раз в течение 16 000 ч, третий – два раза и четвертый – восемь раз в течение 12 000 ч работы. Определить наработку на отказ, если справедлив экспоненциальный закон надежности.

Решение. Определяем суммарную наработку прибора:

$$t = 21\,000 + 16\,000 + 12\,000 + 12\,000 = 61\,000 \text{ ч.}$$

Определяем число отказов за суммарное время наработки:

$$r(t) = 9 + 7 + 2 + 8 = 26.$$

Находим среднюю наработку на отказ:

$$T^* = \frac{t}{r(t)} = \frac{61\,000}{26} = 2346 \text{ ч.}$$

*Пример 12.* При эксплуатации электрооборудования животноводческой фермы зарегистрировано 20 отказов, из них: 8 – электродвигателей, 2 – магнитных пускателей, 4 – реле, 6 – электронагревательных приборов. На ремонт затрачивалось: электродвигателей – 1,5 ч, магнитных пускателей – 25 мин, реле – 10 мин, электронагревателей – 20 мин. Найти среднее время восстановления.

Решение. Определяем вес отказавших элементов по группам по выражению  $m_i = \frac{n_i}{N_0}$ . Тогда  $m_1 = \frac{n_1}{N_0} = \frac{8}{20} = 0,4$ ;  $m_2 = \frac{n_2}{N_0} = \frac{2}{20} = 0,1$ ;

$$m_3 = \frac{n_3}{N_0} = \frac{4}{20} = 0,2; \quad m_4 = \frac{n_4}{N_0} = \frac{6}{20} = 0,3.$$



Находим среднее время восстановления:

$$T_B^* = \sum_{i=1}^4 t_{Bi} m_i = 90 \cdot 0,4 + 25 \cdot 0,1 + 10 \cdot 0,2 + 20 \cdot 0,3 = 46,5 \text{ мин.}$$

*Пример 13.* В результате наблюдения за работой 1000 электродвигателей в течение 10 000 ч было получено значение  $\lambda = 0,8 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}$ . Закон распределения отказов экспоненциальный, среднее время ремонта электродвигателя равно 4,85 ч. Определить вероятность безотказной работы, наработку до первого отказа, коэффициент готовности и коэффициент оперативной готовности.

Решение. Определяем вероятность безотказной работы электродвигателей по выражению для экспоненциального закона (табл. 7.1):

$$P(t) = e^{-\lambda t} = e^{-0,8 \cdot 10^{-4} \cdot 10^4} = 0,45.$$

Согласно табл. 7.1 наработка до отказа составит

$$T_1 = \frac{1}{0,8 \cdot 10^{-4}} = 1250 \text{ ч.}$$

Рассчитаем коэффициент готовности по выражению:

$$k_{\Gamma} = \frac{T_1}{T_1 + T_B} = \frac{1250}{1250 + 4,85} = 0,996.$$

Коэффициент оперативной готовности определяем по формуле

$$k_{\text{ог}} = P(t) k_{\Gamma} = 0,45 \cdot 0,996 = 0,448.$$

*Пример 14.* Навозоуборочный транспортер имеет два электродвигателя. Суммарная наработка транспортера за год составляет 200 ч. Эксплуатационные мероприятия включают в себя один текущий ремонт продолжительностью 3 ч на каждый электродвигатель и семь технических обслуживаний по 0,5 ч на каждый электродвигатель. Определить коэффициент технического использования электродвигателей навозоуборочного транспортера.

Решение. Определим коэффициент технического использования транспортера:

$$k_{\text{т.и.}} = \frac{T_{\Sigma}}{T_{\Sigma} + T_{\rho\Sigma} + T_{\text{т.ос}}} = \frac{200}{200 + 3 \cdot 2 + 7 \cdot 0,5 \cdot 2} = 0,938.$$

## Задачи для самостоятельного решения

1. Определить, какой должна быть наработка до отказа электрической машины, имеющей показательный закон надежности, чтобы вероятность безотказной работы была 0,9 в течение наработки 10 000 ч.

2. Сравнить наработку до отказа двух неремонтируемых объектов, имеющих вероятность безотказной работы, определяемую по формулам  $P_i(t) = e^{-3,7 \cdot 10^{-4} t}$  и  $P_i(t) = 1,5 \cdot e^{-10 t} + 1,1 \cdot e^{-0,15 \cdot 10^{-3} t}$ .

3. Поток отказов сложной системы автоматического управления является простейшим с параметром  $\lambda(t) = 10^{-2} t^{-1}$ . Определить вероятность того, что в интервале времени 0...100 ч в системе не произойдет отказа.

4. Интенсивность отказов блока питания  $\lambda(t) = vt$ . Определить плотность распределения наработки до отказа.

5. Пускорегулирующая аппаратура электромеханического преобразователя состоит из пяти элементов, причем отказ каждого из них ведет к отказу всей системы. Известно, что первый элемент отказал 34 раза в течение 9520 ч работы, второй – 24 раза в течение 9600 ч работы, остальные за 2100 ч работы – 4, 6 и 5 раз соответственно. Необходимо определить наработку на отказ системы при экспоненциальном законе надежности.

6. Приемный пункт по ремонту электробытовой аппаратуры получает в среднем 5 заявок на ремонт в смену (8 ч). Какова вероятность того, что за 1 ч он получит 2 заявки?

7. На основании обработки статистических данных установлено, что надежность асинхронного электродвигателя на этапе приработки (0...4000 ч) описывается законом Вейбулла с параметрами  $b = 0,22$  и  $\lambda = 1,75 \cdot 10^{-2} t^{-1}$ , а на этапе нормальной эксплуатации от 4000 до 20 000 ч – экспоненциальным распределением ( $\lambda = 1,83 \cdot 10^{-5} t^{-1}$ ). Определить  $P(1000)$ ,  $P(10\ 000)$ ,  $P(20\ 000)$ ,  $f(20\ 000)$ .

8. Нарботка до отказа электроприемника на этапе ускоренного износа подчинена нормальному закону с параметрами  $m_t = 1500$  ч и  $\sigma_t = 695$  ч. В течение какой наработки электроприемник будет функционировать с вероятностью безотказной работы 0,8? Область возможных значений наработки (0,  $\infty$ ).

9. В результате испытаний 45 неремонтируемых объектов получены статистические данные о наработке до первого отказа:

$\Delta t_i$ , ч	0–5	5–10	10–15	15–20	20–25	25–30	30–35	35–40	40–45	45–50	50–55	55–60	60–65	65–70	70–75	75–80
$\Delta n_i$	1	5	8	2	5	6	4	3	0	1	0	0	3	3	1	1

Необходимо определить  $P^*(35)$ ,  $\lambda^*(62,5)$  и  $T_1^*$ .

10. Восстанавливаемая система с показательным распределением времени безотказной работы и времени восстановления имеет  $k_r = 0,95$ .

Среднее время восстановления системы  $T_b = 5$  ч. Определить вероятность безотказной работы системы в течение наработки 0...100 ч.

11. Холодильная установка в столовой работала круглосуточно в течение 20 000 ч. За указанный период зарегистрировано 6 отказов, на устранение которых затрачено 29 ч. Кроме этого в процессе эксплуатации было проведено техническое обслуживание общей продолжительностью 30 ч. Определить коэффициент готовности и коэффициент технического использования холодильной установки.

12. Электроприемник состоит из 5 соединенных последовательно блоков, вероятность безотказной работы которых в течение 50 ч составляет  $P_1 = 0,96$ ,  $P_2 = 0,995$ ,  $P_3 = 0,992$ ,  $P_4 = 0,973$  и  $P_5 = 0,985$ . Справедлив экспоненциальный закон надежности. Требуется определить коэффициент готовности и коэффициент оперативной готовности электроприемника для  $t = 50$  ч, если  $T_p = 5$  ч.

### Контрольные вопросы

1. Дайте определение понятию «надежность».
2. Какие показатели безотказности неремонтируемых объектов вы знаете?
3. Перечислите основные законы распределения наработки до отказа.
4. Что представляет собой распределение Пуассона и как оно применяется в теории надежности?
5. Дайте определение показателю надежности «интенсивность отказов».
6. Дайте определение показателю надежности «параметр потока отказов».

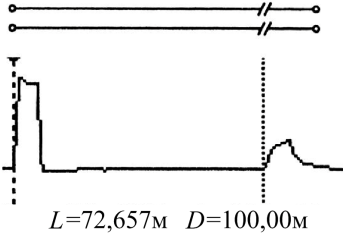
## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гурин, В. В. Автоматическая защита электрооборудования : учеб.-метод. пособие : в 2 ч / В. В. Гурин. – Минск : БГАТУ, 2011. – Ч. 2 : Защита асинхронных трехфазных электродвигателей. – 448 с.
2. Гурин, В. В. Автоматическая защита электрооборудования : учеб.-метод. пособие : в 2 ч / В. В. Гурин. – Минск : БГАТУ, 2010. – Ч. 1 : Защита электрических цепей. – 360 с.
3. Естественное и искусственное освещение : ТКП 45-2-04-153–2009. – Введ. 01.01.2010. – Минск : Минэнерго, 2010. – 110 с.
4. О мерах по внедрению в республике автоматизированной системы контроля и учета электрической энергии : постановление Совета Министров Республики Беларусь, 2 августа 2005 г., № 847 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2005. – № 124.
5. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей : ТКП 181–2009. – Введ. 01.09.2009. – Минск : Минэнерго, 2009. – 542 с.
6. Правила устройства электроустановок. – 6-е изд., перераб. и доп. – Минск : Дизайн ПРО, 2007. – 704 с.
7. Сердешнов, А. П. Эксплуатация и ремонт электрооборудования и средств автоматизации : пособие / А. П. Сердешнов, Г. И. Янукович, В. А. Дайнеко. – Минск : Беларусь, 2010. – 255 с.
8. Фурсенко, С. Н. Автоматизация технологических процессов: учеб. пособие / С. Н. Фурсенко, Е. С. Якубовская, Е. С. Волкова. Минск : БГАТУ, 2007. – 592 с.
9. Электроустановки на напряжение до 750 кВ, линии электропередачи воздушные и токопроводы, устройства распределительные и трансформаторные подстанции, установки электросиловые и аккумуляторные, электроустановки жилых и общественных зданий, правила устройства и защитные меры электробезопасности. Учет электроэнергии. Нормы приемо-сдаточных испытаний : ТКП 339–2011. – Введ. 01.12.2011. – Минск : Министерство энергетики Респ. Беларусь, 2011. – 600 с.
10. Яковлева, Т. В. Выполнение правил эксплуатации электроустановок потребителей, обеспечение надежной и безаварийной работы электрохозяйств предприятий и организаций / Т. В. Яковлева // Главный энергетик. – Минск, 2011. – № 6. – С. 15–24.
11. Яшура, А. И. Система технического обслуживания и ремонта энергетического оборудования: справочник / А. И. Яшура. М. : ЭНАС, 2010. – 504 с.

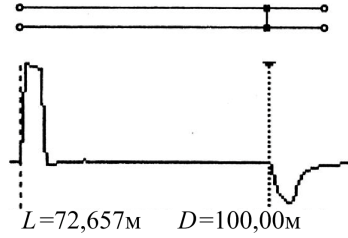
## **ПРИЛОЖЕНИЯ**

**Определение характера повреждения (неоднородности) по виду рефлектограммы и полярности отраженного сигнала**

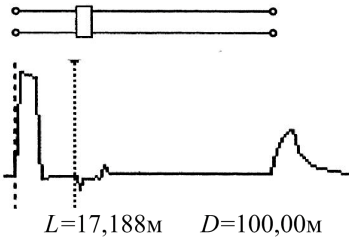
Обрыв



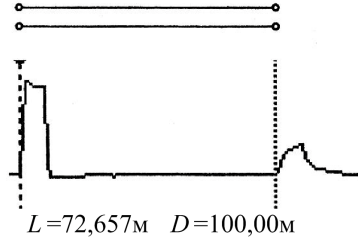
Короткое замыкание



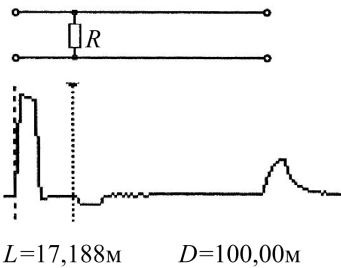
Муфта, емкость



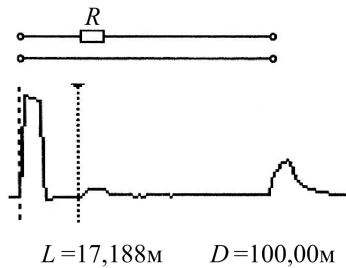
Конец линии



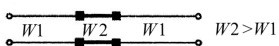
Утечка



Увеличение продольного сопротивления

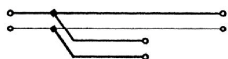


Кабельная вставка



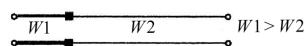
$L=25,000\text{м}$   $D=200,00\text{м}$

Ответвление от линии



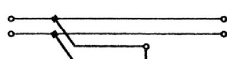
$L=31,250\text{м}$   $D=100,00\text{м}$

Изменение волнового сопротивления



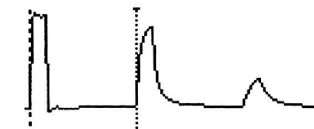
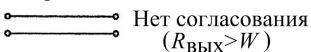
$L=17,188\text{м}$   $D=100,00\text{м}$

Ответвление с КЗ на конце

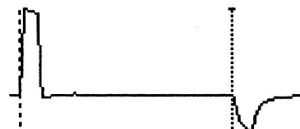
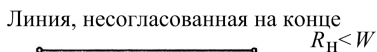


$L=31,250\text{м}$   $D=100,00\text{м}$

Согласование выходного сопротивления рефлектометра с волновым сопротивлением линии



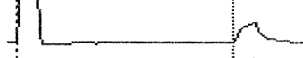
$L=73,439\text{м}$   $D=200,00\text{м}$



$L=72,657\text{м}$   $D=100,00\text{м}$



$L=73,439\text{м}$   $D=200,00\text{м}$



$L=72,657\text{м}$   $D=100,00\text{м}$



$L=73,439\text{м}$   $D=200,00\text{м}$



$L=74,220\text{м}$   $D=100,00\text{м}$

Штамп сетевого  
предприятия

СПРАВКА

Выдана \_\_\_\_\_  
/ наименование предприятия /

в том, что потребитель выполнил технические условия  
№ \_\_\_\_\_ от « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

На электроснабжение \_\_\_\_\_  
на электроустановку потребителей может быть подано  
напряжение \_\_\_\_\_  
/ ТП, РУ или другого источника питания /

Примечание: разрешена к исполнению мощность \_\_\_ кВА / кВт /  
По договору № \_\_\_\_\_ от « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.  
с потребителем \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ / наименование электроустановки /

принята на обслуживание ПЭСом / РЭСом /

Директор ПЭС  
/ Начальник РЭС / \_\_\_\_\_  
Подпись Ф. И. О.



Штамп сетевого  
предприятия

ВЫПИСКА ИЗ ПРИКАЗА \_\_\_\_\_

от «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_\_\_ г.

В соответствии с требованиями ПТЭ и ПТБ электроустановок потребителей назначить \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
/указать должность по штатному расписанию, Ф. И. О./

лицом, ответственным за электрохозяйство по \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
/наименование организации, а также объектов коммунального  
и культурно-бытового назначения/

прошедшего проверку знаний \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
/дата, квалиф. группа/

Печать

Руководитель \_\_\_\_\_  
подпись, Ф. И. О.

### Примерный текст приказа

В соответствии с требованиями действующих Правил /ПТЭ и ПТБ/ на старшего инженера-электрика ИВАНОВА И.И. возложена обязанность лица, ответственного за электрохозяйство «Победа» и объектов коммунального и культурно-бытового назначения, прошедшего проверку знаний ПТЭ и ПТБ электроустановок потребителей, 14 марта 1992 года, квалификационная группа по ТБ-У.

**АКТ**  
**разграничения балансовой принадлежности электросетей**  
**и эксплуатационной ответственности сторон**

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ г.

Мы, нижеподписавшиеся, представитель \_\_\_\_\_  
/ наименование РЭС /

в лице \_\_\_\_\_ и председателя потребителя \_\_\_\_\_  
в лице \_\_\_\_\_, действующего на основании доверенности  
№ \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ г. составили настоящий акт на пред-  
мет определения границ балансовой принадлежности электросетей и экс-  
плуатационной ответственности сторон электроустановки потребителя  
\_\_\_\_\_, находящегося по адресу  
\_\_\_\_\_

В соответствии с п. 41 Правил использования электроэнергии, границы  
раздела устанавливаются следующие:

**1. По балансовой принадлежности**

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
схема питания установки  
\_\_\_\_\_

**2. По эксплуатационной ответственности**

**ПРИМЕЧАНИЕ:** 1. Границы на схеме обозначаются: балансовой принад-  
лежности – красной линией, эксплуатационной ответ-  
ственности – синей. 2. При изменении схемы питания  
потребителя и границы балансовой принадлежности  
и эксплуатационной ответственности акт подлежит пер-  
есоставлению. 3. Доверенность потребителя на под-  
писание акта разграничения хранится в электросетях.  
4. На схеме питания электроустановки указываются мес-  
та установки приборов учета, параметры силовых и из-  
мерительных трансформаторов и ЛЭП.

**ПОДПИСИ:**

Представителя потребителя \_\_\_\_\_  
/ подпись, Ф. И. О. /

Правильность составления схемы, размещения приборов учета и параметров  
трансформаторов и ЛЭП подтверждаю

Инспектор энергосбыта \_\_\_\_\_  
/ подпись, Ф. И. О. /

АКТ  
сдачи – приемки энергомонтажных работ

Заказчик \_\_\_\_\_ объект \_\_\_\_\_

Адрес \_\_\_\_\_ дата «\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

Подрядчик \_\_\_\_\_

/указать электромонтажную организацию и ее адрес/

Комиссия в составе: от заказчика \_\_\_\_\_

/должность, Ф. И. О./

от электромонтажной организации \_\_\_\_\_

/должность, Ф. И. О./

Произведен осмотр и проверка электромонтажных работ.

1. К сдаче предъявлено:

1. \_\_\_\_\_

2. \_\_\_\_\_

2. Энергомонтажные работы выполнены по проекту, разработанному

\_\_\_\_\_ /проектная организация/

и утвержденному «\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

3. Отступление от проекта \_\_\_\_\_

согласованы

с \_\_\_\_\_ «\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

4. Электромонтажные работы выполнены с оценкой \_\_\_\_\_

5. Имеющиеся недостатки /перечислить в приложении к акту/ не препятствуют нормальной эксплуатации и подлежат устранению. «\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

6. Энергооборудование, перечисленное в пункте 1 настоящего акта, предъявить к допуску в эксплуатацию инспектору энергосбыта.

Сдали \_\_\_\_\_ Приняли \_\_\_\_\_

/должность, подпись, Ф. И. О./

/должность, подпись, Ф. И. О./

Печать

**Форма 5**

Наименование потребителя \_\_\_\_\_

**ВЕДОМОСТЬ**  
технической документациипо \_\_\_\_\_  
/ наименование объекта /

№ п/п	Наименование документа	Кто выдал документ	Дата и № документа	Количество листов	Примечания
-------	------------------------	--------------------	--------------------	-------------------	------------

Подпись \_\_\_\_\_

/лицо, ответственное за эл. хозяйство/

Печать «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Штамп электромонтажной  
организации**Форма 6****ПРОТОКОЛ**  
измерения сопротивления изоляции  
проводов и кабелейЗаказчик \_\_\_\_\_ объект \_\_\_\_\_ «\_\_\_\_\_»  
\_\_\_\_\_ 20\_\_ г.Электромонтажные работы выполнены \_\_\_\_\_  
/указать организацию/

- Измерение произведено прибором типа \_\_\_\_\_ Вольт, заводской № \_\_\_\_\_, год госповерки \_\_\_\_\_
- Ф. И. О. и должность лица, проводившего измерения \_\_\_\_\_

**3. Данные измерений:**

№ п/п	Наименование	Проводник				Сопротивление изоляции, МОм					Заключение	
		Тип, марка	Кол-во жил, сечений, мм	Рабочее напряжение, кВ	Длина, м	А-В	В-С	С-А	А	В		С
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

Измерения провели: \_\_\_\_\_  
/подпись, Ф. И. О./

Штамп электромонтажной  
организации

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

\_\_\_\_\_  
/наименование потребителя электроэнергии/

**ПРОТОКОЛ**

измерения сопротивления изоляции электродвигателей  
и других электроприемников напряжением 400/230 В

Измерения производились мегаомметром на  
\_\_\_\_\_ В, при температуре \_\_\_\_\_ °С  
год госпроверки \_\_\_\_\_

Результаты измерений

№ п/п	Место установки	Сопротивление изоляции, МОм		
		Фаза А	Фаза В	Фаза С

Заключение \_\_\_\_\_

Лицо, производившее измерение \_\_\_\_\_  
/должность, подпись, Ф. И. О./

Штамп электромонтажной  
организации

«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_\_\_ г.

\_\_\_\_\_  
/наименование потребителя электроэнергии/

**АКТ**  
**на выполнение скрытых работ**  
**по электропроводам**

\_\_\_\_\_  
/место прокладки/

Электропроводка выполнена проводом \_\_\_\_\_  
/тип, марка, сечение/

скрыто в \_\_\_\_\_ с применением  
осветительных и соединительных коробок, в которых все соединения  
и присоединения выполнены \_\_\_\_\_  
/сваркой и т. п./

Переход в другие помещения выполнен \_\_\_\_\_

Лицо, производящее электромонтажные работы \_\_\_\_\_  
/должность, подпись, Ф. И. О./

Представитель эксплуатирующей организации \_\_\_\_\_  
/должность, подпись, Ф. И. О./

Штамп электромонтажной  
организации

Предприятие \_\_\_\_\_  
Объект \_\_\_\_\_  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**ПРОТОКОЛ**  
измерения сопротивления растеканию  
заземляющего устройства

1. Общие данные.

Характер грунта \_\_\_\_\_, температура в день  
измерения \_\_\_\_\_ °С, состояние погоды предыдущие  
три дня перед измерениями \_\_\_\_\_

2. Результаты измерения.

№ п/п	Наименование поверенного оборудования	Измеренное сопротивление, Ом	Заключение о пригодности
----------	---	------------------------------------	-----------------------------

Измерения произведены \_\_\_\_\_  
/ метод, тип прибора, заводской номер,

\_\_\_\_\_

год госпроверки прибора /

Замечания \_\_\_\_\_

Заключение \_\_\_\_\_

Измерения произвели \_\_\_\_\_  
/ должность, подпись, Ф. И. О./

Штамп электромонтажной  
организации

Предприятие \_\_\_\_\_

Объект \_\_\_\_\_

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

## ПРОТОКОЛ

измерения полного сопротивления цепи «фаза–нуль»  
наиболее удаленных и наиболее мощных токоприемников

Питающий трансформатор мощностью \_\_\_\_\_ кВА

Измерения произведены \_\_\_\_\_

/метод, тип прибора,

заводской №, год гос. проверки/

№ п/п	Наименование токоприемника	Средство защиты от токов КЗ (автоматический выключатель, предохранитель)	Величина тока плавкой вставки предохранителя или расцепителя автоматического выключателя	Полное сопротивление цепи «фаза–нуль», Ом	Заключение о пригодности средств защиты	Предложения по снижению сопротивления цепи «фаза–нуль»

Испытания произвели \_\_\_\_\_

/должность, подпись, Ф. И. О./

Протокол проверил руководитель работ \_\_\_\_\_

/должность, подпись, Ф. И. О./



Штамп электромонтажной  
организации

**СПРАВКА**  
о наличии защитных средств

Наименование	Характеристики	Учетный №	Сведения об испытаниях	
			№ проверок и срок действия	Орган, проводивший испытания

Руководитель  
предприятия

Подпись

## ЗАЯВКА

Просим направить инспектора для осмотра и заключения о пригодности к вводу в эксплуатацию вновь смонтированных, реконструированных /нужное подчеркнуть/ электроустановок /объекта/

\_\_\_\_\_ по адресу \_\_\_\_\_  
по проекту № \_\_\_\_\_ от «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.  
выполненного \_\_\_\_\_

/указать проектную организацию/

Указанные электроустановки после монтажа и наладки приняты

\_\_\_\_\_ /указать строительно-монтажную организацию/  
по акту от «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. Потребляемая  
мощность \_\_\_\_\_ кВА /кВт/.

Данные учета:

Счетчик типа \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_. Начальные  
показания \_\_\_\_\_. Проверен Госповерителем «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.  
Опломбирован и установлен \_\_\_\_\_

/указать место установки/

Трансформаторы тока типа \_\_\_\_\_ коэффициент трансформации \_\_\_\_\_  
Ответственным лицом за электрохозяйство назначен \_\_\_\_\_

/должность, Ф. И. О./

Расчет за потребленную электроэнергию будет производиться  
по предъявленному счету. Наш расчетный счет № \_\_\_\_\_  
в \_\_\_\_\_ отделении Госбанка.

Необходимые, согласно Правилам пользования электроэнергией, ПТЭ, СНиП и ПУЭ документы прилагаются.

Электроустановки укомплектованы испытанными защитными средствами, оперативной документацией и штатом аттестованного персонала.

Руководитель \_\_\_\_\_ Главный бухгалтер \_\_\_\_\_  
/подпись, Ф. И. О./ /подпись, Ф. И. О./

Энергосбыт

НАРЯД

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_\_ г.

---

/ПЭС, РЭС/

отключить /включить/ электроустановку \_\_\_\_\_

Адрес \_\_\_\_\_

Основание: \_\_\_\_\_

Подпись лица, выдавшего наряд \_\_\_\_\_

---

.....  
/линия отреза/

Возвратить в \_\_\_\_\_ отделение /участок/  
энергосбыта в 5-дневный срок.

Согласно наряду № \_\_\_\_\_ от «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_\_ г.  
у абонента \_\_\_\_\_

включены/отключены объекты \_\_\_\_\_

---

Дата подключения/отключения «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_\_ г.

Начальник /мастер / ПЭС / РЭС \_\_\_\_\_

/ подпись, Ф. И. О. /

---

.....  
/линия отреза/

Наряд № \_\_\_\_\_ от «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_\_ г.

на включение/отключение электроустановок \_\_\_\_\_

---

/наименование объектов/

Получил представитель ПЭС/РЭС \_\_\_\_\_

/подпись, Ф. И. О./

Учебное издание

**Дайнеко** Владимир Александрович,  
**Равинский** Николай Александрович,  
**Качалко** Александр Степанович и др.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ  
И СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ.  
ПРАКТИКУМ

Учебно-методическое пособие

Ответственный за выпуск *В. А. Дайнеко*  
Редактор *Д. О. Бабакова*  
Корректор *Д. О. Бабакова*  
Компьютерная верстка *Д. О. Бабаковой*  
Дизайн обложки *Д. О. Бабаковой*

Подписано в печать 7.10.2019. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага офсетная. Ризография.  
Усл. печ. л. 10,93. Уч.-изд. л. 8,54. Тираж 100 экз. Заказ 211.

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Учреждение образования  
«Белорусский государственный аграрный технический университет».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий  
№ 1/359 от 09.06.2014.  
№ 2/151 от 11.06.2014.  
Пр-т Независимости, 99–2, 220023, Минск.