

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Кафедра электрооборудования СХП**

**В.А. Дайнеко, О.С. Сафонов, С.В. Соболевский**

**ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ И СРЕДСТВ  
АВТОМАТИКИ**

**Минск  
БГАТУ  
2009**

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Кафедра электрооборудования СХП**

**В.А. Дайнеко, О.С. Сафонов, С.В. Соболевский**

**ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ И СРЕДСТВ  
АВТОМАТИКИ**

*Практикум для студентов  
специальности 1-74 06 05 Энергетическое обеспечение  
сельского хозяйства*

**Минск  
БГАТУ  
2009**

УДК 631.371:621.31(07)  
ББК 31.291я7  
Э41

Рекомендовано научно-методическим советом агроэнергетического факультета БГАТУ

Протокол № 7 от 11 марта 2009 г.

Рецензенты:

кафедра электроснабжения БНТУ (зав. каф., канд. техн. наук, доц.  
*В.Б. Козловская*; канд. техн. наук, доц. *В.Н. Радкевич*)  
канд. техн. наук, доц. *Н.Е. Шевчик*

Дайнеко, В.А.

Э41 **Эксплуатация** электрооборудования и средств автоматики :  
практикум /сост. В.А.Дайнеко, О.С. Сафонов, С.В. Соболевский. – Минск : БГАТУ, 2009. – 120с.-ISBN978-985-519-114-9

Практикум содержит методические указания к лабораторным и практическим занятиям по эксплуатации электрооборудования и средств автоматики. Предназначен для изучения правил эксплуатации электрооборудования и средств автоматизации, а также для получения студентами практических навыков технического обслуживания электрооборудования, его испытаний и наладки. Учебно-методическое пособие предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 1-74 06 05 «Энергетическое обеспечение сельского хозяйства».

УДК  
631.371:621.31(07)  
ББК 31.291я7

ISBN 978-985-519-114-9

БГАТУ, 2009

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
Лабораторная работа №1. Приемосдаточные испытания силовых кабельных линий	5
Лабораторная работа №2. Эксплуатация силовых трансформаторов	12
Лабораторная работа №3. Подготовка к эксплуатации асинхронного электродвигателя	20
Лабораторная работа №4. Эксплуатация частотно-регулируемого электропривода	32
Практическое занятие №1. Определение условных единиц затрат труда на эксплуатацию электрооборудования	44
Практическое занятия № 2. Прием электроустановок в эксплуатацию	50
Практическое занятие № 3. Анализ деятельности электротехнической службы	53
Практическое занятие № 4. Эксплуатация воздушных линий электропередач	59
ЛИТЕРАТУРА	78
ПРИЛОЖЕНИЯ 1-8	79-98

## Введение

Практикум подготовлен в соответствии с действующей программой дисциплины «Эксплуатация электрооборудования и средств автоматики».

Пособие содержит методические указания к лабораторным и практическим занятиям, приложения, необходимые для выполнения работ, контрольные вопросы и список литературы.

Материал к каждому практическому занятию и лабораторной работе содержит краткие теоретические сведения, порядок 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 дисциплины предусмотрена предварительная подготовка студентов к каждому практическому или лабораторному занятию.

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

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

## Лабораторная работа № 1 ПРИЕМОДАТОЧНЫЕ ИСПЫТАНИЯ СИЛОВЫХ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ

### Цель работы:

- 1) ознакомиться с объемом испытаний силовых кабельных линий;
- 2) изучить аппаратуру, необходимую при испытании, усвоить методику испытания и изучить меры безопасности при проведении испытаний;
- 3) получить практические навыки по проведению испытания силового кабеля.

### Задачи работы:

- 1) изучить краткие сведения по эксплуатации кабельных линий по методическим указаниям и по рекомендуемой литературе;
- 2) ознакомиться с правилами измерения сопротивления изоляции силовых кабелей;
- 3) изучить методы и приборы для испытания силовых кабелей повышенным напряжением;
- 4) выполнить проверку целостности жил кабеля и фазировку жил;
- 5) произвести измерение сопротивления изоляции;
- 6) провести испытание изоляции кабеля повышенным напряжением выпрямленного тока;
- 7) заполнить протоколы испытания кабеля.

### Краткие теоретические сведения по теме

Вводимые в эксплуатацию силовые кабельные линии напряжением до 35 кВ согласно Правилам устройства электроустановок (далее ПУЭ) (глава 1.8.) подвергаются следующим испытаниям:

- 1) проверка целостности и фазировка жил кабеля;
- 2) измерение сопротивления изоляции;
- 3) испытание повышенным напряжением выпрямительного тока;
- 4) определение электрической рабочей емкости жил;\*

Примечание: \*Производится для кабелей 35 кВ и выше. Измеренная емкость, приведенная к удельным значениям, не должно отличаться от результатов заводских испытаний более чем на 5%.

5) измерение распределения тока по одножильным кабелям. Неравномерность в распределении токов на кабелях не должна быть более 10 %;

6) проверка защиты от блуждающих токов.

Производится проверка действия установленных антикоррозионных защит;

7) измерение сопротивления заземления.

Производится для концевых заделок. Силовые кабельные линии напряжением до 1 кВ испытываются по п.п. 1; 2; 5; 7.

### **Проверка целости и фазировка жил кабеля**

Целость жил и соответствие фаз кабеля проверяют с помощью омметра или кабельного пробника. Проверка производится до подачи напряжения.

Убеждаются в том, что нет коротких замыканий между фазами, что подключение кабелей к шинам распреустройства выполнено в соответствии с маркировкой или расцветкой шин, что очень важно при параллельном включении кабелей.

Проверка целости и фазировка жил кабеля в лаборатории производится с помощью омметра по схеме, представленной на рисунке 1.1.

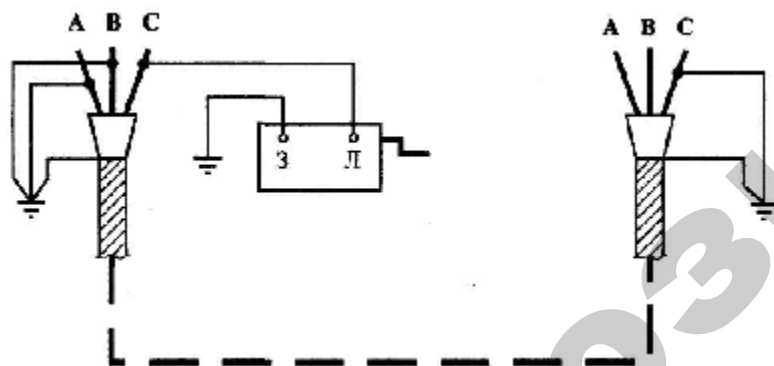


Рисунок 1.1 – Схема проверки целости жил и фазировки кабеля

При фазировке с помощью мегомметра необходимо на одном конце кабеля соединить с заземляющим устройством одну жилу кабеля. Для отыскания этой жилы на другом конце кабеля присое-

диняют омметр, у которого соединен с заземляющим устройством один зажим.

### **Измерение сопротивления изоляции**

Производится мегомметром на 2500 В до и после испытания кабеля повышенным напряжением. Для силовых кабелей напряжением до 1000 В значение сопротивления изоляции должно быть не менее 0,5 МОм. Для силовых кабелей напряжением выше 1000 В значение сопротивления изоляции не нормируется.

У трехжильных кабелей испытанию подвергается изоляция каждой жилы относительно металлической оболочки и других заземленных жил.

У кабелей однофазных или с отдельно освинцованными жилами испытывается изоляция жилы относительно металлической оболочки.

Напряжение мегомметра прикладывается между испытуемой жилой кабеля и землей при остальных заземленных жилах (рисунок 1.2). Отсчет по шкале мегомметра должен производиться через одинаковые промежутки времени (60 с после приложения напряжения).

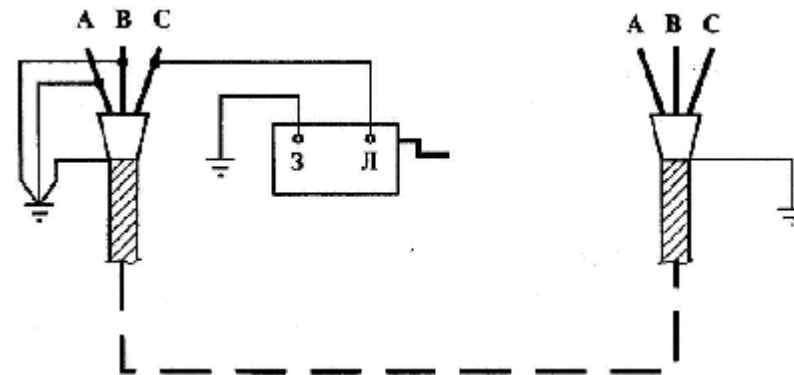


Рисунок 1.2 – Схема измерения сопротивления изоляции кабеля

Сопротивление изоляции кабельной линии не нормируется, однако согласно заводским данным величина сопротивления изоляции трехжильных кабелей с поясной изоляцией напряжением 6 и 10 кВ составляет 250–300 МОм.

### **Испытание повышенным напряжением выпрямленного тока**

Испытание изоляции повышенным напряжением выпрямленного тока позволяет убедиться в наличии необходимого запаса прочности изоляции, отсутствии местных и общих дефектов, не обнаруженных другими способами. Испытанию изоляции повышенным напряжением должны предшествовать тщательный осмотр и оценка состояния изоляции другими методами только при положительных результатах проверок.

Испытание повышенным напряжением обязательно для электрооборудования напряжением 35 кВ и ниже, а при наличии испытательных устройств – и для оборудования напряжением выше 35 кВ, за исключением случаев, оговоренных нормами.

Изоляция, выдержавшая испытания повышенным напряжением, читается в том случае, если не было пробоев, частичных разрядов, выделений газа и дыма, резкого снижения напряжения и возрастания тока через изоляцию, местного нагрева изоляции.

В зависимости от вида оборудования и характера испытания изоляции может быть испытана приложением повышенного напряжения переменного тока или выпрямленного напряжения.

В изоляции могут развиваться частичные разряды и ионизационные процессы при действии переменного тока, которые являются опасными для изоляции кабеля. Поэтому испытание кабеля повышенным напряжением промышленной частоты является неприемлемым. При испытаниях промышленным выпрямленным напряжением в изоляции отсутствуют диэлектрические потери и не могут развиваться ионизационные процессы и частичные разряды. Этим исключается опасность развития нежелательных процессов в ходе самих испытаний. Распределение напряжений по слоям изоляции в этом случае происходит обратно пропорционально проводимости слоев, поэтому большая часть напряжения прикладывается к неувлажненным слоям и тем самым эффективность отыскивания слабых мест повышается.

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.

Величина испытательных выпрямленных напряжений приведена в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Испытательные выпрямленные напряжения для силовых кабелей

$U_{ном}$ , кВ	0,66	1,0	2,0	3,0	6,0	10,0	20,0	35,0	110,0	220,0
Кабели с бумажной изоляцией										
$U_{исп}$ , кВ	2,5	2,5	10–17	15–25	36	60	100	175	285	510
Кабели с пластмассовой изоляцией										
$U_{исп}$ , кВ	–	2,5*	–	7,5	36	60	–	–	285	–

\*Примечание – испытания выпрямленным напряжением одножильных кабелей с пластмассовой изоляцией, проложенных на воздухе, не проводятся.

Таблица 1.2 – Допустимые токи утечки для силовых кабелей

Кабели на напряжение, кВ	Испытательное напряжение, кВ	Допустимый ток утечки, мА
6	36	0,2
10	50	0,3
20	100	1,5
35	140	1,8

Кабели напряжением 1000 В и ниже испытываются мегомметром на напряжение 2500 В. Продолжительность испытания 1 мин. Сопротивление изоляции должно быть не ниже 0,5 Мом.

Высоковольтные кабели считаются выдержавшими испытания, если не произошло пробоя, не было скользящих разрядов и толчков тока или его нарастания после того, как он достиг установившейся величины.

У кабеля с нарушенной изоляцией ток утечки с течением времени скачкообразно возрастает и достигает значительных величин, если не наступает пробой изоляции, сопровождающийся также увеличением тока утечки. При этом испытательная высоковольтная установка автоматически отключается.

Для испытания кабеля повышенным напряжением в лабораторной работе в качестве источника выпрямленного напряжения применяется кенотронная установка АИИ-70. Испытательное напряже-

ние плавно поднимается с нуля до заданной величины. При этом наблюдают за показаниями киловольтметра и миллиамперметра (испытательное напряжение и токи утечки).

Испытание электрической прочности изоляции кабелей производится повышенным напряжением по схеме, изображенной на рисунке 1.3. При этом напряжение подводится в зависимости от вида кабеля: для одножильных кабелей и кабелей с отдельно свинцованными жилами между жилой и свинцовой оболочкой этой жилы; для многожильных кабелей с поясной изоляцией – между каждой жилой и остальными жилами, соединенными со свинцовой оболочкой, при одновременном заземлении других жил и свинцовой оболочки кабеля.

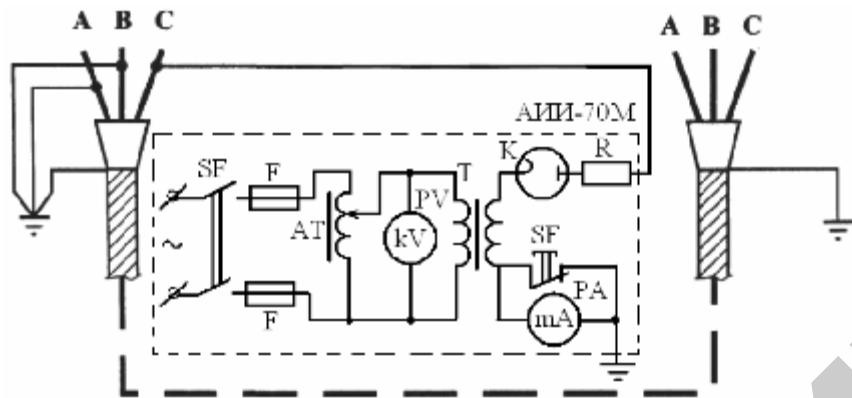


Рисунок 1.3 – Схема проверки электрической прочности изоляции кабеля повышенным выпрямленным напряжением

После испытания кабеля напряжение плавно снижается до нуля, испытанная жила отключается и с нее снимается заряд путем замыкания ее на землю с помощью разрядного устройства – заземляющей штанги, наглухо заземленной. Аналогично производится испытание изоляции других фаз.

Результаты испытаний повышенным напряжением считаются удовлетворительными, если при приложении полного испытательного напряжения не наблюдалось скользящих разрядов, толчков тока утечки или плавного нарастания тока утечки, пробоев или перекрытий изоляции, и если сопротивление изоляции, измеренное мегомметром, после испытания осталось прежним. Если характери-

стики изоляции резко ухудшилось или близки к браковочной норме, то должна быть выяснена причина ухудшения изоляции и приняты меры по ее устранению.

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

### Приборы и оборудование

1. Испытуемый силовой кабель.
2. Мегомметр на 1000В.
3. Мегомметр на 2500В.
4. Испытательный аппарат АИИ-70М.
5. Электрозащитные средства.

### Содержание отчета по лабораторной работе

1. Цель работы, программа работы.
2. Схема лабораторной установки, схемы испытаний и измерений.
3. Методика проведения измерений и испытаний.
5. Протокол фазировки кабелей по форме приложения 1.
6. Протокол измерений сопротивления изоляции кабеля по форме приложения 2.
7. Протокол испытания изоляции повышенным напряжением по форме приложения 3.
8. Выводы по лабораторной работе.

### Контрольные вопросы

1. Перечислить основные виды испытаний силовых кабельных линий.
2. Объяснить методику проверки изоляции кабеля и фазировки его жил.
3. Объяснить цели и методику испытания изоляции кабеля повышенным напряжением.
4. Перечислить приборы и оборудование для испытания кабельных линий.
5. Объяснить принципиальную электрическую схему установки для проверки силового кабеля повышенным выпрямленным напряжением.

## Лабораторная работа № 2 ЭКСПЛУАТАЦИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

### Цель работы:

- 1) закрепить теоретические знания о видах, объеме и нормах приемо-сдаточных испытаний силовых трансформаторов;
- 2) получить практические навыки по проведению приемо-сдаточных испытаний силового трансформатора.

### Задачи работы:

- 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.

### Краткие сведения из теории

Виды, объем и нормы приемо-сдаточных испытаний силовых трансформаторов установлены в ПУЭ (глава 1.8) в зависимости от мощности и конструкции, 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 часов после заполнения трансформатора маслом. При проведении измерения напряжение мегаомметра прикладывают к испытываемой 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  $R_{60}$  при температуре 10 °С для трансформаторов мощностью до 6,3 МВА и напряжением до 35 кВ включительно 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  $tg\delta$  измеряют с помощью мостов переменного тока (типа Р-595 и аналогичных). Полученные значения  $tg\delta$  сравнивают с нормируемыми. Например, для трансформатора мощностью до 6,3 МВА напряжением до 35 кВ при температуре 10 °С должно быть обеспечено условие  $tg\delta \leq 1,2$ .

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

**3. Определение степени увлажненности изоляции.** Степень увлажненности изоляции, кроме характеристик  $tg\delta$ ,  $R_{60}$  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 (таблица 1.8.38 ПУЭ), а его пробивное напряжение для трансформаторов напряжением до 35 кВ должно быть не менее 30 кВ;

в) значение коэффициента абсорбции  $K_{\text{асс}}$  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 требуется выемки сердечника. В трансформаторах с нулевым выводом измеряют сопротивления фаз, а при отсутствии нулевого вывода – сопротивления обмоток между линейными выводами. Измеренные сопротивления приводятся по температуре к заводским данным по следующим выражениям:

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

где  $R_2$  и  $R_1$  – сопротивления обмоток при температурах  $t_2$  и  $t_1$  (паспортные данные). 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  $(1 \div 1 \frac{1}{2})$  и через во-

ронку 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 часам при температуре масла не ниже  $10^\circ\text{C}$ ; 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. Изменения 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  $a_1-a_2$ ;  $b_1-b_2$ ;  $c_1-c_2$  напряжения отсутствуют, а между одной из одноименных и противоположными разноименными фазами  $a_1-b_2$ ;  $a_1-c_2$ ;  $b_1-a_2$ ;  $b_1-c_2$ ;  $c_1-a_2$ ;  $c_1-b_2$  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  $5^\circ\text{C}$ . Масло отбирают в чистую стеклянную посуду с притертой пробкой.

После отбора пробы масла производят его испытания, определяя показатели, приведенные в пунктах ПУЭ (1–6 табл. 1.8.42). В число показателей входят следующие: пробивное напряжение; содержа-



ние 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 минут. 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 минут. Пробивное напряжение определяют как среднее арифметическое из пяти последних значений пробивного напряжения. Пробивное напряжение масла до заливки его в трансформатор должно быть: для трансформаторов на напряжение до 15 кВ – 30 кВ, на напряжение от 15 до 35 кВ – 35 кВ, на напряжение от 60 до 220 кВ – 45 кВ; после заливки (проба, взятая из трансформатора) соответственно 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 минут. 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.

#### Оборудование рабочего места

1. Трансформатор ТМА-100/10.
2. Мегомметр МС-06 на 2500 В.
3. Мост постоянного тока измерительный Р 333.
4. Аппарат АИИ-70.
5. Трансформаторное масло.
6. Соединительные проводники.

#### Порядок выполнения работы

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

Полученные результаты занести в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Измерения сопротивления изоляции силового трансформатора

Последовательность измерений	Схемы измерения параметров изоляции обмоток низкого (НН) и высокого (ВН) напряжений		$R_{15}$	$R_{60}$	$K_{abc}$
	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 таблицу 2.2.

Таблица 2.2 – Измерения 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 квалифицирует 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, последние 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 между каждым из них, равными 5 мин; после каждого пробоя при помощи стеклянной палочки масло между электродами необходимо осторожно перемешать; полученные результаты занести в таблицу 2.3.

Таблица 2.3 – Испытания трансформаторного масла

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

Определить напряжение пробоя как среднее арифметическое из пяти последних значений напряжения и пробивное напряжение масла по формуле:

$$E = \frac{\bar{U}_{\text{пр}}}{d}, \quad \text{кВ/мм,}$$

где  $\bar{U}_{\text{пр}}$  – напряжение пробоя, кВ;  
 $d$  – расстояние между электродами, мм.

#### Оформление отчета по лабораторной работе

В отчете должны быть представлены следующие материалы:

- 1) результаты произведенных измерений (таблицы 2.1.; 2.2; 2.3);
- 2) выводы по работе.

#### Контрольные вопросы

1. Перечислить виды приемо-сдаточных испытаний силовых трансформаторов.

2. Перечислить параметры изоляции силовых трансформаторов.
4. Объяснить методику измерения сопротивления изоляции и определения коэффициента абсорбции.
5. Объяснить методику измерения тангенса угла диэлектрических потерь изоляции трансформатора.
6. Назвать условия включения силового трансформатора без сушки.
7. Объяснить методику измерения сопротивления обмоток трансформатора постоянному току.
8. Объяснить методику фазировки трансформаторов.
9. Перечислить параметры трансформаторного масла и назвать виды его испытаний.

**Лабораторная работа № 3  
ПОДГОТОВКА К ЭКСПЛУАТАЦИИ  
АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ**

**Цель работы:**

- 1) закрепить теоретические знания по эксплуатации асинхронных электродвигателей;
- 2) получить практические навыки по проверке и подготовке к эксплуатации асинхронных электродвигателей.

**Задачи работы:**

- 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.

**Краткие теоретические сведения по теме**

При подготовке асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором к эксплуатации 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 1000В 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. Предельные зазоры в подшипниках проведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Максимально допустимые зазоры в подшипниках скольжения

Номинальный диаметр вала, мм	Зазоры, мм при частоте вращения, об/мин		
	< 1000	1000–1500	> 1500
19–30	0,04–0,193	0,06–0,13	0,14–0,28
31–50	0,05–0,112	0,075–0,16	0,17–0,34
51–80	0,065–0,135	0,095–0,195	0,2–0,4
81–120	0,08–0,16	0,12–0,235	0,23–0,46
121–180	0,1–0,195	0,15–0,285	0,26–0,53
181–260	0,12–0,255	0,18–0,30	0,3–0,6
251–360	0,14–0,25	0,21–0,38	0,34–0,68
361–500	0,17–0,305	0,25–0,44	0,38–0,76

7. Измерение вибрации подшипников электродвигателей. Допустимые значения вибрации подшипников в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Максимально допустимая вибрация подшипников электродвигателя

Синхронная частота вращения, об/мин	3000	1500	1000	750
Допустимая амплитуда вибрации, мкм	50	100	130	160

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

9. Испытание вентилятора давлением 0,2–0,25 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 часа.

11. Проверка работы электродвигателя под нагрузкой.

Электродвигатели до 1000 В испытываются по пунктам 2, 4б, 10, 11; напряжением выше 1000 В по пунктам 1÷4, 7, 9÷11. Электродвигатели, поступающие на монтаж в разобранном виде, испытываются по пунктам 5, 6, 8 дополнительно.

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) целосность 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).

Для проверки смазки отвертываются болты крепления крышек подшипников, причем вместо первого отвернутого болта ввертывается шпилька, длина которой больше, чем длина болта, на 20–30 мм для удобства последующей установки крышек на место. Сдвигаются крышки подшипников и проверяется количество и качество смазки подшипников.

Камеры подшипников качения должны быть заполнены смазкой на 2/3 объема, при скорости вращения электродвигателя до 1500 об/мин и 1/2 объема при скорости вращения 3000 об/мин.

При тугой набивке смазки подшипники сильно нагреваются и смазка вытекает.

Качество смазки оценивается визуально – смазка должна быть чистой, маслянистой на ощупь, не должна содержать твердых частиц, более вязких включений или воды. В противном случае смазка должна быть заменена, а подшипники и камеры для смазки должны быть промыты в дизельном топливе и продуты сжатым воздухом или просушены.

При выборе марки смазки необходимо руководствоваться следующим правилом – температура подшипников электродвигателя во время работы бывает на 25–30 °С выше температуры воздуха вблизи подшипников.

### **Проверка маркировки выводов обмотки статора**

Для проверки маркировки выводов обмотки статора снимается крышка коробки выводов. Маркировка выводов обмотки на доске зажимов (клемном щите) или на выводных концах обмотки должна соответствовать таблице 3.4.

Доска зажимов (клеммный щиток) двигателя и соединение обмотки в звезду или треугольник показаны на рисунке 3.1.

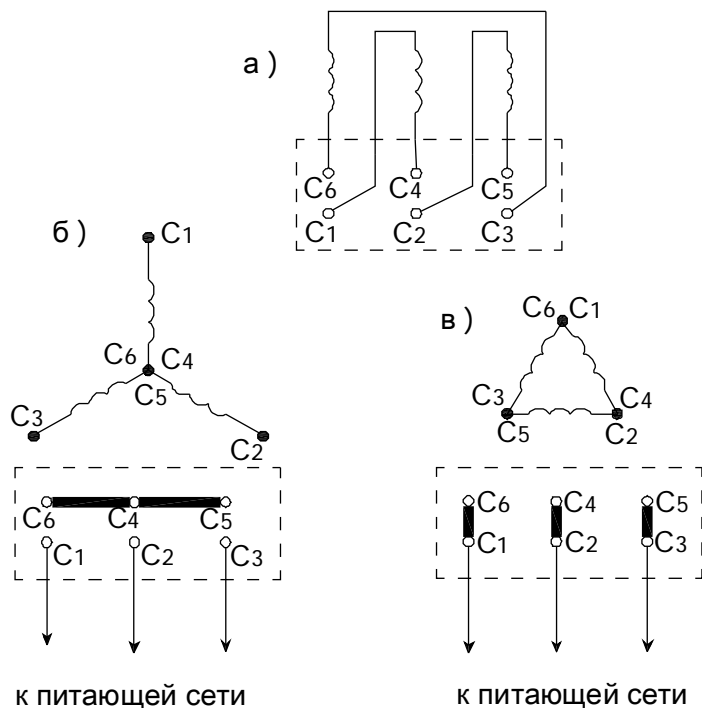


Рисунок 3.1 – Клеммный щиток электродвигателя

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:

#### А. Проверка на переменном токе.

Для определения начала и конца фаз обмотки собирается схема, показанная на рисунке 3.2. На две фазы обмотки двигателя, соединенные последовательно, подается напряжение переменного тока 12 или 36 В от трансформатора Т, подключенного через рубильник QS и предохранитель FU к сети.

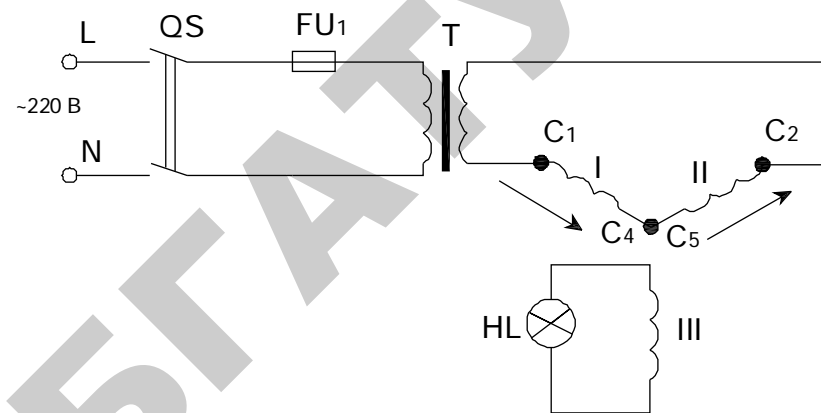


Рисунок 3.2 – Схема для определения начала и конца обмотки на переменном токе

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 и 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 C2 и C5. После определения выводов на двух фазах обмотки вместо второй фазы подключается третья и таким же образом определяются ее начало и конец C3 и C6.

#### Б. Проверка на постоянном токе.

Для определения начала и конца фаз обмотки собирается схема, показанная на рисунке 3.3. В первую фазу обмотки кратковременными импульсами подается напряжение 3,5 В от батарейки или аккумулятора.

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 C2 и C5, C3 и C6. Для определения начала и конца фаз обмотки двигателя на постоянном токе может быть применен индикатор полярности типа M227, имеющий встроенную батарейку напряжением 3,5 В.

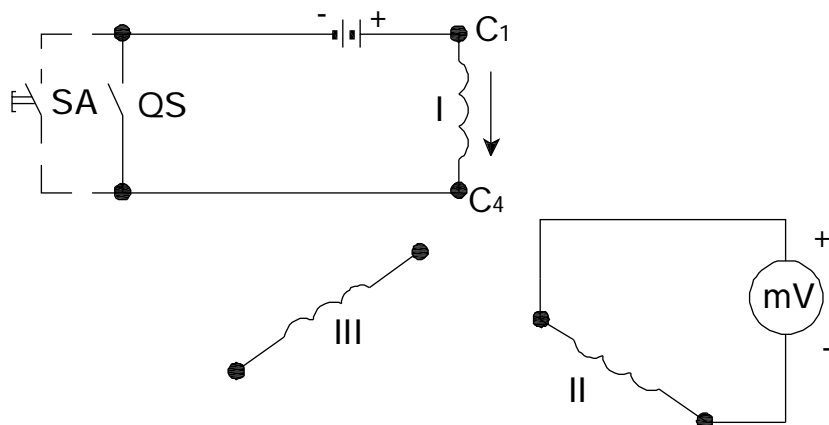


Рисунок 3.3 – Схема для определения начала и конца обмотки на постоянном токе

### Измерение сопротивления изоляции обмотки статора

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

1. Измерение сопротивления изоляции фаз обмотки относительно корпуса двигателя.

Проводник, подключенный к зажиму 3 (земля) мегомметра, подсоединяется к корпусу электродвигателя. Мегомметр поочередно присоединяют к выводам каждой фазы обмотки C1, C2 и C3 или C4, C5 и C6 проводником, подключенным к зажиму Л (линия) мегомметра.

2. Измерение сопротивления изоляции между фазами обмотки двигателя.

Мегомметра 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.

#### 1. Сушка методом внешнего нагрева

Метод является основным и рекомендуется для всех видов электрических машин. При сушке этим методом нагретый до  $85 \div 95$  °С поток воздуха подается на массивные части электродвигателя, которые нагреваясь, передают тепло изоляции. Воздух нагревается тепловоздуховками, нагревательными сопротивлениями, батареями парового отопления.

Внешний нагрев может вестись с помощью инфракрасных лучей, источником которых являются зеркальные лампы – термоизлучатели с пониженной температурой накала нити мощностью 250–500 Вт. Для более эффективной сушки электродвигатель закрывают брезентом, который периодически открывается на 5–10 мин для удаления образующейся влаги.

#### 2. Сушка методом потерь в меди обмотки

Данный метод может применяться только для сушки среднеувлажненных обмоток (сопротивление изоляции не менее 0,1 МОм), т. к. при значительном увлажнении изоляции возможно электролитическое разрушение металлических деталей электродвигателя.

Сушке, методом нагрева током, может подвергаться отдельно статор или электродвигатель в сборе. При сушке собранного двигателя ротор его затормаживается и контролируется температура корпуса, которая не должна превышать 60 °С, т.к. температура обмотки и ротора при этом выше на 10–20 °С. Во избежание потерь тепла двигатель во время сушки должен быть закрыт покрывалом

или ящиком с вентиляционными отверстиями для выхода влажного воздуха.

Для обеспечения безопасности корпус двигателя при сушке током должен быть надежно заземлен.

Сушка обмотки трехфазных двигателей может производиться как однофазным, так и трехфазным током.

При сушке обмотки двигателя (ОД) однофазным переменным током фазы обмотки соединяются по одной из схем приведенных на рис. 3.4 а, б, в.

Ток от постороннего источника однофазного переменного тока, под-ключенного через предохранитель FU или автомат, пропускается последовательно через обмотки всех фаз, если выведены шесть концов на клемный щиток рисунке 4.4, а или, как показано на рисунке 4.4, б и в, если выведены три конца. В качестве источника тока могут применяться трансформаторы типа ОСО-0,25(220/36 В) или сварочный трансформатор типа ТС-0,5 (380/36 В) в зависимости от величины тока необходимого для сушки.

Величина тока при сушке однофазным переменным током регулируется реостатом R и поддерживается в пределах (0,4–0,7)  $I_n$  в зависимости от исполнения вентиляции и номинальной скорости вращения двигателя.

Меньшие значения тока сушки принимаются для закрытых двигателей и двигателей с синхронной скоростью вращения 3000 об/мин; большие значения – для защищенных двигателей и двигателей со скоростью вращения 1500 об/мин и ниже.

Измерение величины тока в процессе сушки производится амперметром переменного тока со шкалой на ток до 20 А или токоизмерительными клещами.

При сушке обмотки трехфазным переменным током в режиме короткого замыкания обмотка статора включается в сеть трехфазного тока, как показано на рисунке 3.4, г, при напряжении равном 16–25 % номинального значения. Ротор двигателя затормаживается, и нагрев деталей двигателя происходит под действием вихревых токов, возникающих в активной стали.

Источником напряжения при сушке методом короткого замыкания двигателей могут служить трехфазные сварочные трансформаторы.

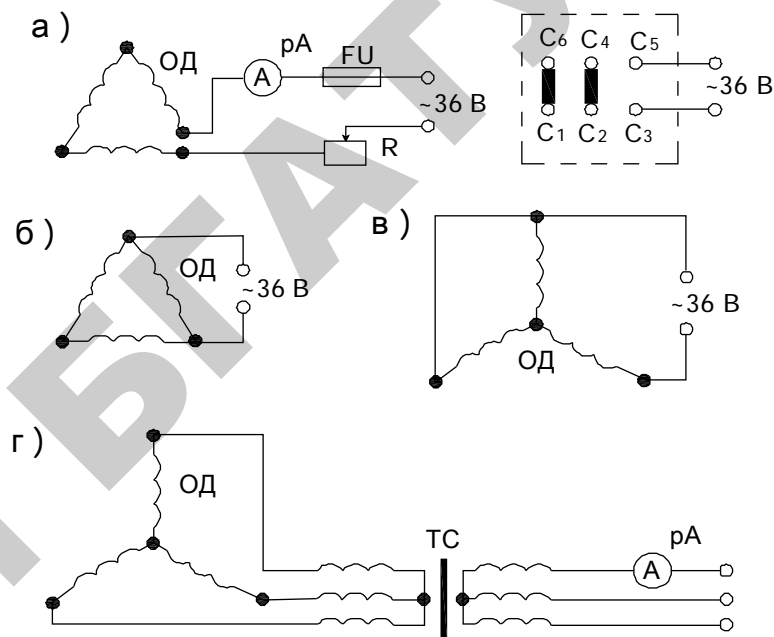


Рисунок 3.4 – Схемы соединения обмоток трехфазных двигателей при сушке электрическим током:

а) при последовательном соединении всех фаз; б) при соединении фаз обмотки треугольником; в) при соединении фаз обмотки звездой; г) при соединении фаз обмотки звездой и использовании сварочного трансформатора

### 3. Сушка методом индукционных потерь в стали

Метод основан на выделении тепла в станине или активной стали статора переменным магнитным потоком, который создается специально наматываемой на станину или статор (при вынудом роторе) обмоткой из изолированного провода.

При всех способах сушки двигателя необходимо выполнять следующие требования: надежно заземлять корпус двигателя (за исключением метода внешнего нагрева); не допускать повышения температуры электродвигателя в наиболее горячем месте выше 60 °С.

Измерение температуры отдельных частей двигателя, как правило, производится термометром, для чего шарик термометра обвер-

тывается алюминиевой фольгой и прикладывается к местам наибольшего нагрева двигателя.

Замеры температуры, сопротивления изоляции и тока производят в начальный период сушки через 0,5 часа, а затем через один час. Если сушка обмоток производится током, то на время измерения сопротивления изоляции напряжение снимают.

Сушка считается законченной, если сопротивление изоляции обмотки превысило 0,5 МОм и при постоянной температуре в течение 3-5 часов остается неизменным.

### **Приборы и оборудование**

1. Асинхронный электродвигатель.
2. Стенд для определения маркировки обмотки статора.
3. Мегомметр М 4100/3.
4. Трансформатор ОСО-0,25 (220/36 В).
5. Термометр.
6. Соединительные проводники.

### **Порядок выполнения работы**

1. Ознакомиться с оборудованием рабочего места.
2. Произвести внешний осмотр электродвигателя и записать его технические данные.
3. Определить маркировку выводов обмотки статора переменным (рисунок 3.2) и постоянным (рисунок 3.3) током.
4. Измерить сопротивление изоляции обмотки статора и записать полученные результаты.
5. Собрать схему для сушки обмотки однофазным током (рисунок 3.4) и в течение 10–15 минут произвести нагрев; электродвигателя током 0,5 In, контролируя при этом температуру. После окончания нагрева и снятия напряжения измерить сопротивление изоляции.

### **Оформление отчета по лабораторной работе**

В отчете должны быть представлены следующие материалы:

- 1) технические данные асинхронного электродвигателя;
- 2) схемы произведенных испытаний и измерений;
- 3) результаты произведенных измерений;
- 4) выводы по работе.

### **Контрольные вопросы**

1. Перечислить виды прямо-сдаточных испытаний асинхронных электродвигателей.
2. Объяснить методику измерения сопротивления изоляции электродвигателей, перечислить приборы и оборудование, необходимые для испытаний.
3. Объяснить методику измерения сопротивления обмоток электродвигателей постоянному току.
4. Объяснить методику маркировки выводов обмотки статора асинхронного трехфазного электродвигателя.
5. Перечислить способы сушки обмотки электродвигателя.



## Лабораторная работа №4 ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

### Цель работы:

- 1) изучить назначение, принцип действия и конструкцию преобразователя частоты;
- 2) изучить правила эксплуатации преобразователя частоты;
- 3) изучить основные параметры для программирования преобразователя частоты и их назначение;
- 4) освоить методику наладки асинхронного частотно-регулируемого электропривода.

### Задачи работы:

- 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.

### Преимущества использования регулируемого электропривода в технологических процессах

Применение регулируемого электропривода обеспечивает энергосбережение и позволяет получать новые качества систем и объектов. Значительная экономия электроэнергии обеспечивается за счет регулирования какого-либо технологического параметра. Если это транспортер или конвейер, то можно регулировать скорость его движения; если это насос или вентилятор – можно поддерживать давление или регулировать производительность; если это станок, то можно плавно регулировать скорость подачи или главного движения.

Особый экономический эффект от использования преобразователей частоты дает применение частотного регулирования на объектах, обеспечивающих транспортировку жидкостей. До сих пор самым распространенным способом регулирования производительности таких объектов является использование задвижек или регулирующих клапанов, но сегодня доступным становится частотное

регулирование асинхронного двигателя, приводящего в движение, например, рабочее колесо насосного агрегата или вентилятора. Перспективность частотного регулирования наглядно видна из рисунка 4.1.

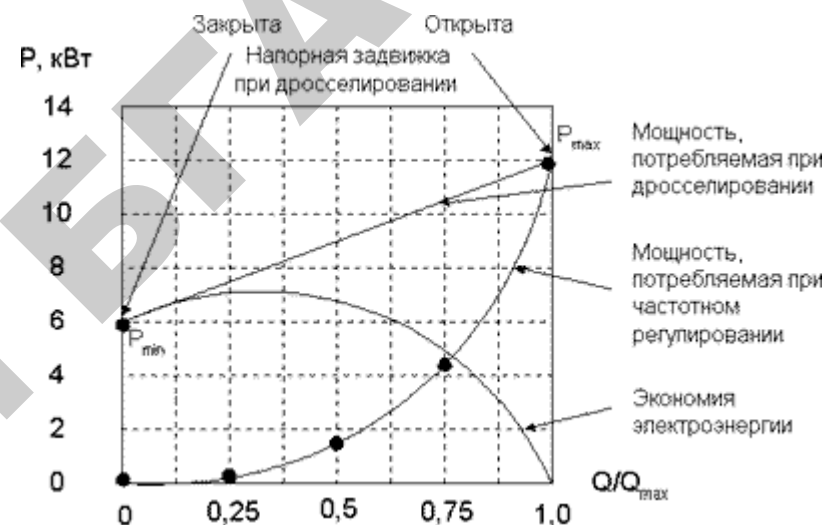


Рисунок 4.1 – Потребление мощности при различных способах регулирования скорости вращения насосов

Таким образом, при дросселировании поток вещества, сдерживаемый задвижкой или клапаном, не совершает полезной работы. Применение регулируемого электропривода насоса или вентилятора позволяет задать необходимое давление или расход, что обеспечит не только экономию электроэнергии, но и снизит потери транспортируемого вещества.

### Основные сведения о частотно-регулируемом электроприводе

Частотный преобразователь в комплекте с асинхронным электродвигателем позволяет заменить электропривод постоянного тока. Системы регулирования скорости двигателя постоянного тока (ДПТ) достаточно просты, но слабым местом такого электропривода является электродвигатель. Он дорог и ненадежен. При работе происходит искрение

щеток, под воздействием электроэрозии изнашивается коллектор; такой электродвигатель не может использоваться в запыленной и взрывоопасной среде.

Асинхронные электродвигатели (АД) превосходят двигатели постоянного тока по многим параметрам: они просты по устройству и надежны, т. к. не имеют подвижных контактов; имеют меньшие по сравнению с ДПТ размеры, массу и стоимость при той же мощности; АД просты в изготовлении и эксплуатации. Основным недостатком асинхронных электродвигателей – сложность регулирования их скорости традиционными методами (изменением питающего напряжения, введением дополнительных сопротивлений в цепь обмоток).

Управление асинхронным электродвигателем в частотном режиме до недавнего времени было большой проблемой, хотя теория частотного регулирования была разработана еще в тридцатых годах. Развитие частотно-регулируемого электропривода сдерживалось высокой стоимостью преобразователей частоты. Появление силовых схем с IGBT-транзисторами, разработка высокопроизводительных микропроцессорных систем управления позволило различным фирмам Европы, США и Японии создать современные преобразователи частоты доступной стоимости.

Известно, что регулирование частоты вращения исполнительных механизмов можно осуществлять при помощи различных устройств: механических вариаторов, гидравлических муфт, дополнительно вводимыми в статор или ротор резисторами, электромеханическими преобразователями частоты, статическими преобразователями частоты.

Применение первых четырех устройств не обеспечивает высокого качества регулирования скорости, неэкономично, требует больших затрат при монтаже и эксплуатации. *Статические преобразователи частоты* являются наиболее совершенными устройствами управления асинхронным приводом в настоящее время.

Принцип частотного метода регулирования скорости АД заключается в том, что, изменяя частоту  $f_1$  питающего напряжения, мож-

но в соответствии с выражением  $\omega_0 = \frac{2\pi f_1}{p}$  при неизменном числе

пар полюсов  $p$  изменять угловую скорость магнитного поля статора  $\omega_0$ . Этот способ обеспечивает плавное регулирование скорости в широком диапазоне, а механические характеристики обладают высокой жесткостью. Регулирование скорости при этом не сопровож-

дается увеличением скольжения АД, поэтому потери мощности при регулировании невелики.

Для получения высоких энергетических показателей АД – коэффициентов мощности, полезного действия, перегрузочной способности – необходимо одновременно с частотой изменять и подводимое напряжение. Закон изменения напряжения зависит от характера момента нагрузки  $M_c$ . При постоянном моменте нагрузки  $M_c = \text{const}$  напряжение на статоре должно регулироваться пропорционально частоте  $U_1/f_1 = \text{const}$ . Для вентиляторного характера момента нагрузки это состояние имеет вид  $U_1/f_1^2 = \text{const}$ , а при моменте нагрузки, обратно пропорциональном скорости –  $U_1/\sqrt{f_1} = \text{const}$ . Таким образом, для плавного бесступенчатого регулирования частоты вращения вала асинхронного электродвигателя, преобразователь частоты должен обеспечивать одновременное регулирование частоты и напряжения на статоре АД.

### Структура преобразователя частоты

Большинство современных преобразователей частоты построено по схеме *двойного преобразования*. Они состоят из следующих основных частей: *звена постоянного тока* (неуправляемого выпрямителя), *силового импульсного инвертора* и *системы управления*.

Звено постоянного тока состоит из *неуправляемого выпрямителя* и фильтра. Переменное напряжение питающей сети преобразуется в нем в напряжение постоянного тока.

*Силовой трехфазный импульсный инвертор* состоит из шести транзисторных ключей. Каждая обмотка электродвигателя подключается через соответствующий ключ к положительному и отрицательному выводам выпрямителя. Инвертор осуществляет преобразование выпрямленного напряжения в трехфазное переменное напряжение нужной частоты и амплитуды, которое прикладывается к обмоткам статора электродвигателя.

В выходных каскадах инвертора в качестве ключей используются силовые IGBT-транзисторы. По сравнению с тиристорами они имеют более высокую частоту переключения, что позволяет вырабатывать выходной сигнал синусоидальной формы с минимальными искажениями.

### Принцип работы преобразователя частоты

Преобразователь частоты (ПЧ) состоит из неуправляемого диодного силового выпрямителя В, автономного инвертора (АИН), системы управления СУИ ШИМ, системы автоматического регулирования (САР), дросселя  $L_v$  и конденсатора фильтра  $C_v$  (рисунок 4.2). Регулирование выходной частоты  $f_{\text{вых}}$  и напряжения  $U_{\text{вых}}$  осуществляется в АИН за счет *высокочастотного широтно-импульсного (ШИМ)* управления. ШИМ характеризуется периодом модуляции, внутри которого обмотка статора ЭД подключается поочередно к положительному и отрицательному полюсам выпрямителя. Длительность этих состояний внутри периода ШИМ модулируется по синусоидальному закону. При высоких (обычно 2–15 кГц) тактовых частотах ШИМ, в обмотках электродвигателя, вследствие их фильтрующих свойств, текут синусоидальные токи.

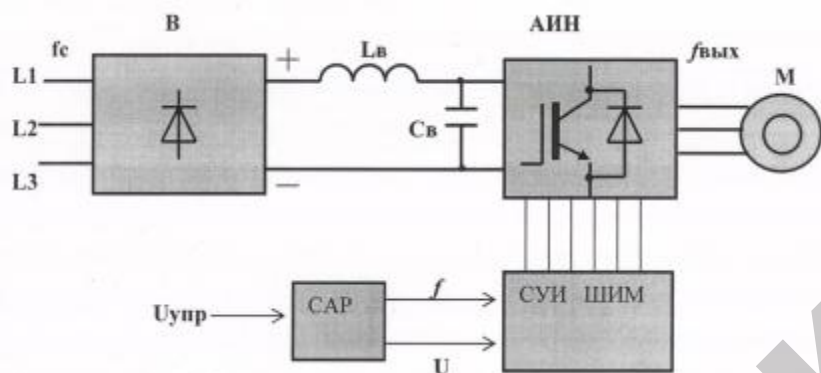


Рисунок 4.2 – Упрощенная схема автономного инвертора с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ)

Таким образом, форма кривой выходного напряжения представляет собой высокочастотную двухполярную последовательность прямоугольных импульсов (рисунок 4.3). Частота импульсов определяется частотой ШИМ, длительность (ширина) импульсов в течение периода выходной частоты АИН промодулирована по синусоидальному закону. Форма кривой выходного тока (тока в обмотках асинхронного электродвигателя) практически синусоидальна.

Регулирование выходного напряжения АИН можно осуществить двумя способами: амплитудным (АР) за счет изменения входного напряжения  $U_v$  и широтно-импульсным (ШИМ) за счет изменения

программы переключения вентилях  $V1-V6$  при  $U_v = \text{const}$ . Второй способ получил распространение в современных преобразователях частоты благодаря развитию современной элементной базы (микропроцессоры, IGBT-транзисторы). При ШИМ-модуляции форма токов в обмотках статора АД получается близкой к синусоидальной благодаря фильтрующим свойствам самих обмоток.

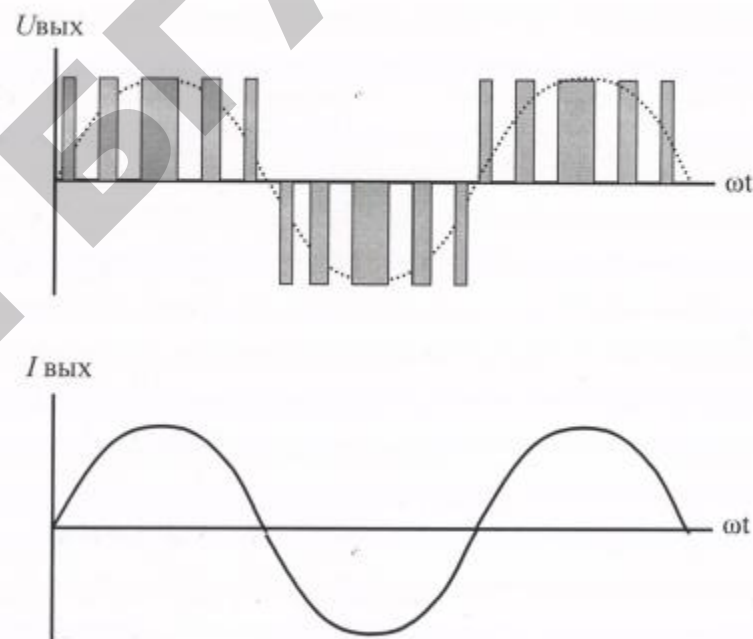


Рисунок 4.3 – Форма кривых напряжения и тока на выходе инвертора с широтно-импульсной модуляцией.

Такое управление позволяет получить высокий КПД преобразователя и эквивалентно аналоговому управлению с помощью частоты и амплитуды напряжения.

Современные инверторы выполняются на основе полностью управляемых силовых полупроводниковых приборов – *запираемых GTO – тиристоров*, либо *биполярных IGBT-транзисторов с изолированным затвором*. На рисунке 4.4. представлена трехфазная мос-

товая схема автономного инвертора на IGBT-транзисторах. Она состоит из входного емкостного фильтра Сф и шести IGBT-транзисторов  $V_1$ – $V_6$  включенными встречно-параллельно диодами обратного тока  $D_1$ – $D_6$ . За счет поочередного переключения вентиляей  $V_1$ – $V_6$  по алгоритму, заданному системой управления, постоянное входной напряжение  $U_B$  преобразуется в переменное прямоугольно-импульсное выходное напряжение. Через управляемые ключи  $V_1$ – $V_6$  протекает активная составляющая тока асинхронного электродвигателя АД, через диоды  $D_1$ – $D_6$  – реактивная составляющая тока АД.

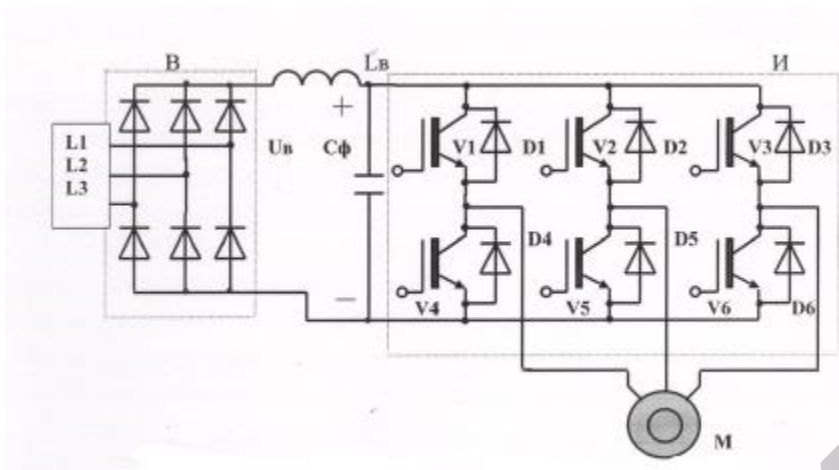


Рисунок 4.4 – Схема инвертора: И – трехфазный мостовой инвертор; В – трехфазный мостовой выпрямитель; Сф – конденсатор фильтра

### Описание лабораторной установки

Лабораторная установка состоит из асинхронного электродвигателя, который подключен к трехфазной сети 380 В 50 Гц через преобразователь частоты типа FR-S540-2,2К-ЕС (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. Валу генератора и электродвигателя соединены упругой муфтой. Генератор нагружен автомобильными лампами накаливания. Ток на-

грузки 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 рисунке 4.5.

## Методика выполнения 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: задание 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.

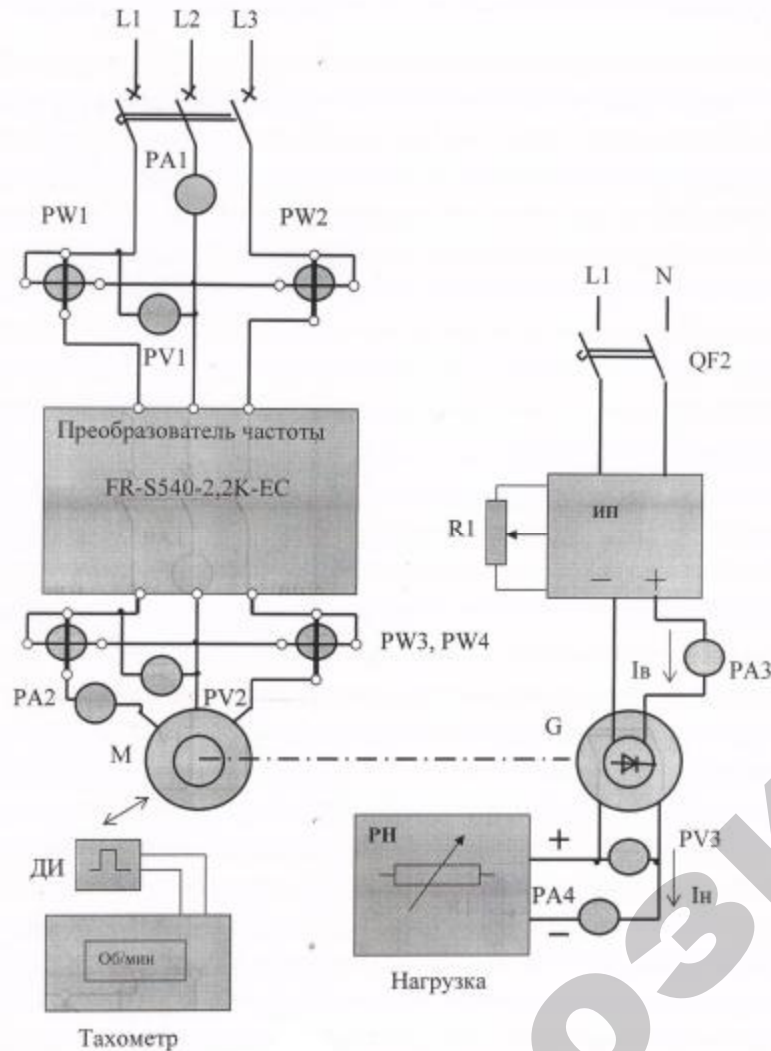


Рисунок 4.5 – Схема лабораторной установки

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.

Таблица с перечнем основных параметров преобразователя частоты приведена в [приложении 4](#).

Согласно [приложению 4](#), по заданию преподавателя произвести изменения указанных параметров.

**Методика выполнения работы**

Ознакомиться с оборудованием и измерительными приборами, входящими в состав лабораторной установки.

Изучить схему лабораторной установки (см. рисунок 4.5).

Выполнить наладку и диагностику преобразователя частоты в соответствии с индивидуальным заданием.

**Содержание отчета**

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

**Контрольные вопросы**

1. Объяснить назначение преобразователей частоты и перечислить преимущества применения частотно-регулируемого электропривода в технологических процессах.
2. Назвать основные особенности эксплуатации асинхронного частотно-регулируемого электропривода.
3. Назвать основные параметры для наладки и программирования преобразователей частоты.
4. Объяснить схему лабораторной установки и методику испытаний частотно-регулируемого электропривода.

5. Перечислить функции защит изучаемого преобразователя частоты.

6. Объяснить методику диагностики преобразователя частоты при помощи таблицы основных и дополнительных параметров.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Москаленко, В.В. Электрический привод / В.В. Москаленко. – М.: Высшая школа, 1991. – 430 с.
2. Mitsubishi Transistorized Inverter FR-E500. Instruction Manual. – Head Office: Mitsubishi Denki BLDG Marunouchi Tokio, 2001. – 188 с.

## Практическое занятие №1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВНЫХ ЕДИНИЦ ЗАТРАТ ТРУДА НА ЭКСПЛУАТАЦИЮ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

### Цель занятия:

- 1) научиться определять форму эксплуатации и объем работ в электрохозяйстве;
- 2) 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 таблицы 1.2;
- 2) выбрать форму эксплуатации в хозяйстве, используя результаты п. 1;
- 3) составить штатное расписание службы главного энергетика (приложение 7);
- 4) определить нормативное количество электромонтеров в хозяйстве.

### Методические указания

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 [1]. Следовательно, определение числа у.е.э. электротехнического оборудования хозяйства есть грубый расчет трудоемкости работ по эксплуатации этого оборудования.

Данные об объеме работ в у.е.э. 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 (приложения 5 и 6), разработанным в соответствии с системой плано-предупредительного ремонта и технического обслуживания электрооборудования сельских хозяйственных предприятий (ППРЭСх). Для этого количества оборудования определенного вида умножают на переводной коэффициент, при этом учитывают особенности эксплуатации, применяя поправочные коэффициенты, приведенные в примечаниях к приложениям 5 и 6.

Следует учесть все оборудование хозяйства, при этом для удобства расчетов целесообразно выделить у.е.э. приходящиеся на отрасли (животноводство, растениеводство, подсобное производство) и на бригады. Просуммировав электрооборудование по видам, произведенным объектам, отраслям и бригадам, определяют объем работ первого раздела годовой произведенной 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 (таблица 1.1) по формуле:

$$Q_1 = \frac{Q_1 d_1}{70}, \quad (1.1)$$

где  $Q_1$  – объем работ первого раздела, у.е.э.;  
 $d_j$  – доля  $j$ -х работ (%), выбираемая по таблице 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
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

Окончание таблицы 1.1

Раздел и вид работ	Объем,%
<b>3. Развитие электрификации и автоматизации</b>	
Электромонтажные работы	7
Пусконаладочные работы	3
Модернизация электрооборудования	2
Производство собственной продукции	3

По результатам расчета по приложению 7 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 – при числе условных единиц до 300 у.е.э.;
- специализированную централизованную – при числе условных единиц 301–800 у.е.э.;
- индивидуальную – при числе условных единиц более 800.

#### Индивидуальные задания

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 таблице 1.2.



Таблица 1.2 – Характеристики оборудования хозяйства

№ варианта	Условия окружающей среды	Электропривод с асинхрон. 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 тр-ров	Название	Кол-во шт
1	влажное	0,75	124	8	ЛЛ	148	КМ-1300	жидк.	открыт.	1	Теплогенератор	14
2	сырое	30	18	10	ЛН	110	ДКВР-4-13	ТВ.	закрыт.	2	Насос	6
3	особо сырое	1,5	115	5	ЛН	128	ТВГ-4	ТВ.	открыт.	1	Вентилятор	68
4	влажное	30	112	6	ЛЛ	114	КЖ-1500	газ.	закрыт.	1	Компрессор	12
5	влажное	3,0	132	12	ЛН	146	ДКВР-10-13	жидк.	закрыт.	2	ВЛ до 1кВ	27км
6	особо сырое	2,2	118	8	ЛЛ	124	кв-тсв	газ.	откр.	1	КЛ до 1кВ	15км
7	сухое	1,1	120	14	ЛЛ	142	птвм-зо	ТВ.	закрыт.	2	Эл. плита «Томь»	120
8	сухое	11,0	116	10	ЛН	134	КТ-500	газ.	закрыт.	1	Эл. изгородь	6
9	особо сырое	4,0	128	8	ЛЛ	138	ТВГ-8	жидк.	откр.	1	ВЛ свыше 1 кВ	48км
10	особо сырое	1,5	132	11	ЛЛ	154	КТ-500	ТВ.	откр.	1	Котел 3К-1МА	5
11	сухое	11,0	122	5	ЛН	130	ДКВР-20-13	ТВ.	откр.	1	Вентилятор	60
12	влажное	1,5	136	8	ЛЛ	158	КЖ-1500	газ.	закрыт.	2	КЛ свыше 1 кВ	26км
13	влажное	30	114	5	ЛН	118	ДКВР-4-13	жидк.	закрыт.	2	Холодильник ОТ-20	20
14	особо сырое	4,0	125	10	ЛЛ	128	ПТВМ-50	ТВ.	закрыт.	1	Бойлер	36
15	сырое	5,5	114	11	ЛН	130	КЖ-1500	жидк.	откр.	1	Топка механич	6

## Контрольные вопросы

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

## Литература

1. Ерошенко, Г.П. Эксплуатация электрооборудования [Текст] : учеб. пособие / Г.П.Ерошенко [и др.]. – М. :КолосС, 2008. – 337 с.

## Пример расчета

Приведем пример расчета для варианта 15.

Определим количество у.е.э. оборудования хозяйства. Результаты представим в виде таблицы 1.3.

Таблица 1.3 – Результаты перевода оборудования хозяйства в условные единицы

Вид оборудования	Тип помещения	Количество оборудования	Коэффициент перевода	Число условных единиц
1. Электропривод с АД $P = 5,5$ кВт	сырое	114	0,92x1,2	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 у.е.э. по хозяйству  $\sum Q = 439$  у.е.э., то выбираем специализированную централизованную форму обслуживания.

По **приложению 7** выбираем должность инженера-электрика, на которого 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:

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

## Практическое занятие № 2 ПРИЕМ 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 8.

### Методические указания

Допуску в эксплуатацию подлежат все электроустановки потребителей независимо от их ведомственной принадлежности напряжением выше 1000В, 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 [1].

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 энергосистемой на присоединение энергоустановок;
- 2) рабочий проект энергоснабжения;
- 3) разрешение на присоединение новой или дополнительной мощности, выданное владельцем энергоисточника;
- 4) справка РЭС или ПЭС о выполнении техусловий и готовности внешних сетей к подключению (форма 11);
- 5) выписка из приказа о назначении ответственного лица за электрохозяйство из числа ИТР электротехнической специальности с указанием занимаемой должности, квалификационной группы по 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 1).

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 и предполагаемая категория по надежности электроснабжения и другие необходимые материалы. 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 электроснабжающей 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.

### Практическое занятие № 3 АНАЛИЗ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ

**Цель занятия:** научиться анализу деятельности электротехнической службы хозяйства (ЭТС) с целью контроля эффективности эксплуатации электрооборудования и своевременного выявления резервов ее повышения.

**Задачи занятия:**

- 1) определить значения технико-экономических показателей работы ЭТС, используя данные таблицы 3.1;
- 2) сравнить расчетные значения с базисными;
- 3) принять решение о состоянии электротехнической службы хозяйства и указать конкретные пути повышения эффективности работы ЭТС.

**Методические указания**

ЭТС, какую бы форму не имела, 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  $k_t$ , величины которых находятся по следующим формулам:

$$\lambda = \frac{\Delta n}{n}, \quad (2,1)$$

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.

#### Контрольные вопросы

1. Последовательность приемки электроустановок в эксплуатацию.
2. Перечень и содержание приемосдаточной документации.
3. 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 течении какого времени и кем рассматривается заявка на подключение?

#### Литература

1. ПУЭ, Нормы приемосдаточных испытаний. – Мн.: Дизайн ПРО; 2008. – 720 с.

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

$$\tau = \frac{T_n}{T_u}, \quad (2,2)$$

где  $T_n$  – средневзвешенная продолжительность простоев техники по вине ЭТС, ч;

$T_u$  – число часов использования установленной мощности электрооборудования, ч.

$$T_n = \frac{1}{Y} \sum_{i=1}^{\Delta n} T_{ni} Y_i, \quad (2,3)$$

где  $Y$  – суммарный ущерб, руб;

$T_{ni}$ ,  $Y_i$  – продолжительность и ущерб от  $i$ -того отказа соответственно, ч, руб.

$$T_n = \frac{W}{P_{уст}}, \quad (2,4)$$

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

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

Коэффициент технического состояния:

$$k_t = (1 - \lambda)(1 - \tau) \quad (2,5)$$

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

$$Q_N = \frac{Q}{N}, \quad (2,6)$$

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:

$$\mathcal{E} = a_1 k_t + a_2 Q_N + a_3 Z_3 + a_4 T_n, \quad (2,7)$$

$$\mathcal{E} = (k_t)^{a_1} (Q_N)^{a_2} (Z_3)^{a_3} (T_n)^{a_4}, \quad (2,8)$$

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

$Z_3$  – затраты на единицу потребляемой электроэнергии руб/кВтч.

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

$$\Delta P_m = \frac{\Delta P}{M}; \quad (2,9)$$

$$\Delta W_m = \frac{\Delta W}{M}, \quad (2,10)$$

где  $\Delta P$ ,  $\Delta W$  – прирост установленной мощности электроустановок и потребленной электроэнергии соответственно, кВт, 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:

$$C_c = \frac{E\Phi_0 + \sum Z + \Pi_p + C_3}{W}, \quad (2,11)$$

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

$\Phi_0$  – основные фонды ЭТС, руб.;

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

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

$C_3$  – стоимость потребленной энергии, руб.

Стоимость обслуживания одной условной единицы электротехнического оборудования определяется по формуле:

$$C_{у.е.э.} = \frac{\sum Z + \Pi_p}{Q}, \quad (2,12)$$

## Индивидуальные задания

Таблица 3.1 – Исходные данные для расчета (стоимости приведены в ценах 1991 г.)

№ варианта	Наименование хозяйства N-го района	Число эл. монтеров N, чел.	Основные фонды ЭТС Ф <sub>о</sub> , руб	Установленная мощность эл.оборуд. P <sub>у.э.</sub> , кВт	Число электро-двигателей n, шт	Кол-во услед. эл.двигателей Q, у.е.э.	Число отказавш. эл.двиг., Δt, шт.	Средн. продолжит. простоев T п, ч	Потреб. эл. энергии, W, кВт.ч · 10 <sup>3</sup>	Стоимость выделенных ре- сурсов ΣЗ, руб
1	К-з им.Вой- кове	3	3300	2100	380	420	40	120	1200	2400
2	К-з им.Гастелло	6	6800	4500	700	760	42	120	2500	5200
3	К-з им. Калинина	7	8000	5000	850	900	84	120	3200	5800
4	К-з «Путь комму- низма»	5	6000	3500	620	700	90	220	2300	4100
5	К-з «Но- выйпуть»	13	12000	7000	1300	1350	71	220	4600	9000
6	С-з «Птич»	10	10000	6500	1050	1100	153	320	3600	7200
7	С-з «Виш- невка»	8	7000	5000	850	900	108	220	2800	6000
8	С-з «Больше- вик»	9	7500	6000	950	1000	109	120	3400	7200
9	С-з «Ро- говский»	5	5000	2800	500	530	30	120	1800	3400
10	С-з «Волма»	5	4500	2800	480	510	23	120	1650	3200
11	С-з «Но- выйпуть»	7	6500	4000	640	675	97	120	2100	4100
12	С-з «Озер- ный»	8	8500	5000	1000	1150	44	220	3400	6500
13	С-з «Бу- цевичи»	8	10000	6300	1020	1090	92	120	3800	7400
14	С-з «Бо- ровляны»	6	6800	4500	750	830	38	120	3150	4800
15	Учхоз им.Фрунзе	4	5000	3000	520	600	52	120	2150	3200

### Пример расчета

Приведем пример расчета для варианта 15.

Определим интенсивность отказов (2.1):

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

Определим коэффициент простоев (2.2):

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

Определим комплексный коэффициент технического состояния (2.3):

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

Определим производительность труда электромонтеров (2.6):

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

Определим себестоимость электрической энергии с учетом затрат на службу эксплуатации (2.11):

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

где 200 руб – условная среднемесячная зарплата одного электро-монтера, руб.;

0,01 руб. – тариф на электроэнергию.

Определим стоимость обслуживания одной условной единицы электрооборудования (2.12):

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

### 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  $C_{y.e.э.}$ , нельзя признать положительными факторами в работе ЭТС.

Необходимо увеличить число обслуживающего персонала и материальные ресурсы, чтобы стоимость обслуживания одной условной электротехнической единицы была около 35 руб. в ценах 1991 г.

## Контрольные вопросы

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

## Практическое занятие № 4 ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

### Цель занятия:

- 1) изучить объем и нормы приемо-сдаточных испытаний воздушных линий электропередачи (ВЛ) напряжением 0,38-35 кВ переменного тока;
- 2) приобрести практические навыки проведения приемо-сдаточных испытаний воздушных линий электропередачи.

### Задачи занятия:

- 1) изучить объем и нормы приемо-сдаточных испытаний воздушных и кабельных линий электропередач;
- 2) контроль стрелы провеса участка ВЛ;
- 3) проверка соединения проводов;
- 4) измерение сопротивления изоляции изоляторов;
- 5) правила приема воздушных линий в эксплуатацию.

### Краткие теоретические сведения по теме

Все вновь сооружаемые и реконструируемые ВЛ и токопроводы должны быть выполнены в соответствии с Правилами устройства электроустановок (ПУЭ) и действующими строительными нормами и правилами (СНиП).

### Проверка изоляторов

Электрические испытания стеклянных подвесных изоляторов не производятся. Контроль их состояния осуществляется путем внешнего осмотра. Для опорно-стержневых изоляторов испытания повышенным напряжением промышленной частоты не обязательно. Фарфоровые подвесные и опорные изоляторы испытываются в следующем объеме.

Измерение сопротивления изоляции подвесных и многоэлементных изоляторов. Производится мегомметром на напряжение 2,5 кВ только при положительных температурах окружающего воздуха. Проверку следует производить непосредственно перед их установкой на линиях электропередачи и в распределительных устройствах. Сопротивление изоляции каждого подвесного изолятора или каждого элемента штыревого изолятора должно быть не менее 300 МОм.

**Измерение сопротивления заземления опор,  
их оттяжек и тросов**

Профилактические проверки и измерения на воздушных линиях (ВЛ) электропередачи выполняются в объемах и сроки, предусмотренные нормами испытания электрооборудования и приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Нормы испытания ВЛ

Наименование испытания	Нормы испытания	Указания
1. Проверка состояния трассы ВЛ	Производится измерение ширины просеки, высоты деревьев и кустарников под проводами, расстояние от элементов ВЛ до стволов деревьев и их кроны	На ВЛ с неизолированными проводами производится не реже 1 раза в 3 года
2. Проверка состояния фундаментов опор	Измеряются размеры сколов и трещин фундаментов. Уменьшение диаметра фундаментных болтов	Периодичность измерений – 1 раз в 6 лет
3. Проверка состояния опор 3.1. Измерение прогибов металлических опор и элементов железобетонных опор 3.2. Контроль оттяжек опор	Измеряются прогибы траверса опоры 1:300 длины траверсы; стойка – 1:700 длины стойки, но не более 20 мм. Измеряется тяжение в тросовых оттяжках опор и контролируется целостность оттяжки. Уменьшение площади сечения троса оттяжки не должно превышать 10 %	Периодичность измерений не реже 1 раза в 6 лет и после воздействия на ВЛ механических нагрузок, превышающих расчетные По мере необходимости
3.3. Контроль коррозионного износа металлических элементов опор	Допустимое отношение фактического сечения к предусмотренному проектом не менее: 0,9 – для несущих элементов; 0,8 – для ненесущих элементов	На ВЛ в зонах V-VII степеней загрязненности атмосферы не реже 1 раза в 6 лет, в остальных – в соответствии с ППР

Продолжение таблицы 4.1

Наименование испытания	Нормы испытания	Указания
3.4. Контроль железобетонных опор и приставок	Производится измерения трещин, прогибов, разрушения бетона. Ширина поперечных трещин не более 0,6мм, продольных – не более 0,3 мм и не более двух на длине 3,0 м; Для вибрированных стоек соответственно 0,1 мм и 0,5 мм	Периодичность измерений не реже 1 раза в 6 лет
3.5. Контроль деревянных деталей опор	Отклонение размеров деталей от проектных допускается в пределах по диаметру – (-1+2) см по длине – $\pm 1$ см на каждый метр длины	В соответствии с установленными требованиями
3.6. Проверка правильности установки опор	Отклонение опоры от вертикальной оси вдоль и поперек линии (отношение отклонения верха к ее высоте): металлические опоры – 1:200; железобетонные одностоечные – 1:150; железобетонные порталные опоры – 1:100; деревянные опоры – 1:100. Смещение опоры перпендикулярно оси ВЛ (выход из створа) – не более 100 мм при длине пролета до 200 м	В соответствии с ППР
4. Контроль проводов, грозозащитных тросов	Производится измерение расстояний до поверхности земли, различных объектов и сооружений; установлены ПУЭ	Не реже 1 раза в 6 лет на пересечениях и сближениях; после замены, перетяжки проводов; после воздействия механических нагрузок



Окончание таблицы 4.1

Наименование испытания	Нормы испытания	Указания
5. Контроль стрел провеса расстояний до элементов ВЛ	Фактическая стрела провеса не должна отличаться от проектной более чем на 5 %	Периодичность измерений – 1 раз в 6 лет
6. Контроль сечения проводов и грозозащитных тросов	Измеряется площадь сечения проводов и тросов, изменившаяся в результате обрыва отдельных проволок	В соответствии с требованиями.
7. Контроль соединений проводов и тросов		В соответствии с ППР
8. Контроль изоляторов и изолирующих подвесок	Контроль состояния производится внешним осмотром	Проверка состояния стеклянных и полимерных подвесных изоляторов и любых изоляторов грозозащитных тросов не производится
9. Контроль линейной аппаратуры	Линейная аппаратура бракуется и подлежит замене, если: в аппаратуре имеются трещины, раковины, оплавы, изгибы	Производится внешним осмотром

**Измерение габаритов воздушных линий и стрелы провеса**

Стрела провеса провода (или троса) – это вертикальное расстояние от прямой, соединяющей точки подвеса провода (или троса) на соседних опорах до любой точки провода (или троса) в пролете (рисунок 4.1). Если точки подвеса провода находятся на одном уровне, то наибольшая стрела провеса провода будет в середине пролета. Величина стрелы провеса устанавливается в зависимости от температуры, при которой ведется натяжка провода, по монтажным таблицам или кривым, прилагаемым к проекту. Установку требуемой стрелы провеса производят, как правило, методом непосредственного визирования в намеченных контрольных пролетах. Контрольные пролеты намечают

вблизи от тягового механизма, количество их определяется в зависимости от длины анкерного участка. При длине анкерного участка до 3 км принимают один контрольный пролет, при большей длине – два-три. Стрелы провеса проводов и тросов, габариты линии до земли или пересекаемых объектов измеряют при приемке линии в эксплуатацию для проверки правильности монтажа. В процессе эксплуатации стрелы провеса и габариты могут изменяться за счет вытяжки проводов, проскальзывания проводов в подвесных и натяжных болтовых зажимах, в результате изменения длины гирлянды при замене дефектных изоляторов, наклонов опор, изменения конструкции опор при ремонтных и реконструктивных работах на линии. Строгой периодичности измерения стрел провеса проводов не установлено и эти измерения должны производиться по мере необходимости, определяемой в результате периодических осмотров, но не реже 1 раза в 6 лет. Стрелы провеса и габариты измеряются различными способами:

- 1) визирование (с помощью двух реек);
- 2) карманным высотомером;
- 3) с использованием оптических приборов (теодолит, нивелир).

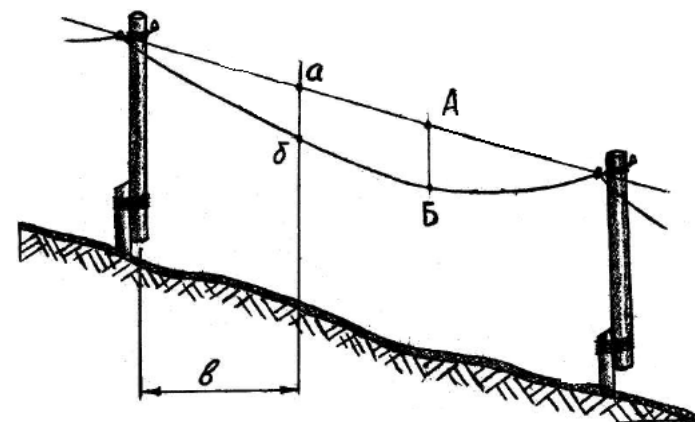


Рисунок 4.1 – Положение провода в пролете:  
*A-B* – наибольшая стрела провеса, *a-b* – стрела провеса провода на расстоянии *b* от опоры

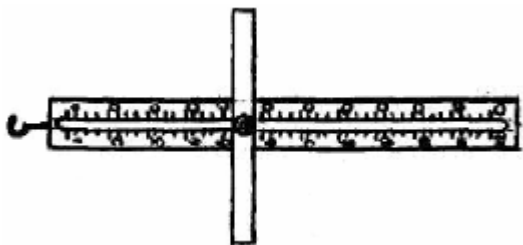


Рисунок 4.2– Визирная рейка

Для установки стрелы провеса провода методом визирования на промежуточных опорах, ограничивающих контрольный пролет, устанавливают визирные рейки (рисунок 4.2). Рейки прикрепляют к стойкам опор перпендикулярно направлению натяжки проводов. Высоту установки реек определяют, откладывая по стойке опоры вниз от места крепления траверсы расстояние, равное величине стрелы провеса плюс длина поддерживающей гилянды.

Измерение габаритов производится в условиях, когда стрелы провеса не являются наибольшими, поэтому следует точно записать температуру воздуха, при которой определялись габариты. На основании этих данных по специальным формулам или таблицам определяют максимальные стрелы провеса проводов и минимальные габариты. Результаты измерений и расчетов заносятся в ведомость:

\_\_\_\_\_ предприятие электросетей

**Ведомость измерений габаритов**

Линия \_\_\_\_\_ кВ \_\_\_\_\_ от опоры № \_\_\_\_\_ до опоры № \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ г.

(дата проверки)

№ п/п	Пролет между опорами	Марка провода	Расстояние от пересечения до опоры	Измеренный габарит	Температура воздуха	Величина поправки на максимальную температуру	Наименьший габарит при максимальной температуре	Намеченные мероприятия

Измерения проводились штангой № \_\_\_\_\_; прибором № \_\_\_\_\_  
 Производитель работ \_\_\_\_\_ с бригадой в составе:  
 (подпись)

\_\_\_\_\_ (фамилии членов бригады)

Проверил \_\_\_\_\_ Мастер РМС (участка) \_\_\_\_\_  
 (дата, подпись) (подпись)

**Проверка соединений проводов**

Проводится путем внешнего осмотра и измерения падения напряжения или сопротивления.

Опрессованные соединения проводов бракуются, если:

- 1) стальной сердечник расположен несимметрично;
- 2) геометрические размеры (длина и диаметр опрессованной части) не соответствуют требованиям инструкции по монтажу соединений данного типа;
- 3) на поверхности соединителя или зажима имеются трещины, следы значительной коррозии и механических повреждений;
- 4) падение напряжения или сопротивления на участке соединения (соединителя) более чем в 1,2 раза превышает падение напряжения или сопротивление на участке провода той же длины (испытание проводится выборочно на 5–10 % соединителей);
- 5) кривизна опрессованного соединителя превышает 3 % его длины;
- 6) стальной сердечник опрессованного соединителя расположен несимметрично.

Сварные соединения бракуются, если:

- 1) произошел пережог наружного провода или обнаружено нарушение сварки при перегибе соединительных проводов;
- 2) усадочная раковина в месте сварки имеет глубину более 1/3 диаметра провода;
- 3) падение напряжения или сопротивление превышает более чем в 1,2 раза падение напряжения или сопротивление на участке провода такой же длины.

С повреждениями проводов связано значительное количество аварий на линиях. Повреждения проводов, как правило, трудно выявить осмотром, в то же время развитие их может привести к обрыву провода и длительному выходу линии электропередач из эксплуатации.

По характеру повреждений проводов перечисленные выше повреждения можно разделить на следующие четыре группы:

- 1) повреждения, обусловленные коррозией;
- 2) повреждения, обусловленные действием электрической дуги;
- 3) повреждения, обусловленные вибрацией;
- 4) механические повреждения.

Коррозия проводов вызвана воздействием окружающей среды на провода и тросы. Наибольшей стойкостью против коррозии обладают медные провода. Алюминиевые и сталеалюминиевые провода чувствительны к воздействию различных щелочей. Стальной сердечник сталеалюминиевого провода практически закрыт от воздействия окружающей среды алюминиевыми повивами, а дополнительное оцинкование стальных проволок делает защиту сердечника более надежной.

Электрическая дуга может привести к полному пережогу провода, отдельных проволок наружных повивов или оплавлению наружного повива провода.

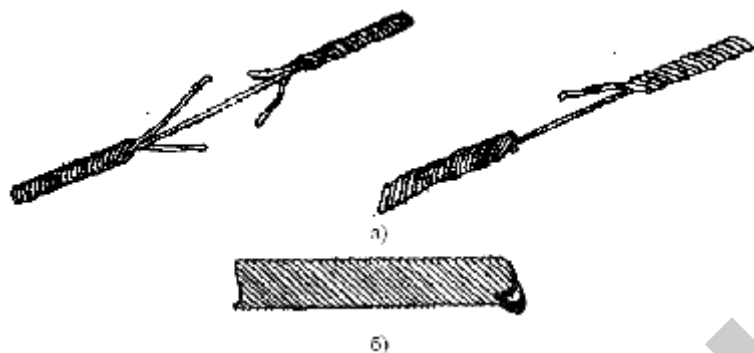


Рисунок 4.3 – Повреждение проводов электрической дугой:  
 а) повреждение верхнего повива;  
 б) пережог провода электрической дугой

Наиболее тяжелые последствия вызывает электрическая дуга на линиях с медными проводами, т. к. при перегорании нескольких проволок медного провода теряется большая, чем у сталеалюминиевых проводов, часть его механической прочности.

Пережог провода характеризуется оплавлением концов проволок в месте обрыва, а иногда и свариванием проводов разных повивов между собой (рисунок 4.3).

Механические повреждения проводов могут возникнуть вследствие неправильной конструкции линейной арматуры, дефектов

монтажа. Значительное увеличение гололедных нагрузок или задевание проводов вы-

сокогабаритными машинами может вызвать обрыв провода.

При хорошем качестве соединения проводов сопротивление контакта должно быть меньше сопротивления такого же по длине участка целого провода, так как общее сечение в месте соединения проводов больше, чем сечение провода. Состояние соединения оценивается величиной коэффициента дефектности, т. е. отношением сопротивления провода в месте соединения к сопротивлению целого провода такой же длины:

$$K_{\text{д}} = \frac{R_{\text{с}}}{R_{\text{ц}}},$$

где  $K_{\text{д}}$  – коэффициент дефектности;

$R_{\text{с}}$  – сопротивление провода в месте соединения, Ом;

$R_{\text{ц}}$  – сопротивление целого провода, Ом.

При коэффициенте дефектности 1,2 и более соединитель подлежит замене или ремонту.

Измерение сопротивления соединений может производиться на линии, находящейся под напряжением, или на отключенной линии. Измерение сопротивлений под напряжением производится путем сравнения падения напряжения на участке целого провода и в месте соединения при протекании рабочего тока линии. Поскольку величина тока на обоих участках одна и та же, отношение падений напряжения на них пропорционально отношению сопротивлений участков. Измерения производят специальной штангой с измерительной головкой, имеющей микровольтметр.

В некоторых случаях замер сопротивления соединений на линии, находящейся под напряжением, оказывается невозможным из-за малой величины тока нагрузки или недоступности соединителя (зажим установлен над болотом, водоемом или на большой высоте). Тогда замеры ведутся на отключенной линии с использованием микроомметров или специальных схем с переносной аккумуляторной батареей. Сопротивление соединения также должно сравниваться с сопротивлением участка целого провода такой же длины. Величина сопротивления определяется по величине тока и падения напряжения на контакте и на участке целого провода. В труднодоступных местах для измерения сопротивления соединителей производят опускание провода на землю и измерение проводят на земле.

Проверку качества соединений на линиях до 1000 В осуществляют внешним осмотром, на линиях выше 1000 В – внешним осмотром и замером сопротивления места соединения.

Внешним осмотром проверяют соответствие размеров соединительной арматуры сечению проводов, отсутствие на ней трещин или механических повреждений, отсутствие пережога провода и усадочных раковин при соединении сваркой. Сопротивление места соединения может быть измерено после выполнения каждого соединения или после включения линии под нагрузку. В последнем случае о величине сопротивления судят по падению напряжения на соединении и на целом участке провода той же длины. Падение напряжения измеряют измерительным прибором, установленным на специальной изолирующей штанге, обеспечивающей безопасность работ.

Проверка состояния мест соединений, выполненных овальными или фасонными соединителями, осуществляется путем измерения падения напряжения на соединении или путем замера сопротивления постоянному току (рисунок 4.4).

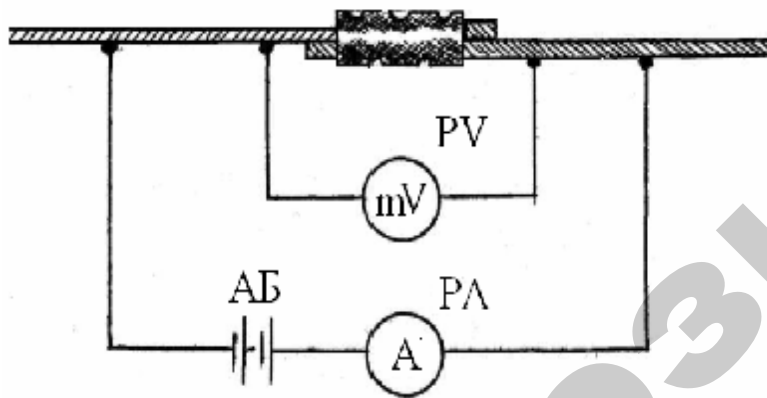


Рисунок 4.4 – Схема измерения сопротивления соединителей с помощью аккумуляторной батареи на отключенной ВЛ

Измерение падения напряжения может производиться с помощью специальных штанг непосредственно с опор, автомашин или со специальных приспособлений. Критерием качества соединения

будет являться отношение  $\frac{U_c}{U_{\text{ПР}}}$ , где  $U_c$  – падение напряжения на соединителе,  $U_{\text{ПР}}$  – падение напряжения на участке провода той же длины,  $U_{\text{ПР}} > 1,2$  соединитель подлежит замене.

#### **Перечень оборудования для обследования воздушных линий:**

- 1) визирные рейки;
- 2) аккумуляторная батарея;
- 3) амперметр;
- 4) микровольтметр;
- 5) мегомметр на 2500 В;
- 7) соединительные проводники.

#### **Эксплуатация воздушных линий с самонесущими изолированными проводами**

Воздушные линии 0,4 кВ с изолированными самонесущими проводами (ВЛИ-0,4кВ) представляет собой воздушную линию электропередачи напряжением 0,38 кВ с изолированными скрученными в жгут проводами (СИП), проложенными без изоляторов вне помещений на опорах, стенах зданий и сооружениях и между ними с применением специальной арматуры. Провода ВЛИ 0,38 кВ могут подвешиваться на опорах других ВЛ напряжением 0,38–20 кВ.

В конструкции СИП при необходимости могут добавляться изолированные контрольные провода и провода освещения. Жилы фазных проводов выполнены из алюминия, жила нулевого несущего провода – из алюминиевого сплава.

Изолирующая оболочка проводов выполнена из светостабилизированного атмосферостойкого полиэтилена черного цвета. На ВЛИ применяются СИП с несущим проводом или без него. СИП, выполненный без несущего провода, должен использоваться только для выполнения ответвлений к вводам в здания или сооружения при длине промежуточного пролета не более 20 м.

Технические характеристики СИП различного конструктивного исполнения приводятся в соответствующей нормативно-технической документации.

Маркировка проводов приводится в технической документации на конкретные типы проводов. Сооружение ВЛИ 0,38 кВ осуществляется с применением специальной арматуры и с помощью инст-

рументов и приспособлений, предназначенных для проводов конкретного конструктивного исполнения. Технические характеристики арматуры для соединения и подвески СИП на опорах, а также прокладки по фасадам зданий и сооружений приводятся в технической документации конкретных фирм и заводов-изготовителей.

Правила эксплуатации воздушных линий с самонесущими изолированными проводами регламентируются типовыми инструкциями. Типовая инструкция содержит требования и рекомендации по организации и проведению технического обслуживания и ремонта ВЛИ 0,38 кВ, а также рекомендуемый порядок выполнения отдельных видов ремонтных работ.

На основании типовой инструкции могут быть составлены местные инструкции, учитывающие конкретные условия эксплуатации ВЛИ 0,38 кВ, применяемые методы работ, квалификацию персонала, инструмент, приспособления и механизмы. Техническое обслуживание ВЛИ 0,38 кВ предусматривает выполнение работ согласно таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Техническое обслуживание ВЛИ 0,38 кВ

Наименование работы	Периодичность	Примечание
<b>1. Осмотры</b>		
1.1. Осмотр после стихийного явления	Для определения объема восстановительного ремонта; после окончания ремонта	С заполнением листка осмотра
1.2. Осмотр, в том числе верховой, ВЛИ, включенной в план ремонта на следующий год	В течение года, предшествующего проведению ремонта	На основании результатов осмотра составляются сметы и спецификации. Осмотр выполняется с участием инженерно-технического персонала
<b>2. Проверки опор и их элементов</b>		
2.1. Проверка степени загнивания древесины опор и их элементов	Перед подъемом на опору. В процессе осмотра по п. 1.2. Не реже одного раза в 3 года	С заполнением ведомости контроля загнивания

Продолжение таблицы 4.2

Наименование работы	Периодичность	Примечание
2.2. Проверка состояния железобетонных опор, их элементов, железобетонных приставок	Перед подъемом на опору. В процессе осмотра по п. 1.2. При замене деталей. Не реже одного раза в 6 лет	С заполнением ведомости
2.3. Проверка состояния заземления опор	В процессе осмотра по п. 1.2. Не реже одного раза в 6 лет	То же
2.4. Измерение сопротивления петли «фаза-нуль»	При подключении новых потребителей. При возрастании нагрузки, требующей замены плавкой вставки предохранителя или установки автоматического выключателя. При выполнении работ, вызывающих изменение сопротивления	-"
<b>3. Проверки проводов и арматуры</b>		
3.1. Проверка габаритов проводов, расстояний приближения в местах пересечений	В процессе осмотра п. 1.2	С заполнением ведомости
3.2. Проверка расстояний приближения проводов ВЛИ и других ВЛ при совместной подвеске на общих опорах	То же	Оформляется в паспорте ВЛИ
3.3. Проверка наличия и состояния защитных кожухов на ответвительных зажимах	-"	С заполнением ведомости

Продолжение таблицы 4.2

Наименование работы	Периодичность	Примечание
3.4. Проверка отсутствия повреждений анкерных зажимов и их изолирующих частей	-"	То же
3.5. Проверка отсутствия повреждений соединительных зажимов и их изолирующего покрытия	-"	-"
3.6. Проверка состояния поддерживающих зажимов, узлов их крепления к опоре, наличия изолирующих накладок	-"	-"
3.7. Проверка состояния изоляции проводов в местах соприкосновения с деревьями, отдельными сучьями	-"	-"
3.8. Проверка отсутствия повреждений зажимов и арматуры для соединения проводов с оборудованием и подземным кабелем	-"	-"
3.9. Проверка состояния секционирующих устройств, рубильников-предохранителей, из защитных кожухов, узлов крепления к опоре	-"	-"

Продолжение таблицы 4.2

Наименование работы	Периодичность	Примечание
3.10. Проверка состояния разрядников	-"	-"
<b>4. Отдельные работы, выполняемые по мере необходимости</b>		
4.1. Вырубка отдельных деревьев, обрезка сучьев, угрожающих повреждению провода или изоляции провода		Оформляется в паспорте ВЛИ
4.2. Замена дефектных элементов опор		Оформляется в паспорте ВЛИ
4.3. Выправка опор		
4.4. Уплотнение грунта в пазухах котлованов опор		С заполнением ведомости
4.5. Перетяжка проводов		-"
4.6. Замена оборванных заземляющих проводников		-"
4.7. Замена поврежденных или установка отсутствующих защитных кожухов на зажимах и колпачков на свободных торцах изолированных проводов		-"
4.8. Наложение изолирующей скрепляющей ленты на поврежденные места проводов		-"
4.9. Наложение отсутствующих бандажных хомутов или скрепляющей ленты на жгуты проводов в местах установки анкерных, поддерживающих, соединительных, ответвительных и других зажимов		-"

Осмотры ВЛИ производятся в соответствии с графиком в дневное время. При верховых осмотрах тщательно обследуются крюки, крон-

штейны, поддерживающие, анкерные (концевые), соединительные и ответвительные зажимы, защитные кожухи и колпачки, изоляция проводов фаз и нулевого несущего провода, особенно в местах установки зажимов, соединений провода с заземляющими проводниками. Осмотр после стихийных явлений (сверхрасчетные гололедные и ветровые нагрузки, ледоход и разливы рек на участках ВЛИ, пожары вблизи ВЛИ, ураганы, оползни и т. п.) производится с целью выявления дефектов и повреждений, вызванных этими явлениями, а также повреждений, вызванных падением деревьев на провода и опоры. Оценка состояния деревянных элементов опор производится специальными инструментами и приспособлениями с целью выявления недопустимого загнивания приставки или стойки, обгорания элемента. Проверка состояния железобетонных опор и приставок производится с целью выявления оголения арматуры, растрескивания бетона, недопустимого изгиба стойки. Проверка качества заделки опор в грунте производится с целью выявления увеличенных наклонов промежуточных опор и оценки прочности опор анкерного типа. При проверке состояния заземления опор выявляются повышенные значения сопротивления и разрушение заземляющего контура. Проверка габаритов СИП и расстояний до проводов других ВЛ при совместной подвеске на общих опорах, расстояний до различных объектов выполняется для выявления нарушений габаритов до земли, расстояний сближений и пересечений, а также нарушений расстояний в свету до стен и других элементов зданий и сооружений. Измерение сопротивления «фаза-нуль» производится для выявления соответствия значения сопротивления петли «фаза-нуль» предъявляемым требованиям. Перечень приспособлений и инструмента для обслуживания ВЛИ-0,38 приведен в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Перечень приспособлений и инструмента для обслуживания ВЛИ 0,38 кв (рекомендуемый)

Наименование	Количество
1. Пояс монтерский	1
2. Когти комбинированные монтерские для подъема на деревянные опоры	1 пара
3. Лазы для подъема на железобетонные опоры	1 пара
4. Перчатки диэлектрические	1 пара
5. Очки защитные с небьющимися стеклами	1
6. Указатель напряжения до 1000 В	1

Окончание таблицы 4.3

Наименование	Количество
7. Рукавицы хлопчатобумажные	1 пара
8. Перенхное заземление	2
9. Плоскогубцы комбинированные 200 мм	1
10. Напильник личной 200–250 мм	1
11. Отвертка 4 и 6 мм	2
12. Кусачки 200 мм	1
13. Ключ гаечный разводной № 2 или № 3	1
14. Зубило 150 мм	1
15. Молоток слесарный 0,5 кг	1
16. Нож монтерский	1
17. Метр складной	1
18. Сумка монтерская для инструмента	1

#### **Правила приема воздушных линий в эксплуатацию**

Вновь сооруженную ВЛ принимает приемочная комиссия. Линия должна удовлетворить требования действующих ПУЭ и СНиП. При приемке в эксплуатацию новой ВЛ напряжением до 1 кВ следующая организация передает эксплуатирующей организации следующую документацию:

- проект линии с расчетами и изменениями, внесенными в процессе строительства и согласованными с проектной организацией;
- исполнительную схему сети с указаниями на ней сечений проводов и их марок, защитных заземлений, средств молниезащиты, типов опор и др;
- акты осмотра выполненных переходов и пересечений, составленные совместно с представителями заинтересованных организаций;
- акты на скрытые работы по устройству заземления и заглублений опор;
- описание конструкции заземлений и протоколы измерений сопротивления заземляющего устройства;
- паспорт линии, составленный по установленной форме;
- инвентарную опись вспомогательных сооружений линии, сдаваемого аварийного запаса материалов и оборудования;

- протокол контрольной проверки стрел провеса и габаритов ВЛ в пролетах и пересечениях;
- равномерность распределения нагрузки по фазам;
- акты испытаний.

При приемке ВЛ напряжением 10 кВ и выше кроме перечисленной документации должны быть переданы: трехлинейные схемы; журналы соединений проводов; журнал по монтажу заземления опор; журнал монтажа проводов и тросов на анкерных участках.

Включение ВЛ под рабочее напряжение производится после допуска линии в эксплуатацию в соответствии с Правилами пользования электрической энергией. На опорах ВЛ должны быть установлены (нанесены) обозначения, предусмотренные ПУЭ. На первой опоре от источника питания указывается наименование ВЛ.

### Методические указания

1. Изучить объем и нормы приемосдаточных испытаний воздушных линий электропривода.
2. Изучить методику измерения сопротивления изоляции при помощи мегомметра.
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 с самонесущими изолированными проводами.
7. Изучить правила приема воздушных линий в эксплуатацию.

**Оформление отчета по практическому занятию:** выполнить отчет по индивидуальному заданию.

### Контрольные вопросы

1. Перечень основных работ по эксплуатации воздушных линий электропривода.
2. Способы измерения габаритов линий и стрел провеса проводов.
3. Контроль соединений проводов. Определение контактного соединения при помощи измерительной штанги.

4. Определения сопротивления соединения при отключенной линии электропередач.

5. Контроль изоляторов путем измерения напряжения на изоляторе с помощью изолирующей штанги.

6. Проверка изоляторов при помощи мегомметра.

7. Эксплуатация ВЛ 0,38 кВ с самонесущими измерительными проводами.

8. Профилактические испытания воздушных линий.

9. Измерение сопротивления заземления опор и тросов ВЛ.

10. Требование к сопротивлению заземленных устройств ВЛ.

11. Проверка сопротивления петли «фаза-ноль».

12. Приемка в эксплуатацию воздушных линий.

13. Приемка в эксплуатацию воздушных линий с самонесущими изолированными проводами.





ПРОТОКОЛ

измерения сопротивления изоляции проводов и кабелей

Заказчик \_\_\_\_\_ Объект \_\_\_\_\_

Город \_\_\_\_\_ «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 200\_г.

Электромонтажные работы выполнены \_\_\_\_\_

1. Измерение произведено меггером типа \_\_\_\_\_ на \_\_\_\_\_  
 фабричный № \_\_\_\_\_

2. Ф.И.О. и должность лица, производившего измерения \_\_\_\_\_

3. Данные измерений \_\_\_\_\_

№ п/п	Наименование филера и № филера обознач. по кабельному журналу	Марка	Кол-во жил и сечение, мм <sup>2</sup>	Рабочее напряжение, кВ	Длина, м	Сопротивление изоляции, МОм						Примечание
						7	8	9	10	11	12	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

Председатель монтажной организации \_\_\_\_\_

Председатель заказчика \_\_\_\_\_

ПРОТОКОЛ

испытания изоляции повышенным напряжением

Заказчик \_\_\_\_\_ Объект \_\_\_\_\_

Город \_\_\_\_\_ «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 200\_г.

Электромонтажные работы выполнены \_\_\_\_\_

1. Испытания произведены аппаратом \_\_\_\_\_  
 фабричный № \_\_\_\_\_ и меггером на \_\_\_\_\_

2. Ф.И.О., должность лица, производящего измерения \_\_\_\_\_

3. Данные испытаний \_\_\_\_\_

№ п/п	Наименование объекта	Наименование фазы	Результаты испытания				Примечание
			Сопротивление изоляции, МГОм	Напряжение, кВ	Ток утечки, мА	Сопротивление изоляции, МГОм-км	
1	2	3	4	5	6	7	8
		А					
		В					
		С					
		А-В					
		А-С					
		В-С					

Представители монтажной организации \_\_\_\_\_

Представитель заказчика \_\_\_\_\_

## Приложение 4

### Перечень параметров частотного преобразователя Mitsubishi

Параметр	Название	Показания	Диапазон изменения	Единица изменения	Заводская установка	Установка пользователя
0	Стартовый момент	P 0	0–15 %	0,1 %	6 %	
1	Верхняя граница частоты	P 1	0–120 Гц	0,1 Гц	50 Гц	
2	Нижняя граница частоты	P 2	0–120 Гц	0,1 Гц	0 Гц	
3	Номинальная частота	P 3	0–120 Гц	0,1 Гц	50 Гц	
4	Многоскоростной режим (высокая скорость)	P 4	0–120 Гц	0,1 Гц	50 Гц	
5	Многоскоростной режим (средняя скорость)	P 5	0–120 Гц	0,1 Гц	30 Гц	
6	Многоскоростной режим (низкая скорость)	P 6	0–120 Гц	0,1 Гц	10 Гц	
7	Время разгона	P 7	0–999 с	0,1 с	5 с	
8	Время торможения	P 8	0–999 с	0,1 с	5 с	
9	Электронная защита от токовой перегрузки двигателя	P 9	0–50 А	0,1 А	Номи. выходи. ток	
Параметр	Название	Краткое описание				Заводская установка
	Индикация					
10	P 10	Частота тормоза постоянного тока	Параметры определяют, соответственно, частоту включения режима торможения (0–120 Гц), время торможения (0–10 с) и напряжение торможения (0–15 %). При использовании постоянно моментного двигателя, рекомендуется установить Пар.12 = «4»			3 Гц
11	P 11	Время работы тормоза пост.тока				0,5 с
12	P 12	Напряжение тормоза пост.тока				6 %

13	P 13	Стартовая частота	Данная частота влияет на стартовый момент двигателя. Для подъемников и лифтов рекомендуется ставить ее 1 3 Гц (max 5 Гц). Для других приложений рекомендуется оставить заводскую установку 0.5 Гц. Диапазон изменения 0-60 Гц.	0,5 Гц
14	P 14	Тип нагрузки	Выбор вида U/f-характеристики, в зависимости от типа нагрузки. 0: Для нагрузки с постоянным моментом (если большой момент необходим во всем диапазоне частот). 1: Для нагрузки с переменным моментом (где момент мал при низкой скорости, например, вентиляторы и насосы) 2: Для вертикальных подъемников (без усиления момента при реверсном вращении) 3: Для вертикальных подъемников (без усиления момента при прямом вращении)	0
15	P 15	JOG частота	Частота (0-120 Гц) и время разгона/торможения (0-999 сек) JOG-режима.	5 Гц
16	P 16	Время разгона/торможения до JOG-частоты		0,5 с
17	P 17	Направление вращения от кнопки RUN	Параметр определяет направление вращения при старте от кнопки RUN. 0: прямое вращение, 1: реверсивное вращение	0
19	P 19	Номинальное напряжение	Величина выходного напряжения при номинальной частоте (Пар. 3). 888: 95% напряжения источника питания ---: 100% источника питания 0-500 В, 800, ---	888
20	P 20	Частота разгона/торможения	Опорная частота для Пар.7 «время разгона» и Пар. 8 «время торможения» определяют время разгона/торможения от/до частоты 0 Гц. 1-120 Гц.	50 Гц
21	P 21	Функция предотвращения останова	Эта функция увеличивает времени разгона или уменьшает времени	0

22	P 22	Уровень токоограничения	торможения при заданном токоограничении (0–200 %), предотвращая останов по перегрузке. Пар.21 позволяет управлять процессами разгона/торможения. Если Пар.22 = 170 % или более, а требуемый момент не может быть развит, установите «1» в Пар.21	150 %																				
23	P 23	Уровень токоограничения на удвоенной скорости	Используйте параметр для уменьшения уровня токоограниченности на частотах выше номинальной. Установка любого значения кроме - - -, означает уровень токоограничения на частоте 120 Гц, который ниже уровня установленного в Пар.22 для номинальной частоты	- - -																				
24	P 24	Установка скорости 4	С помощью комбинации сигналов (RH, RM, RL), могут быть заданы заранее запрограммированные скорости.	- - -																				
25	P 25	Установка скорости 5		- - -																				
26	P 26	Установка скорости 6		- - -																				
27	P 27	Установка скорости 7		- - -																				
			<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>RH</th> <th>RM</th> <th>RL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Скорость 4</td> <td>Выкл</td> <td>Вкл</td> <td>Вкл</td> </tr> <tr> <td>Скорость 5</td> <td>Вкл</td> <td>Выкл</td> <td>Вкл</td> </tr> <tr> <td>Скорость 6</td> <td>Вкл</td> <td>Вкл</td> <td>Выкл</td> </tr> <tr> <td>Скорость 7</td> <td>Вкл</td> <td>Вкл</td> <td>Вкл</td> </tr> </tbody> </table>		RH	RM	RL	Скорость 4	Выкл	Вкл	Вкл	Скорость 5	Вкл	Выкл	Вкл	Скорость 6	Вкл	Вкл	Выкл	Скорость 7	Вкл	Вкл	Вкл	
	RH	RM	RL																					
Скорость 4	Выкл	Вкл	Вкл																					
Скорость 5	Вкл	Выкл	Вкл																					
Скорость 6	Вкл	Вкл	Выкл																					
Скорость 7	Вкл	Вкл	Вкл																					
			0–120 Гц, - - -																					
28	P 28	Частота уменьшения уровня токоограничения	Вы можете уменьшить уровень токоограничения в высокочастотном диапазоне. 0-120 Гц.	50 Гц																				
29	P 29	Характеристика разгона/торможения	Используется для задания характеристики изменения частоты при разгоне/торможении 0: Линейная характеристика 1: S – образная характеристика типа А (например, для шпинделей) 2: S – образная характеристика типа В (например, для конвейеров)	0																				
Пар.30 (смотрите перечень основных параметров).																								
31	P31	Скачок частоты 1А	Для избежания резонанса механической системы, установите диапазон частот, позволяющий вырезать из рабочего диапазона резонансные частоты.	- - -																				
32	P32	Скачок частоты 1В		- - -																				
33	P33	Скачок частоты 2А		- - -																				
34	P34	Скачок частоты 2В		- - -																				
35	P35	Скачок частоты 3А		- - -																				
36	P36	Скачок частоты 3В		0–120 Гц - - -	- - -																			

37	P37	Индикация скорости	Вместо частоты, вы можете вывести на индикатор пульта управления значение скорости рабочего органа. 0: индикация выходной частоты 0,1–999: индикация скорости рабочего органа(установите значение скорости рабочего органа, соответствующее 60 Гц). 0,1–999	0
38	P38	Частота соответствующая конечному значению напряжения задания	Вы можете установить желаемую крутизну характеристики определяющей зависимость частоты от задающего напряжения (0–5 В или 0–1 В). 1–120 Гц	50 Гц
39	P39	Частота соответствующая конечному значению тока задания	Вы можете установить желаемую крутизну характеристики определяющей зависимость частоты от задающего тока (4–20 мА). 1–120 Гц	50 Гц
40	P40	Определение утечки на «землю» при старте	Параметр активизирует или запрещает, проведение проверки утечки на «землю» при старте. 0: не проверять 1: проверять	1
41	P41	Диапазон выдачи сигнала SU	Сигнал SU выдается, если выходная частота достигла заданной с точностью до величины, установленной в данном параметре. Он может быть задан в диапазоне от 0 до 100% от заданной частоты. Этот сигнал может использоваться внешними релейными схемами для подтверждения того, что заданная частота отработана. Используйте Пар. 64 или Пар. 65 для определения выходной клеммы, соответствующие функции FU 0–120 Гц.	

42	P42	Частота FU	Сигнал(FU) выдается, если выходная частота достигает или превышает заданную величину. Этот сигнал можно использовать для управления электромагнитным тормозом и т. д. Используйте Пар. 64 или Пар. 65 для определения выходной клеммы соответствующие функции FU 0–120 Гц	0
43	P43	Частота FU для реверсного вращения	Сигнал (FU) выдается, если выходная частота достигает или превышает заданную величину. Эта частота действительна также для реверсного вращения. 0–120 Гц	0
44	P44	Второе время разгона/торможения	Второе время разгона/торможения. 0–999 с	0
41	P41	Диапазон выдачи сигнала SU	Сигнал SU выдается, если выходная частота достигла заданной с точностью до величины, установленной в данном параметре. Он может быть задан в диапазоне от 0 до 100 % от заданной частоты. Этот сигнал может использоваться внешними релейными схемами для подтверждения того, что заданная частота отработана. Используйте Пар. 64 или Пар. 65 для определения выходной клеммы, соответствующие функции FU 0–120 Гц	
42	P42	Частота FU	Сигнал(FU) выдается, если выходная частота достигает или превышает заданную величину. Этот сигнал можно использовать для управления электромагнитным тормозом и т.д. Используйте Пар. 64 или Пар. 65 для определения выходной клеммы соответствующие функции FU 0–120 Гц	6 Гц
43	P43	Частота FU для реверсного вращения	Сигнал (FU) выдается, если выходная частота достигает или превышает заданную величину. Эта частота действительна также для реверсного вращения. 0–120 Гц	

44	P44	Второе время разгона/торможения	Второе значение времени разгона/торможения. 0–999 с	5 с
45	P45	Второе время торможения	Второе значение времени торможения. 0–999 с	
46	P46	Второй стартовый момент	Второе значение стартового момента. 0–15 %	
47	P47	Вторая номинальная частота	Вторая номинальная частоты. 0–120 Гц	
48	P48	Уровень контроля выходного тока.	Установите уровень контроля выходного тока (выходной сигнал Y12)	150 %
49	P49	Время задержки сигнала контроля выходного тока	Если выходной ток больше установленного в Пар.48 уровня, в течении времени установленного в Пар. 49, выдается сигнал Y12 0–10 с	0 с
50	P50	Уровень контроля нулевого тока	Установите уровень контроля нулевого тока 0–200 %	5 %
51	P51	Время определения нулевого тока	Если выходной ток меньше уровня установленного в Пар.50 в течении времени определенного Пар.51 выдается сигнал Y13 0,05–1 с	0,5 с
52	P52	Вид индикации пульта	Вы можете выбрать вид индикатора пульта: 0: Выходная частота 1: Выходной ток 100: Выходная частота во время работы заданная частота при остановки	0
53	P53	Выбор управления настройки частоты.	Вы можете использовать задатчик как потенциометр за управлением частотой. 0: Режимы задатчика частоты. 1: Режим потенциометра	0
54	P54	Функции выхода АМ (FM)	Вы можете выбрать величину для вывода на клемму АМ (FM): 0: Вывод выходной частоты 1: Вывод выходного тока	0
55	P55	Масштаб мониторинга частоты	Установите опорное значение масштаба мониторинга частоты 0–120 Гц	50 Гц
56	P56	Масштаб мониторинга тока	Установите опорное значение масштаба мониторинга тока 0–50 А	Номинальный ток

57	P57	Время свободного вращения до рестарта	При восстановлении питания после кратковременного пропадания напряжения питающей сети, преобразователь может запуститься при вращающемся по инерции двигателе	
42	P42	Частота FU	Сигнал(FU) выдается, если выходная частота достигает или превышает заданную величину. Этот сигнал можно использовать для управления электромагнитным тормозом и т.д. Используйте Пар. 64 или Пар. 65 для определения выходной клеммы соответствующие функции FU 0–120 Гц	0
43	P43	Частота FU для реверсного вращения	Сигнал (FU) выдается, если выходная частота достигает или превышает заданную величину. Эта частота действительна также для реверсного вращения. 0–120 Гц	0
44	P44	Второе время разгона/торможения	Второе время разгона/торможения. 0–999 с	0

\* – основные параметры выделены жирным шрифтом

**Нормы перевода электротехнического оборудования в условные единицы затрат труда**

Наименование электротехнического оборудования	Переводные коэффициенты
1. Линии электропередачи воздушные (на один км линии): до 1 кВ; свыше 1 кВ	3,93 3,0
2. Кабельные линии (на один км линии): до 1 кВ; свыше 1 кВ	1,29 1,90
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; 1,1...10 кВт; 10,1...40 кВт; свыше 40 кВт 5.2. В сырых и пыльных помещениях: до 1 кВт; 1,1...10 кВт; 10,1...40 кВт; свыше 40 кВт	0,44 0,61 0,72 0,92 0,67 0,92 1,13 1,38

<i>5.3. В особо сырых и с химически активной средой помещений:</i>	
до 1 кВт;	0,88
1,1...10 кВт;	1,28
10,1...40 кВт;	1,55
свыше 40 кВт	1,80
<i>5.4. В открытых установках:</i>	
до 1 кВт;	1,07
1,1... 10 кВт;	1,52
10,1...40 кВт;	1,84
свыше 40 кВт	2,24
б. Электротермические установки (на одну установку с электропроводкой и аппаратурой, контроля и защиты)'	
<i>б.1. Электроводонагреватели электродные водогрейные:</i>	
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
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
<i>б.3. Электроводонагреватели бытовые емкостью:</i>	
б...100 л;	0,98
<i>б.4. Электроплиты стационарные напольные типа «Томь», «Лысьва» (на одну электроплиту с электропроводкой и аппаратурой управления, контроля и защиты)</i>	
	0,25
<i>б.5. Электроплиты стационарные других типов (на 1 кВт установленной мощности плиты)</i>	
	0,05

<i>б.6. Электрокалориферы (на одну установку с воздушнонагревателем, электроприводом вентилятора, электропроводкой и аппаратурой управления, контроля и защиты):</i>	
до 40 кВт;	3,16
41...60 кВт;	3,38
свыше 60 кВт	3,78
<i>б.7. Электровулканизаторы (на одну установку с электропроводкой и аппаратурой управления, контроля и защиты)</i>	
	0,29
<i>б.8. Сушильные шкафы электрические</i>	
	0,53
<i>б.9. Дистилляторы электрические</i>	
	0,90
<i>б.10. Электрообогреваемые коврики и панели (на один коврик и одну панель с электропроводкой и аппаратурой управления, контроля и защиты)</i>	
	0,15
<i>б.11. Устройство электрообогрева полов и животноводческих помещений (на 100 м<sup>2</sup> помещения, включая необогреваемые проходы и тамбуры)</i>	
	0,73
<i>б.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)</i>	
	0,80
7. Сварочные 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) <i>10.1. В сухих и влажных помещениях:</i>	
с 1...2 лампами накаливания;	0,65
с 3...6 лампами накаливания;	0,99
с 1...2 люминесцентными лампами;	0,86
с 3...6 люминесцентными лампами	1,41
<i>10.2. В сырых и пыльных помещениях:</i>	
с лампами накаливания;	0,91
с люминесцентными лампами;	1,74
с дуговыми лампами высокого давления	1,03
<i>10.3. В особо сырых и с химически активной средой помещений:</i>	
- с лампами накаливания;	1,40
- с люминесцентными лампами;	2,07
- с дуговыми лампами высокого давления	1,61
<i>10.4. Наружное освещение (на 10 светильников с электропроводкой и аппаратурой управления, контроля и защиты)</i>	
с лампами накаливания;	1,35
с 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 штук, транзисторов (тиристоров) более 10 штук (на одно наименование):	
- реле и контакторы;	0,04
- транзисторы, тиристоры;	0,01
- микросхемы;	0,02

- электронные лампы;	0,02
- потенциометры, мосты, электронные самопишущие	1,10
13. Электроизгороди (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) <sup>7</sup>	0,30
15. Электропроводки жилых домов <sup>8</sup> :	
многоквартирных (на одну квартиру);	0,10
усадебного типа (на один дом)	0,15
16 Работы, выполняемые силами эксплуатационного персонала:	
- по монтажу новых электроустановок (на 10 тыс. руб.)	170,0
- по капитальному ремонту (на 5 тыс. руб.)	100,0
17 Мелкомонтажные работы (на 100 усл.ед. электрооборудования)	15,0

## Примечания:

- Для агрегатов, находящихся в холодном резерве, трудоемкость умножается на коэффициент 0,15.
- Указанная трудоемкость в условных единицах приведена для случаев работы двигателей в течение 6...10 часов в сутки. При использовании двигателей менее 6 часов условные единицы умножаются на коэффициент 0,85, при работе более 10 часов в сутки – на коэффициент 1,2.
- Перечисленные условные единицы учитывают наличие в электроустановках вводных и распределительных щитов, заземляющих устройств, измерительных приборов, устройств защиты и сигнализации.
- Условные единицы трудоемкости обслуживания работающих дизельных электростанций не учитывают работы дежурного машиниста.
- Условные единицы электротехнического оборудования учитывают трудозатраты на выполнение плановых технических обслуживания и текущих ремонтов, оперативное обслуживание, затраты времени на подготовку рабочих мест и необходимые проезды (переходы) к ним.
- Приборы учета на электростанциях и подстанциях включены в трудоемкость обслуживания подстанций.



## Приложение 6

### Нормы перевода теплотехнического оборудования в условные единицы затрат труда

Наименование теплотехнического оборудования	Переводные коэффициенты
<b>1. КОТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ*</b>	
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-721 А, 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
<b>2. КОТЕЛЬНО-ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ</b>	
Топки механические	23,3
Топки полумеханические	6,4
Механические решетки	15,8
Мельницы молотковые для угля	16,8
Дробилки молотковые для угля	8,5
Механизированная система шлакоудаления	5,4
Мазутное хозяйство	13,9
Система химической водоочистки	7,2
Цикле мы и скрубберы	2,4
Бойлеры	3,8
Горелки пылеугольные	1,7
Деаэраторы в комплекте	8,6

<b>3.ПРОЧЕЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕПЛОВЫЕ СЕТИ</b>	
Тепловые пункты в комплекте	6,2
Водопровод холодной и горячей воды, паропровод	3,2
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)	
ХМ-АУ-45, ХМ-АВ-22, ХМ-АУУ-90	

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

## Приложение 7

### Типовые штаты и штатные нормативы службы главного энергетика

Должность	Нормативы для введения должностей	Примечание
Главный энергетик	Один на хозяйство, имеющее электроустановок свыше 1500 условных единиц 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)	Один на хозяйство, имеющее электроустановки от 1001 до 1500 условных единиц и потребляющее свыше 1,0 млн кВт-ч электроэнергии на производственные цели в год	
Старший инженер-энергетик	Один на хозяйство, имеющее электроустановки от 501 до 1000 условных единиц и потребляющее свыше 0,5 млн кВт-ч электроэнергии на производственные цели в год	
Инженер-электрик	Один на хозяйство, имеющее электроустановки от 251 до 500 условных единиц и потребляющее свыше 0,5 млн кВт-ч электроэнергии на производственные цели в год	

Старший техник-электрик	Один на хозяйство, имеющее электроустановки от 101 до 250 условных единиц	
Инженер-электрик	Одна должность на каждые 1100 условных единиц электроустановок	
Старший техник-электрик (техник-электрик)	Одна должность на каждые 650 условных единиц электроустановок	
Старший инженер-теплотехник	Один на хозяйство, имеющее площадь теплиц и парников на техническом обогреве свыше 50 тыс. м <sup>2</sup> или котельную мощностью свыше 15т пара в час	
Инженер-теплотехник	Один на хозяйство, имеющее площадь теплиц и парников на техническом обогреве от 20 до 50 тыс. м <sup>2</sup> или котельную мощностью от 7 до 15 т пара в час	
Старший инженер по холодильному оборудованию	Один на хозяйство, имеющее объем холодильников для хранения мяса свыше 10 т или для хранения плодов, ягод, винограда и овощей свыше 20 т	

## Приложение 8

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

Учебное издание

**Дайнеко** Владимир Александрович  
**Сафонов** Олег Станиславович  
**Соболевский** Сергей Викторович

### ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ И СРЕДСТВ АВТОМАТИКИ

*Практикум*

Ответственный за выпуск *В.А. Дайнеко*  
Технический редактор *М.А. Макрецкая*  
Корректор *М.А. Макрецкая*  
Компьютерная верстка *М.А. Макрецкая*

Подписано в печать 14.04.2009 г. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman. Ризография. Усл. печ. л. 3,29.  
Уч.-изд. л. 2,73. Тираж 182 экз. Заказ 109.

Издатель и полиграфическое исполнение  
Белорусский государственный аграрный технический университет  
ЛИ № 02330/0131734 от 10.02.2006. ЛП № 02330/0131656 от 02.02.2006.  
220023, г. Минск, пр. Независимости, 99, к. 2