

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации  
ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет»

*А.А. Василенко, А.С. Дебрин*

***МОНТАЖ, ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И РЕМОНТ  
ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК***

*Лабораторный практикум*

*Электронное издание*

Красноярск 2022

ББК 31.29-5-08я73

В 19

*Рецензент:*

*В.Б. Белый, кандидат технических наук, доцент кафедры  
электрификации и автоматизации сельского хозяйства  
ФГБОУ ВО «Алтайский государственный аграрный университет»*

В 19 **Василенко, А.А.**

Монтаж, техническое обслуживание и ремонт электроустановок [Электронный ресурс]: лабораторный практикум / А.А. Василенко, А.С. Дебрин; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2022. – 82 с.

Приведены методика проведения лабораторных работ, описание схем лабораторных установок, методика проведения расчетов по полученным результатам, а также данные для выполнения индивидуальной контрольной работы.

Предназначено для студентов центра подготовки специалистов среднего звена, обучающихся по специальности 35.02.08 – Электрификация и автоматизация сельского хозяйства.

ББК 31.29-5-08я73

## **ВВЕДЕНИЕ**

Дисциплина «Монтаж, техническое обслуживание и ремонт электроустановок» изучает современные достижения в области индустриализации и механизации электромонтажных работ, передовые технологии их производства, организацию системы эксплуатации электрооборудования на передовых предприятиях, а также научную организацию труда.

### **Задачи изучения дисциплины**

В результате изучения дисциплины студент должен решить задачи по классификации современных материалов, применяемых в электротехнических устройствах, взаимосвязи состава, строения, основных свойств материалов с процессами, происходящими в них при воздействии электрического и магнитного полей, температуры, состава рабочей среды и других факторов, что является необходимой основой их рационального применения.

Дисциплина нацелена на формирование общекультурных и профессиональных компетенций:

ОК 1 – понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес;

ОК 2 – организовывать собственную деятельность, выбирать типовые методы и способы выполнения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество;

ОК 3 – принимать решения в стандартных и нестандартных ситуациях и нести за них ответственность;

ОК 4 – осуществлять поиск и использование информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и личностного развития;

ОК 5 – использовать информационно–коммуникационные технологии в профессиональной деятельности;

ОК 6 – работать в коллективе и в команде, эффективно общаться с коллегами, руководством, потребителями;

ОК 7 – брать на себя ответственность за работу членов команды (подчиненных), за результат выполнения заданий;

ОК 8 – самостоятельно определять задачи профессионального и личностного развития, заниматься самообразованием, осознанно планировать повышение квалификации;

ОК 9 – ориентироваться в условиях частой смены технологий в профессиональной деятельности;

ПК-1.1 – выполнять монтаж электрооборудования и автоматических систем управления;

ПК-1.2 – выполнять монтаж и эксплуатацию осветительных и электронагревательных установок;

ПК-2.1 – выполнять мероприятия по бесперебойному электрообеспечению сельскохозяйственных организаций.

В результате изучения дисциплины студент должен:

***Знать:***

– назначение светотехнических и электротехнологических установок в сельском хозяйстве;

– принцип действия и особенности работы электропривода в условиях сельскохозяйственного производства;

– общие сведения о световой и лучистой энергии;

– характеристики осветительных приборов и аппаратуры;

– нормы освещенности;

– способы прокладки проводов и кабелей;

– приспособления и оборудование, применяемые при монтаже проводов, кабелей и электрооборудования;

– систему эксплуатации, методы и технологию наладки, ремонта и повышения надежности электрооборудования и средств автоматизации сельскохозяйственного производства;

– элементы и системы автоматики и телемеханики;

– виды дефектов сельскохозяйственных производственных силовых и осветительных электроустановок с электрическими схемами средней сложности, их признаки, причины, методы предупреждения и устранения;

– меры по профилактике ремонта сельскохозяйственных производственных силовых и осветительных электроустановок с электрическими схемами средней сложности;

– порядок подготовки силовых и осветительных электропроводов, электродвигателей, трансформаторов, пускорегулирующей и защитной аппаратуры к работе в зимних и летних условиях;

– правила безопасности при ремонтных работах;

– порядок вывода в ремонт электрооборудования и допуска к ремонтным работам;

- правила поведения ремонтного персонала в распределительных устройствах и помещениях сельскохозяйственной организации;
- правила применения защитных средств.

***Уметь:***

- производить расчет силовых и осветительных электроустановок с электрическими схемами средней сложности;
- выполнять размотку, разделку, прокладку силового кабеля;
- выполнять работы по снятию и разборке выключателей нагрузки и разъединителей;
- выполнять ремонт деталей электроустановок, чистку, смазку установку на место и регулирование контактов и приводов;
- выполнять проверку заземления разъединителей и привода, правильности работы блокировки;
- выполнять монтаж и демонтаж пускорегулирующей и коммутационной аппаратуры с разделкой и присоединением концов проводов;
- выполнять заделки конца кабеля различного вида, монтаж вводных устройств и соединительных муфт;
- выполнять зарядку, установку и присоединение к линии различных светильников;
- монтировать ячейки распределительных устройств с установкой аппаратуры;
- выполнять проверку цепей вторичной коммутации;
- выполнять монтаж электрофильтров;
- диагностировать неисправности производственных силовых и осветительных электроустановок с электрическими схемами средней сложности.

***Владеть:***

- навыками монтажа производственных силовых и осветительных электроустановок с электрическими схемами средней сложности;
- методиками технического обслуживания производственных силовых и осветительных электроустановок с электрическими схемами средней сложности;
- способами и методами ремонта производственных силовых и осветительных электроустановок с электрическими схемами средней сложности.

# **Лабораторная работа № 1. ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ И НАЛАДКА СВЕТИЛЬНИКА ДЛЯ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ЛАМП**

**Цель работы:** изучить общие положения и нормы по обслуживанию осветительных сетей, перечень оборудования и схемы светильников с люминесцентными лампами.

## **Содержание и последовательность работы:**

- изучить конструктивное исполнение представленного светильника, определить его марку;
- согласно схеме (см. рис. 2) выполнить соединение элементов светильника;
- после проверки собранной схемы преподавателем подключить электропитание и проверить светильник в работе;
- разобрать схему.

## **Основные теоретические положения**

Обслуживание осветительных электроустановок заключается в постоянном надзоре, периодической проверке и своевременном ремонте элементов осветительных устройств. Сроки проведения проверок, осмотров и ремонтов устанавливаются в соответствии с Правилами технической эксплуатации в зависимости от условий эксплуатации осветительных электроустановок. Исправность системы аварийного освещения проверяют не реже одного раза в три месяца; состояние электропроводок, плавких вставок предохранителей и оборудования рабочего и аварийного освещения – одного раза в год.

Испытание и измерение сопротивления изоляции проводов и кабелей проводят не реже одного раза в три года; измерение нагрузок и напряжения в отдельных точках электросети – одного раза в год; испытание изоляции трансформаторов с вторичным напряжением 12–42 В – одного раза в год, а переносных трансформаторов – одного раза в месяц.

Во время осмотра осветительных сетей проверяют состояние открыто проложенных кабелей и проводов, концевых заделок кабелей, целостность заземляющих проводников, качество соединений и ответвлений проводов, отсутствие нагрева в соединениях. При осмотре групповых и магистральных щитков проверяется соответствие плав-

ких вставок предохранителей рабочим токам цепей, исправность выключателей, автоматов, штепсельных розеток и их контактных частей. При осмотре светильников обращают внимание на состояние арматуры и ее деталей, прочность крепления стеклянного колпака, исправность и нагрев патрона, соответствие мощности лампы типу светильника, прочность крепления светильника, целостность заземляющего проводника, исправность стартерных и дроссельных устройств у газоразрядных ламп, состояние тросовых подвесок и прочность их крепления.

Все неисправности, выявленные при осмотре, должны устраняться немедленно. При большом объеме необходимых работ дефекты записывают в журнал осмотров и устраняют при текущем ремонте.

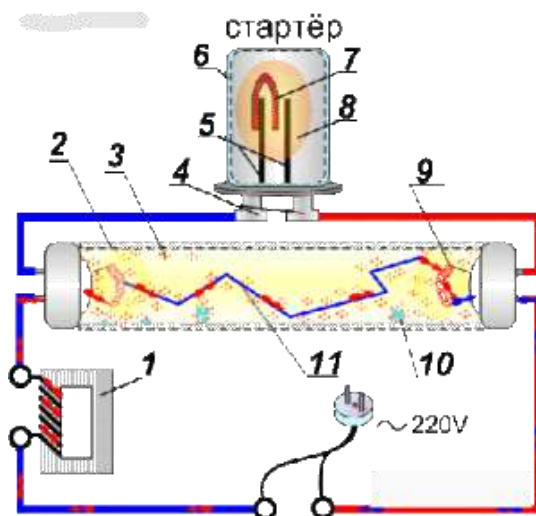
Частота чистки светильников зависит от многих факторов и, в первую очередь, от среды освещаемого помещения. Так, в производственных помещениях, где имеется пыль, дым и копоть в количестве более  $10 \text{ мг/м}^3$  – чистку светильников проводят два раза в месяц; при загрязнении от 5 до  $10 \text{ мг/м}^3$  – один раз в месяц; при содержании их не более  $5 \text{ мг/м}^3$ , а также в помещениях с нормальной воздушной средой – один раз в 3 месяца. На современных крупных промышленных комплексах, в которых установлены тысячи различных светильников, чистка, как правило, проводится в мастерской на специальном оборудовании с применением необходимых моющих средств. В этой же мастерской выполняются профилактический и текущий ремонты осветительных приборов, проверка источников света, аппаратов включения и т. д.

Люминесцентные светильники достаточно распространены в наше время. Они часто используются для освещения помещений различного назначения, начиная от офисных, заканчивая производственными помещениями промышленных предприятий. Такие светильники приобрели широкое применение благодаря множеству преимуществ по сравнению с обычными лампами накаливания.

Но данные светильники имеют существенный недостаток – низкая надежность. Это связано с тем, что для работы светильника недостаточно одной лампы, в его конструкции присутствуют вспомогательные элементы, что также несколько усложняет его эксплуатацию, в частности его ремонт. Рассмотрим особенности ремонта люминесцентных светильников.

Для того чтобы найти неисправность светильника, необходимо знать его принцип работы. Конструктивно светильник помимо лампы

имеет вспомогательные элементы, предназначенные для пуска и работы лампы – стартер и дроссель, так называемую пускорегулирующую аппаратуру (ПРА) (рис. 1).



*Рисунок 1 – Схема подключения одной люминесцентной лампы мощностью 36 Вт:*

*1 – пускорегулирующий аппарат (стабилизатор); 2 – трубка лампы, включающая в себя электроды, газ и люминофор; 3 – слой люминофора; 4 – стартерные контакты; 5 – стартерные электроды; 6 – цилиндр корпуса стартера; 7 – пластинка из биметалла; 8 – наполнение колбы из инертного газа; 9 – нити накаливания; 10 – излучение ультрафиолета; 11 – пробой*

Стартер представляет собой неоновую лампу с двумя (реже одним) биметаллическими электродами. При подаче напряжения на люминесцентный светильник в стартере образуется разряд, который способствует замыканию изначально разомкнутых электродов стартера. При этом в цепи течет большой ток, который разогревает газовый промежуток в колбе люминесцентной лампы, а также сами биметаллические электроды стартера.

В момент, когда электроды стартера размыкаются, происходит бросок напряжения, который обеспечивает дроссель. Под действием повышенного напряжения газовый промежуток в лампе пробивается, и она загорается. Дроссель подключен с лампой последовательно, поэтому напряжение питания 220 В делится по 110 В, на лампу и дроссель соответственно.

Стартер подключается к лампе параллельно, соответственно, при работе лампы на него подводится напряжение лампы. Этого значения напряжения не хватает для повторного замыкания электродов



стартера, то есть он участвует в схеме только в момент включения люминесцентного светильника.



*Рисунок 2 – Схема последовательного подключения двух люминесцентных ламп мощностью 18 Вт*

Дроссель, помимо генерации импульса повышенного напряжения, ограничивает ток при включении светильника (при замыкании контактов стартера), а также обеспечивает стабильное горение разряда в лампе во время ее работы.



*Рисунок 3 – Общий вид светильника с ПРА*

При ремонте люминесцентного светильника необходимо в первую очередь помнить о мерах безопасности. Перед тем как приступить к замене или проверке элементов светильника, необходимо его полностью обесточить и убедиться в том, что к нему не подходит электрический ток.

Перейдем непосредственно к рассмотрению причин, по которым может не работать люминесцентный светильник (рис. 3, 4).

Люминесцентный светильник, в отличие от обычных цокольных ламп, имеет большое количество контактных соединений. Поэтому одной из причин неработоспособности светильника может быть отсутствие контакта в той или иной части светильника.

То есть перед тем как делать вывод о том, что один из элементов светильника неисправен, необходимо убедиться в надежности контактов и при необходимости решить данную проблему путем подтяжки винтовых соединений, а также зачистки и поджатия втычных контактов.

В данном случае необходимо проверить надежность контакта в патроне неработающей лампы, стартера, на зажимах дросселя, а также на клеммах, к которым производится подключение питающих проводников светильника. Проверку контактов можно производить визуально, но если дальнейший поиск неисправности светильника не даст результатов, то следует вернуться повторно к проверке контактных соединений, но уже с тестером, осуществляя прозвонку каждого из контактов.



*Рисунок 4 – Общий вид светильника с ЭПРА*

Если контакты находятся в нормальном состоянии, то следует проверить саму люминесцентную лампу на предмет целостности. Для этого следует ее вынуть из патрона и вставить в заведомо рабочий люминесцентный светильник. Если лампа не горит, то ее следует заменить. Но следует учитывать тот факт, что она могла перегореть по причине неисправности дросселя, поэтому перед тем, как в неработающий светильник ставить новую лампу, необходимо убедиться в работоспособности дросселя светильника (рис. 5).

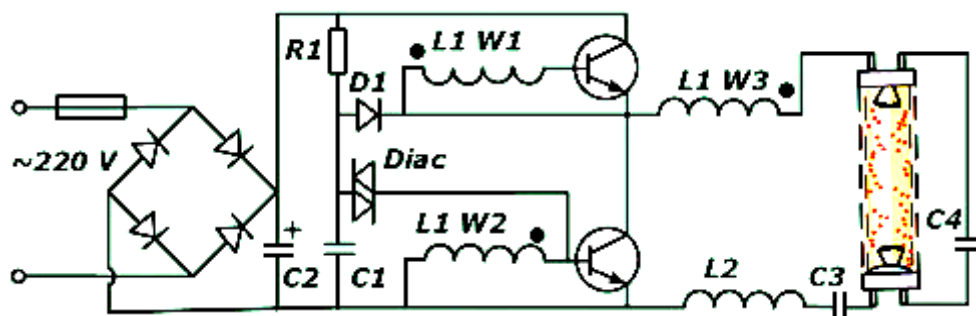


Рисунок 5 – Принципиальная схема подключения ЭПРА к люминесцентной лампе

Следующая причина неработоспособности светильника – неисправный стартер. Неисправность стартера может проявляться или полной неработоспособностью лампы или ее характерным мерцанием.

Если при включении светильника контакты стартера не замыкаются, то не будет наблюдаться никаких признаков работы лампы. Или, наоборот, контакты стартера замкнулись и не размыкаются – в таком случае лампа будет мерцать, но не загораться. Если стартер вынуть – она будет работать в нормальном режиме. В обоих случаях ремонт сводится к замене стартера.

Еще одна причина – неисправность дросселя. Характерным признаком неисправности дросселя может быть частичное нарушение целостности изоляции ее обмотки, которое проявляется резким изменением его характеристик (тока в момент пуска лампы и в процессе ее работы). Визуально это видно по нестабильной работе лампы после ее включения. Лампа в данном случае включается в обычном режиме, но при ее работе наблюдаются нехарактерные для ее нормальной работы мерцания, неравномерность свечения.

Как и упоминалось выше, лампа может перегореть по причине неисправности дросселя, а именно наличия в нем межвиткового короткого замыкания. Если при перегорании лампы появился характерный запах гари, то, скорее всего, произошло повреждение дросселя.

При установке нового стартера или дросселя необходимо обращать внимание на их номинальное напряжение и мощность, значения данных параметров должны соответствовать ранее установленным элементам.

Следует также обратить особое внимание на напряжение в сети и его стабильность. Нестабильное и повышенное/пониженное напряжение является основной причиной выхода из строя ПРА, перегора-

ния ламп или нестабильной работы светильника. Если не решить проблему с некачественным электроснабжением, то люминесцентный светильник будет часто выходить из строя.

### **Контрольные вопросы**

1. Устройство и принцип работы стартера.
2. Для чего нужен дроссель?
3. Устройство дросселя.
4. Устройство люминесцентной лампы.
5. Причины низкой надежности светильников с люминесцентными лампами.
6. Как расшифровывается аббревиатура – ПРА, ЭПРА.
7. Используются ли светильники с люминесцентными лампами в сельском хозяйстве?
8. Последовательность подключения устройств светильника.
9. Предназначение люминофора в люминесцентной лампе.
10. Преимущества и недостатки ПРА, ЭПРА.

## **Лабораторная работа № 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ КАБЕЛЬНОЙ ЛИНИИ С ПОМОЩЬЮ КАБЕЛЬНОГО МОСТА ПКМ-105**

**Цель работы:** формирование умений и навыков проведения диагностики и определения вида повреждения кабельной линии при помощи моста кабельного портативного ПКМ-105.

### **Содержание и последовательность работы:**

- ознакомиться с теоретическим материалом по теме лабораторно-практической работы;
- ознакомиться с указаниями руководства по эксплуатации кабельного моста ПКМ-105;
- выполнить при помощи моста кабельного портативного ПКМ-105 измерение величины между фазовых емкостей и активных сопротивлений;
- повторить измерения для уточнения или подтверждения вида повреждения.

**Используемое оборудование:** лабораторная установка состоит из модели кабельной линии электропередачи ОПКЛ.001, моста кабельного портативного ПКМ-105.

### **Правила техники безопасности при выполнении лабораторной работы:**

- к выполнению работы допускаются лица, ознакомленные с мерами безопасности;
- все измерения необходимо производить на отключенной с обеих сторон линии;
- во избежание выхода прибора ПКМ-105 из строя после каждого измерения необходимо предварительно разрядить линию, замкнув жилы между собой и на заземляющее устройство;
- подключение лабораторной установки к сети допускается только преподавателем;
- при питании прибора ПКМ-105 от внешнего источника убедиться в соответствии напряжения питания прибора напряжению питающей сети;
- запрещается работа на лабораторной установке при снятом кожухе;
- студенты обязаны бережно обращаться с оборудованием и измерительными приборами, и несут ответственность за их порчу или вывод из строя приборов и оборудования по их вине;

- обо всех неисправностях приборов студенты обязаны немедленно сообщить преподавателю;
- студенты обязаны во время выполнения лабораторной работы соблюдать тишину, не покидать рабочего места без разрешения преподавателя.

### **Основные теоретические положения**

Все повреждения по характеру делятся на устойчивые и неустойчивые, простые и сложные.

К устойчивым повреждениям относятся короткие замыкания (КЗ), низкоомные утечки и обрывы. Характерной особенностью устойчивых повреждений является неизменность сопротивления в месте повреждения с течением времени и под воздействием различных дестабилизирующих факторов.

К неустойчивым повреждениям относятся утечки и продольные сопротивления с большими величинами сопротивлений, «заплывающие пробой» в силовых кабельных линиях, увлажнения места нарушения изоляции и другие. Неустойчивые повреждения могут самоустраняться, оставаться неустойчивыми или переходить при определенных условиях в устойчивые.

Сопротивление в месте неустойчивого повреждения может изменяться как с течением времени, так и под воздействием различных дестабилизирующих факторов (напряжения, тока, температуры и др.).

Устойчивость повреждения может быть определена посредством измерения сопротивления изоляции и прозвонки поврежденного кабеля при отсутствии или наличии дестабилизирующих факторов. Это первая операция является обязательной для определения места повреждения как силовой кабельной линии.

Повреждения в кабельных линиях по их характеру могут быть подразделены на следующие виды:

- 1) повреждения изоляции, вызывающие замыкание одной фазы на землю;
- 2) повреждения изоляции, вызывающие замыкание двух или трёх фаз на землю либо двух или трёх между собой;
- 3) обрыв одной, двух или трех фаз одновременно, без заземления или с заземлением, как оборванных, так и необорванных;
- 4) заплывающий пробой изоляции;

5) сложные повреждения, представляющие комбинации из вышеупомянутых видов повреждений, а также повреждение линии одновременно в двух и более местах, каждое из которых может относиться к одному из вышеуказанных видов.

В кабельных линиях напряжением 6-10кВ, выполненных однофазными кабелями или кабелями с отдельными металлическими оболочками жил, двухфазные и трёхфазные повреждения изоляции практически происходят очень редко. Наиболее распространенным видом повреждения силовых кабельных линий является повреждение изоляции между жилой и металлической оболочкой кабеля или корпусом муфты, т.е. однофазного повреждения.

При повреждении кабельной линии в процессе работы или профилактических испытаний повышенным напряжением прежде всего необходимо выявить характер повреждения. В большинстве случаев для этого бывает достаточно с помощью мегаомметра определить:

- а) сопротивление изоляции между парой токоведущих жил;
- б) сопротивление изоляции между каждой токоведущей жилой по отношению к земле;
- в) целостность токоведущих жил.

Измерения производятся на кабельной линии, которая отсоединена от источника питания и от неё отсоединены все электроприёмники. Измерение сопротивления изоляции КЛ рекомендуется производить мегаомметром на напряжение 2500 В. Для измерения электрического сопротивления токоведущих жил могут использоваться мосты постоянного тока.

Если мегаомметром не удастся определить характер повреждения изоляции, его определяют поочередными испытаниями изоляции токоведущих жил по отношению друг к другу и к металлической оболочке кабеля повышенным напряжением постоянного тока от испытательной установки.

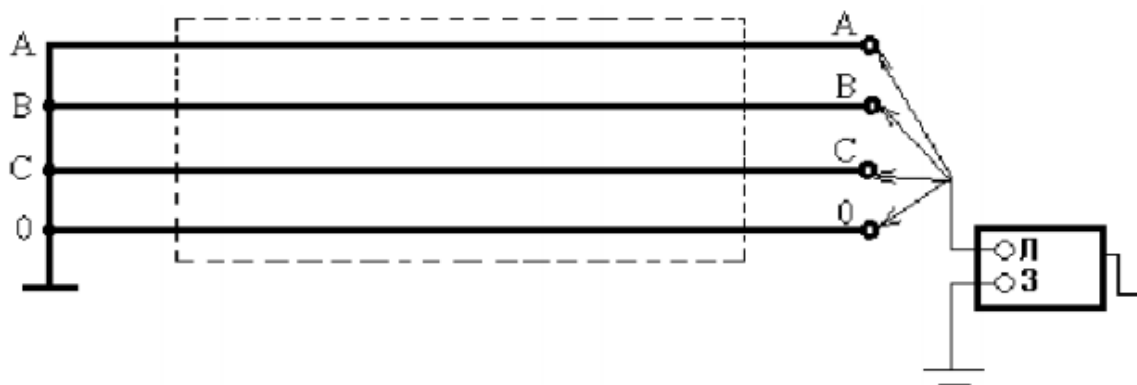
После того как произведены все необходимые измерения и выявлен характер повреждения кабельной линии, выбирают методы определения места повреждения. Сначала находят зону повреждения кабельной линии, затем различными методами измерения уточняют место повреждения непосредственно на трассе.

Для определения зоны повреждения линии принимают следующие относительные методы: импульсный, метод колебательного разряда, петлевой, емкостный. Чаще всего используется импульсный и петлевой. Чтобы уточнить место повреждения непосредственно на

трассе линии, рекомендуется применять следующие абсолютные методы измерений: акустический, индукционный, метод накладной рамки.

Определение целостности жил кабельной линии (кабеля) осуществляется мегаомметром по схеме, представленной на рисунке 1.

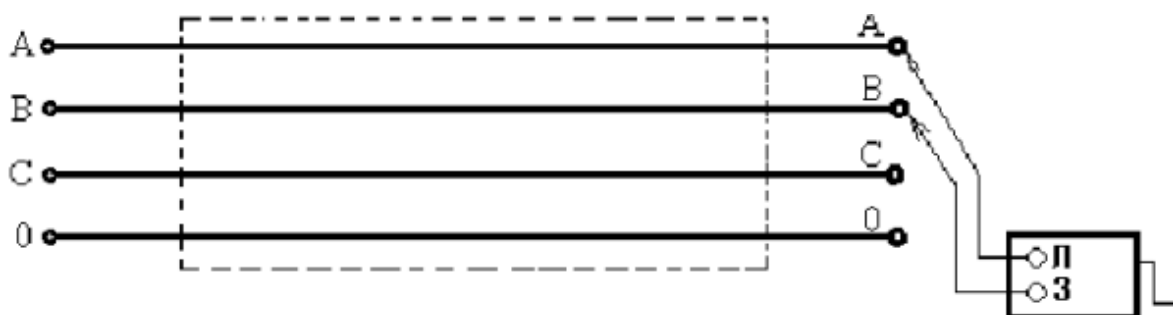
При проверке кабельным мостом осуществляется анализ величин сопротивления изоляции и емкости жил. При измерении сопротивления изоляции на поврежденной жиле (повреждение «обрыв жилы») показания прибора будут учитывать величины сопротивления участка кабеля до точки обрыва и воздушного промежутка.



*Рисунок 1 – Схема определения целостности жил кабеля*

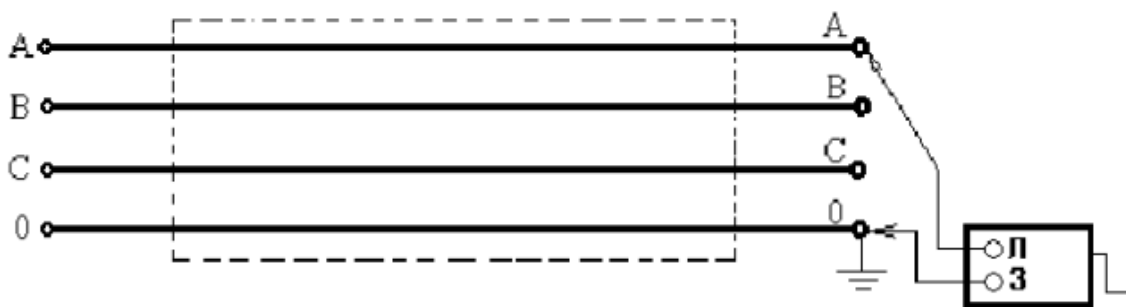
Емкость поврежденной жилы уменьшится пропорционально длине жилы. Измерения сопротивления изоляции кабельной линии между фазами и между фазой и «землей» осуществляются с помощью мегаомметра по схемам, представленным на рисунках 2 и 3.

Согласно ПУЭ, сопротивление изоляции должно быть не ниже 0,5 МОм.



*Рисунок 2 – Схема измерения сопротивления изоляции между фазами*



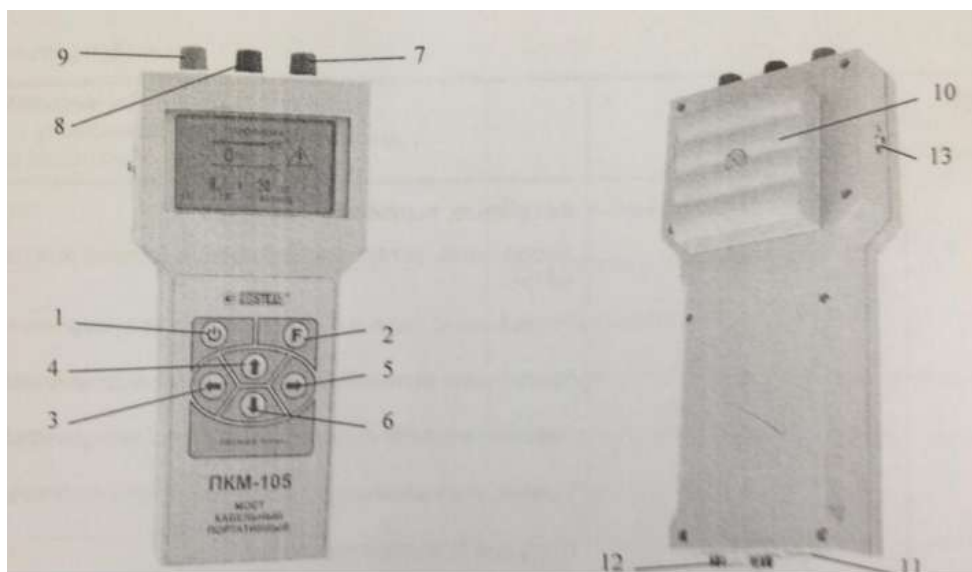


*Рисунок 3 – Схема измерения сопротивления изоляции между фазой и «землей»*

При измерении кабельным мостом ПКМ-105 сопротивление изоляции между поврежденными жилами (повреждение «межфазное замыкание», повреждение фазной изоляции относительно «земли») будет равняться «0».

Емкость поврежденных жил будет стремиться к бесконечности.

В данной лабораторной работе используется кабельный мост ПКМ-105. Внешний вид верхней панели кабельного моста ПКМ-105 показан на рисунке 4.



*Рисунок 4 – Кабельный мост ПКМ-105:*

*1 – кнопка включения, выключения прибора; 2 – кнопка вызова меню, установки выбранного режима или параметра; 3–6 – кнопки изменения величины параметра, перемещения; 7–9 – гнезда входа для подключения линии; 10 – крышка отсека аккумуляторов; 11 – гнездо подсоединения блока зарядки или внешнего источника; 12 – гнездо подключения компьютера; 13 – переключатель подсветки*

В основу работы прибора ПКМ-105 положен мостовой метод измерения.

Мостовой метод измерения используется при контрольных измерениях и для локализации высокоомных повреждений изоляции на кабелях.


Эти повреждения по величине сопротивления можно условно разделить на три группы:

1. Низкое сопротивление изоляции или короткое замыкание между жилами пары.
2. Низкое сопротивление изоляции жилы относительно земли или замыкание на землю.
3. Связь между парами.

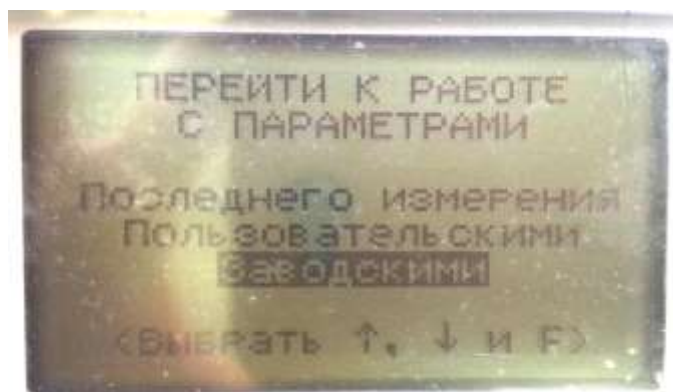
Для локализации повреждений в кабеле мостовым методом необходимым является наличие хотя бы одной «хорошей» жилы между местом подключения прибора и концом кабеля. «Хорошая» жила должна иметь высокое сопротивление изоляции. На практике в качестве «хорошей» жилы выбирается та, которая имеет наибольшее сопротивление изоляции.

### **Порядок выполнения лабораторной работы**

Убедитесь, что автоматический выключатель в однофазном источнике питания отключен. Подключите однофазный источник питания к розетке 220 В сети питания лаборатории/мастерской с помощью сетевого шнура. Подключите блок питания-зарядки универсальный к кабельному мосту ПКМ-105 и однофазному источнику питания.

Включите прибор, трижды нажав кнопку «», при третьем нажатии удерживая её до включения прибора.

После окончания калибровки прибор выдаст запрос о выборе установок, установите режим с параметрами, записанными в начальной заводской установке памяти, выбрав пункт «заводскими».



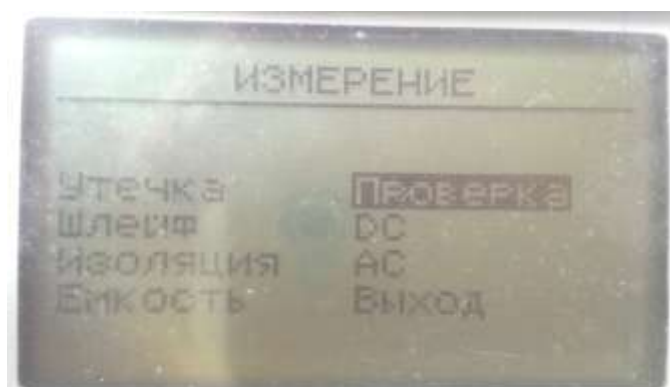
*Рисунок 5 – Выбор пункта «Заводскими» в меню кабельного моста ПКМ-105*

Установите в основном меню режим «Измерение».

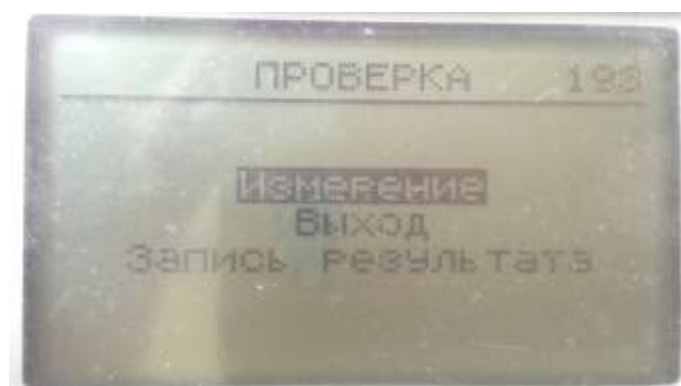


*Рисунок 6 – Выбор пункта «Измерение» в меню кабельного моста ПКМ-105*

Выберите пункт «Проверка».



*Рисунок 7 – Выбор пункта «Проверка» в меню кабельного моста ПКМ-105*



*Рисунок 8 – Выбор пункта «Измерение» в меню кабельного моста ПКМ-105*

На экране появится схема проверки.



Рисунок 9 – Общий вид схемы при проверке кабеля

Вставьте в гнезда А2, В2, С2 на лицевой панели модели контактные штыри и подключите к ним соответственно измерительные проводники А, В, С кабельного моста ПКМ. Внимание! Во время измерений в режиме «Проверка» на клеммах А, В, С присутствует высокое напряжение. Для измерения нажмите кнопку «F», на экране появится результат измерения. Полученные результаты запишите в таблицу протокола проверки (рис. 10). Проанализируйте полученные показания (величины активных сопротивлений и междупазовых емкостей), сделайте вывод о виде повреждения кабельной линии. Подтвердите (уточните) вид повреждения, подключив измерительные проводники А, В, С кабельного моста к трем другим жилам кабеля, например, соответственно к гнездам А2, В2, N2 на лицевой панели модели и повторите измерения. Результаты, полученные при подтверждении (уточнении) вида повреждения, запишите в таблицу протокола проверки. Сделайте вывод. По завершении эксперимента выключите кабельный мост и отключите от источника питания. Выполните измерения для следующего вида повреждения, внесённого преподавателем (проводится 3 эксперимента).

## ПРОТОКОЛ ИЗМЕРЕНИЙ И ИСПЫТАНИЙ

### Технические характеристики кабельной линии

Марка кабеля/провода	ПУГВ 4x0,5	Длина кабельной линии	50м
-------------------------	------------	-----------------------	-----

**ТАБЛИЦА 1**

ОБОЗНАЧЕНИЕ ИСПЫТУЕМЫХ ЖИЛ НА ПРИБОРЕ	ПОКАЗАТЕЛЬ	ДЕФЕКТ
<b>ЕМКОСТЬ ЖИЛ КАБЕЛЯ</b>		
$C_{AB}$		
$C_{BC}$		
$C_{AC}$		
<b>СОПРОТИВЛЕНИЕ ИЗОЛЯЦИИ</b>		
$R_{AB}$		
$R_{BC}$		
$R_{CA}$		

**ТАБЛИЦА 2**

ОБОЗНАЧЕНИЕ ИСПЫТУЕМЫХ ЖИЛ НА ПРИБОРЕ	ДЕЙСТВИТЕЛЬНОЕ ОБОЗНАЧЕНИЕ ИСПЫТУЕМЫХ ЖИЛ	ПОКАЗАТЕЛЬ	ДЕФЕКТ
<b>ЕМКОСТЬ ЖИЛ КАБЕЛЯ</b>			
$C_{AB}$			
$C_{BC}$			
$C_{AC}$			
<b>СОПРОТИВЛЕНИЕ ИЗОЛЯЦИИ</b>			
$R_{AB}$			
$R_{BC}$			
$R_{CA}$			

Заключение о соответствии результатов измерений и испытаний кабельной линии

---



---



---

Измерения провел: \_\_\_\_\_

*Рисунок 10 – Общий вид протокола проверки*

## Контрольные вопросы

1. Какие виды повреждений относятся к устойчивым?
2. Каковы основные виды повреждений кабельных линий?
3. Приведите 2–3 примера сложного повреждения кабельной линии.
4. Какими методами и в каких случаях можно определить характер повреждения?
5. Перечислите относительные и абсолютные методы измерений.
6. Какие основные измерения производятся для определения повреждений кабельной линии?
7. Как определить целостность жил кабельной линии и сопротивление изоляции кабельной линии (между фазами и между фазой и «землёй»)? Укажите схемы проверки мегаомметром.
8. Укажите особенность мостового метода измерений при определении повреждения кабельной линии.
9. Характеристики кабельного моста ПКМ-105.
10. Группы сопротивлений повреждений кабельных линий.

## **Лабораторная работа № 3. ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ**

**Цель работы:** изучить конструкции и марки проводов, способ подвески изоляторов на опорах, линейной арматуры воздушных линий, типы опор и расположения проводов на опорах.

### **Содержание и последовательность работы:**

- изучить основные элементы воздушных линий;
- изучить конструктивные особенности и характеристики проводов для воздушных линий;
- изучить конструктивные особенности изоляторов;
- изучить арматуру для крепления проводов воздушных линий, их характеристики и области применения;
- изучить типы и виды опор воздушных линий.

### **Основные теоретические положения**

Электрической воздушной линией (ВЛ) называется устройство для передачи и распределения электрической энергии по проводам, расположенным на открытом воздухе и прикрепленным при помощи изоляторов и арматуры к опорам или кронштейнам инженерных сооружений.

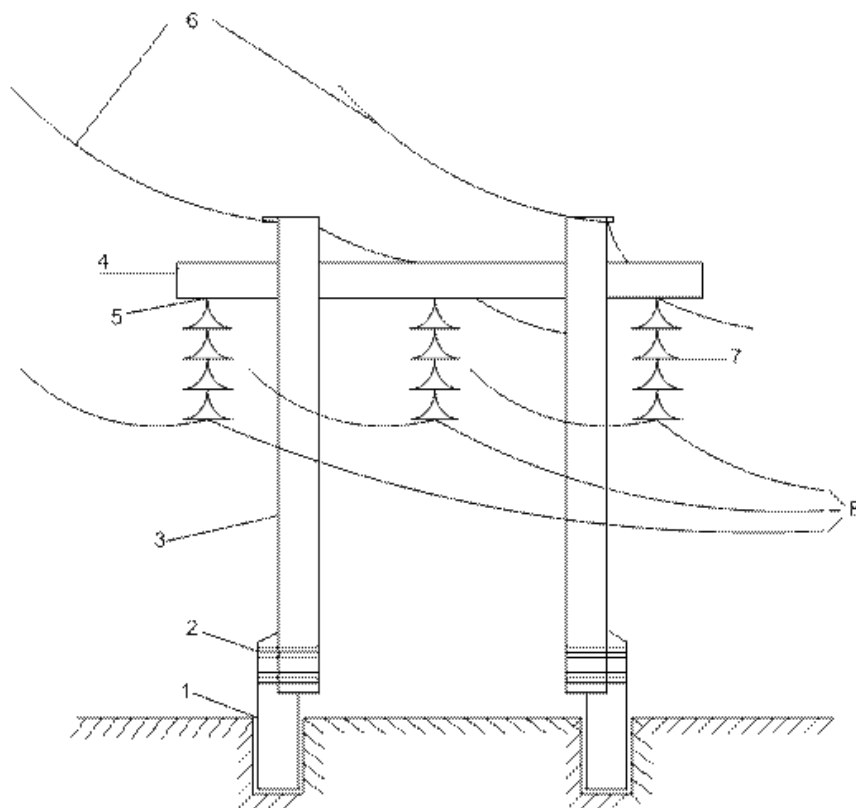
Большинство наружных электрических сетей строятся воздушными. Основные причины широкого распространения воздушных сетей: значительно меньшая стоимость их по сравнению с кабельными сетями, легкое обнаружение мест повреждения и простота ремонта.

Главными конструктивными элементами любой воздушной линии являются (рис. 1):

- 1) провода, служащие для передачи электрической энергии;
- 2) защитные тросы, монтируемые в верхней части опор для защиты проводов от атмосферных (грозовых) перенапряжений;
- 3) опоры, поддерживающие провода и тросы на определенной высоте над уровнем земли или воды;
- 4) изоляторы, изолирующие провода от корпуса (тела) опоры;
- 5) арматура, при помощи которой провода и тросы закрепляются на изоляторах, а изоляторы – на опоре.

По конструктивному устройству воздушные линии разделяются на одноцепные и многоцепные, т.е. расположением одной или не-

скольких цепей на одних и тех же опорах. Цепь – это три провода одной трехфазной линии.



*Рисунок 1 – Элемент воздушной одноцепной линии – деревянная промежуточная опора с грозозащитными тросами (на подходе к подстанции):  
1 – пасынок; 2 – бандаж; 3 – стойка опоры; 4 – траверса; 5 – арматура;  
6 – грозозащитные тросы; 7 – гирлянда изоляторов; 8 – провода*

### **Провода и защитные тросы**

Провода для воздушных линий электропередачи изготавливаются неизолированными (голыми), они должны обладать хорошей электрической проводимостью, изготавливаться из недефицитных металлов, иметь достаточно высокую механическую прочность и значительную стойкость по отношению к коррозии и химическим воздействиям.

Материалами для проводов могут служить алюминий и его сплавы, медь и ее сплавы, сталь и сталеалюминий. Грозозащитные тросы выполняются, как правило, из стали. Сплав алюминия, магния и кремния называется альдреем, а сплав меди с оловом и фосфором называется бронзой. Медь, алюминий и их сплавы с иными металлами применяются в виде холодноотянутой проволоки, обладающей достаточной механической прочностью.



*Медные провода*, изготовленные из твердотянутой медной проволоки, обладают малым удельным сопротивлением ( $\rho = 18,0 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{км}$ ) и хорошей механической прочностью, успешно противостоят атмосферным воздействиям и коррозии от вредных примесей в воздухе. Медные провода маркируют буквой М с прибавлением номинального сечения провода.

*Алюминиевые провода* отличаются от медной значительно меньшей массой, большим удельным сопротивлением ( $\rho = 28,7 \div 28,8 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{км}$ ) и меньшей механической прочностью. Алюминиевые провода применяются в основном в местных сетях.

Малая механическая прочность этих проводов не допускает создания большого натяжения. Чтобы избежать больших стрел провеса, приходится уменьшать расстояние между опорами, а это удорожает линию. Для повышения механической прочности алюминиевых проводов их изготавливают многопроволочными, из твердотянутых проволок. Хорошо переносят атмосферные воздействия, плохо противостоят воздействию вредных примесей воздуха. Поэтому для воздушных линий, сооружаемых вблизи морских побережий, соленых озер и химических предприятий, используют провода, защищенные от коррозии (алюминиевые коррозионностойкие, с заполнением межпроволочного пространства нейтральной смазкой). Провода из алюминия маркируются буквой А с добавлением номинального сечения провода.

*Сталеалюминиевые провода* имеют то же удельное сопротивление, что и алюминиевые провода равного им сечения, так как в электрических расчетах сталеалюминиевых проводов проводимость стальной части не учитывается ввиду ее незначительности по сравнению с проводимостью алюминиевой части проводов. Если сравнить сталеалюминиевые провода с равными им по проводимости и прочности медными проводами, то окажется, что сталеалюминиевые провода легче и диаметр их значительно больше, чем у медных. Это благоприятствует применению сталеалюминиевых проводов на воздушных линиях напряжением 110 кВ и выше.

*Самонесущие изолированные провода*. В последние десятилетия в мире все большее применение в практике строительства воздушных линий электропередачи находят самонесущие изолированные провода. Они применяются при строительстве воздушных линий электропередачи до 1 кВ и 6–110 кВ при температуре от  $-45$  до  $+50$  °С.

Преимущества самонесущих изолированных проводов (СИП):

- 1) возможность применения опор действующих проектов и новых опор меньшей высоты;
- 2) высокая надежность и бесперебойность энергообеспечения потребителей;
- 3) отсутствие коротких замыканий между проводами фаз, случайных перекрытий;
- 4) малая вероятность замыкания на землю;
- 5) уменьшение расстояния между проводами на опорах и в пролете;
- 6) уменьшение ширины просеки при строительстве;
- 7) отсутствие гололедообразования на проводах;
- 8) общее снижение энергетических потерь в линиях электропередачи;
- 9) сокращение трудозатрат при строительстве линий;
- 10) сокращение общих эксплуатационных расходов за счет уменьшения объемов аварийно-восстановительных работ.

Провода АМКА и SАХ изготавливаются из термоупрочненного алюминиевого сплава, имеют круглую форму сечения. Все провода, за исключением несущего нулевого провода, имеют изолированную оболочку из атмосферостойкого полиэтилена с включением газовой сажи для обеспечения длительного срока эксплуатации. Провод SАХ покрыт изолирующей оболочкой толщиной не менее 2,3 мм из атмосферостойкого светостабилизированного полиэтилена. Провода АМКА и SАХ сохраняют механическую прочность и электрические параметры при температурах окружающей среды от  $-45$  до  $+50$  °С, не распространяют горения.

*Полые провода* из меди и алюминия имеют большой диаметр по сравнению со сплошными проводами того же активного сечения. Отдельные плоские проволоки соединяются друг с другом в паз, чем обеспечивается конструктивная прочность провода. Полые провода предназначены главным образом для ошиновки подстанций напряжением 330 кВ и выше.

По конструкции различают следующие типы проводов:

- 1) однопроволочные провода, состоящие из одной проволоки сплошного сечения (рис. 2, а);
- 2) многопроволочные провода из одного металла, состоящие из скрученных между собой отдельных проволок (рис. 2, б);
- 3) многопроволочные провода из двух металлов (рис. 2, в);
- 4) полые провода (рис. 2, г).

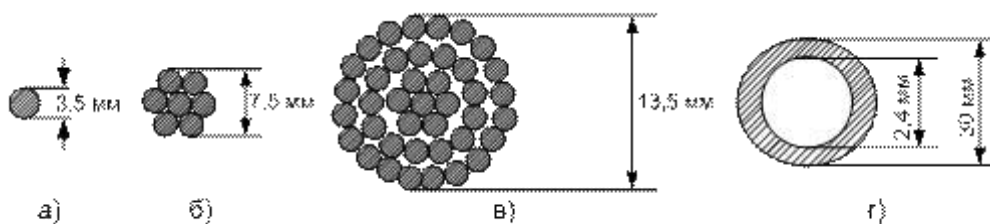


Рисунок 2 – Конструкция проводов воздушных линий

## Изоляторы

Электрический изолятор – устройство для подвешивания и изоляции проводов и кабелей на опорах воздушной линии электропередачи.

Изоляторы, применяемые в воздушных линиях, изготавливаются на различные рабочие напряжения линии.

По материалу изготовления изоляторы подразделяются на фарфоровые, стеклянные и полимерные.

Фарфоровые изоляторы изготавливают из электротехнического фарфора, покрывают слоем глазури и обжигают в печах.

Стеклянные изоляторы изготавливают из специального закалённого стекла. Они имеют большую механическую прочность, меньшие размеры и массу, медленнее подвергаются старению по сравнению с фарфоровыми, но имеют меньшее электрическое сопротивление.

Полимерные изоляторы изготавливают из специальных пластических масс.

Стеклянные изоляторы легче, дешевле и долговечнее фарфоровых и поэтому в настоящее время почти вытеснили их с линий. Кроме того, пробитый фарфоровый изолятор можно выявить только применяя специальную измерительную штангу, в то время как пробитый стеклянный изолятор выявляется по разрушенной изолирующей детали.

Преимуществом стеклянных изоляторов является:

1) отсутствие скрытых дефектов внутри изоляционного тела. Каждый изолятор проходит оптический контроль на отсутствие пузырьков в силовой головке изолятора;

2) контроль изоляторов на угол поляризации проходящего света позволяет гарантировать стабильные электроизоляционные свойства, недостижимые в керамике;

3) стеклянные изоляторы не стареют, в теле изолятора со временем не появляются микротрещины;

4) стеклянные изоляторы можно быстро идентифицировать на линии при их выходе из строя.

Преимущества полимерных изоляторов:

- 1) высокая механическая и электрическая прочность изолятора;
- 2) высокая кратковременная и длительная прочность при изгибе и кручении;
- 3) устойчивость к ударам молнии и механическим ударам;
- 4) стойкость к сколам: даже их наличие не влияет на электрическую прочность изоляторов;
- 5) низкий уровень частичных разрядов;
- 6) высокая пробивная прочность;
- 7) длительный срок службы;
- 8) меньший вес, чем у фарфоровых изоляторов;
- 9) компактное исполнение.

Конструктивно изоляторы подразделяются на подвесные, штыревые и стержневые.

Подвесные изоляторы применяются на линиях от 6 кВ и выше, контактной сети железных дорог, гибких шинах открытых распределительных устройств, они обладают более высокими механическими характеристиками, чем штыревые. Отдельные изоляторы собирают в гирлянды, число единиц которых зависит от напряжения ВЛ.

Подвесной изолятор состоит из следующих частей: изолирующая деталь (1, 5), шапка (2), стержень (3), цементная связка (4), изоляторный замок (6) (рис. 3).

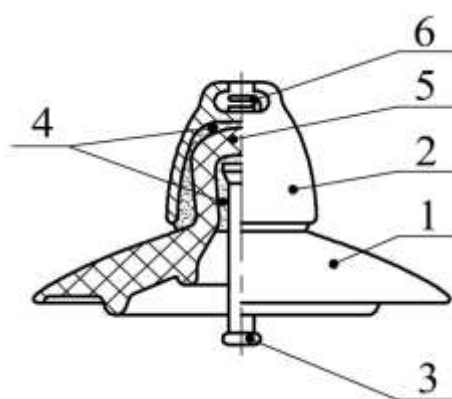


Рисунок 3 – Подвесной изолятор ПС 70-И

Шапка изготавливается из ковкого чугуна и имеет гнездо для сцепления с пестиком (стержнем) соседнего в цепи изолятора. Стержень изготавливается из стали. Изоляторный замок служит для за-

крепления пестика в гнезде шапки. Изолирующая деталь изготавливается из электротехнического фарфора или закаленного стекла, конструкция изолирующей детали зависит от назначения и условий эксплуатации изолятора.

Для увеличения длины утечки нижняя поверхность изолятора делается ребристой (развитой), либо она состоит из нескольких крыльев-«тарелок». Шапка, изолирующая деталь и стержень соединяются цементной связкой.

Изолирующую деталь фарфоровых изоляторов для улучшения диэлектрических характеристик покрывают глазурью. Металлические детали оцинковывают. Также изоляторы покрываются специальными составами для лучшего смывания с них грязи.

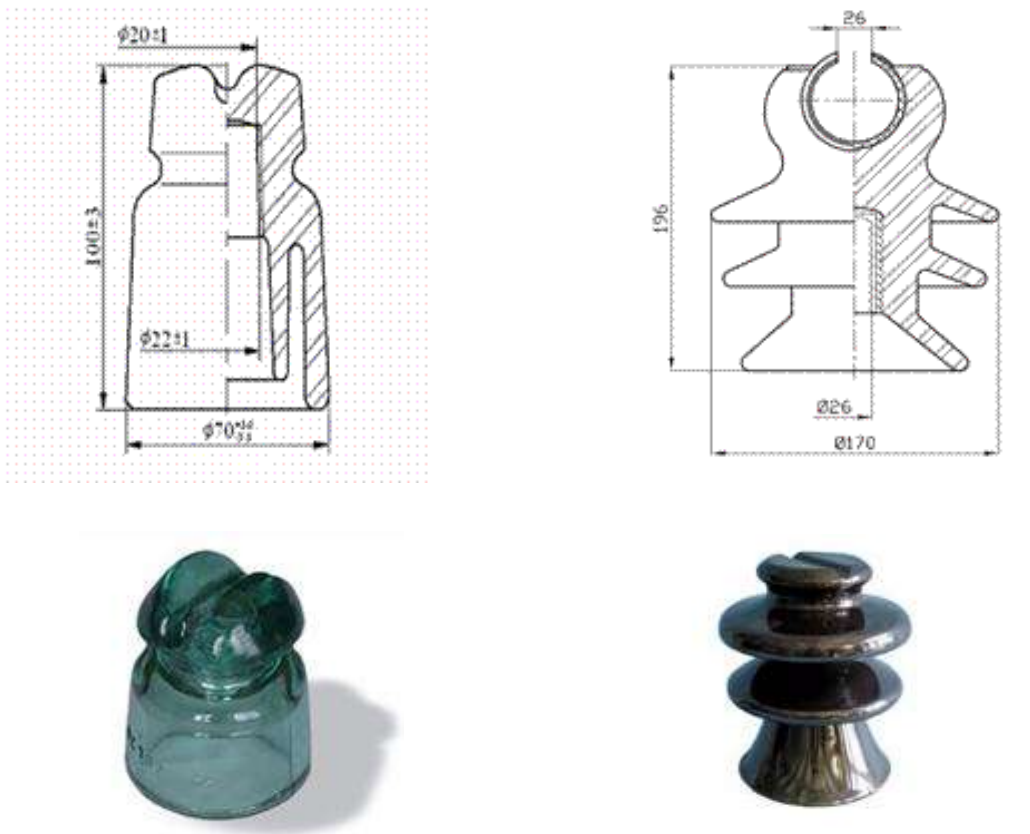
Подвесные изоляторы собирают в изоляторные гирлянды, которые бывают поддерживающими и натяжными. Первые монтируют на промежуточных опорах, вторые – на анкерных. Число изоляторов в гирлянде определяется как назначением гирлянды (поддерживающая или натяжная), так и напряжением линии.

Для линий до 110 кВ количество изоляторов в натяжной гирлянде берется на один больше, чем в подвешивающей, а при более высоком напряжении – одинаковым.

Натяжные гирлянды изоляторов работают в более тяжелых условиях, чем поддерживающие, вследствие чего их старение (нарушение электрической прочности) наступает быстрее.

Штыревые изоляторы применимы как на линиях напряжением до 1 кВ, так и на линиях напряжением 6–35 кВ (рис. 4).

Стержневые изоляторы изготавливают для номинальных напряжений 6–35 кВ. Они представляют собой цилиндр с выступающими на поверхности ребрами и с металлическими колпаками на концах. Из-за большой длины пути утечки, а также относительно простой формы, обеспечивающей хорошую очистку поверхности дождем и ветром, стержневые изоляторы весьма перспективны для районов с загрязненной атмосферой. Изолятор с винтообразными ребрами хорошо очищается струей дождевой воды, стекающей по желобу, который образует ребро. Стержневые изоляторы легче и дешевле подвесных, но не позволяют проверять состояние изоляции и заменять отдельные элементы, как у подвесных изоляторов.



*Рисунок 4 – Изолятор штыревой*

На провода малого сечения изготавливают изоляторы, склеенные с двух частей.

При маркировке изоляторов применяются следующие обозначения: П – подвесной, С – стеклянный, Ф – фарфоровый, Г – грязестойкий, Д – двукрылый, К – с конической изоляционной деталью, С – со сферической изоляционной поверхностью, В – с вытянутым вниз ребром.

### **Арматура воздушных линий**

Арматура используется для комплектования изолирующих подвесок проводов и молниезащитных тросов, соединения проводов и тросов в пролетах и шлейфах, присоединения проводов к выводам электрических аппаратов, фиксирования расщепленных проводов фазы на заданном расстоянии, защиты проводов от воздействия вибрации и других колебаний, выравнивания электрического поля вблизи изоляторов, подвесок и др.

В процессе эксплуатации арматура воспринимает различные механические нагрузки – статические и динамические, воздействие атмосферных явлений в условиях электрического поля. Вследствие это-

го линейная арматура ВЛ должна удовлетворять следующим основным требованиям:

- обладать достаточной механической прочностью;
- обладать высокой коррозионной стойкостью;
- по возможности не иметь источников разрядов;
- обладать минимальными потерями на перемагничивание при прохождении переменного тока.

Токонесущая арматура не должна обладать сопротивлением электрическому току, превышающим электрическое сопротивление провода той же длины.

Линейную арматуру, применяемую при закреплении проводов в гирляндах подвесных изоляторов, можно подразделить по назначению на пять основных видов:

1. Зажимы, служащие для закрепления проводов и тросов, подразделяющиеся на поддерживающие, подвешиваемые на промежуточных опорах, и натяжные, применяемые на опорах анкерного типа.

2. Сцепная арматура (скобы, серьги, ушки, коромысла), служащая для соединения зажимов с изоляторами, для подвески гирлянд на опорах и для соединения многоцепных гирлянд друг с другом.

3. Защитная арматура (кольца), монтируемая на гирляндах линий напряжением 330 кВ и выше, предназначенная для более равномерного распределения напряжения между отдельными изоляторами гирлянды и для защиты их от повреждения дугой при перекрытиях.

4. Соединительная арматура, служащая для соединения проводов и тросов в пролете, а также для соединения проводов в шлейфах на опорах анкерного типа.

5. Распорки, применяемые для соединения друг с другом проводов расщепленной фазы. Поддерживающие зажимы состоят из лодочки, в которую укладывается провод, плашек и болтов (или болта) для закрепления провода в лодочке, пружин, цапф или кронштейнов для крепления зажима в гирлянде.

### ***Зажимы для закрепления проводов и тросов***

*Глухим зажимом* называется зажим, в котором провод закрепляется настолько прочно, что в случае одностороннего натяжения (при обрыве в соседнем пролете) он не может проскользнуть в зажиме. Провод укладывается в корпусе зажима, шарнирно прикрепленного к подвеске, удерживается в зажиме при помощи плашки и специальных

гаек. Глухие зажимы являются основным типом зажимов, применяемых в настоящее время на воздушных линиях.

*Выпадающие зажимы* (называемые также выпускающими), выбрасывающие лодочку с проводом при отклонении поддерживающей гирлянды на определенный угол (около  $40^\circ$ ) в случае обрыва провода в одном из пролетов. Таким образом, натяжение провода, оставшегося необорванным, не передается на промежуточную опору. Эта особенность работы выпадающего зажима позволяет несколько уменьшить массу промежуточной опоры. Однако в эксплуатации наблюдались случаи выбрасывания проводов из выпадающих зажимов при пляске и неравномерной нагрузке гололедом в смежных пролетах. Поэтому выпадающие зажимы в настоящее время не применяются и ниже не рассматриваются.

*Скользящие, или зажимы с заделкой ограниченной прочности*, применяют для проводов сечением от 300 до 500 мм<sup>2</sup>. При обрыве провода и появлении одностороннего натяжения, превышающего прочность заделки, провод начинает проскальзывать в зажиме, благодаря чему действующее на промежуточную опору усилие уменьшается. Скользящие зажимы применяются на всех линиях и на линиях с расщепленной фазой.

*Клиновые натяжные зажимы*, применяемые для подвески стальных тросов. Они состоят из корпуса и двойного клина. При тяжении троса клин прижимает трос к корпусу, что обеспечивает надежную заделку. Зажим состоит из корпуса и двух клиньев, имеющих полукруглые выемки, в которые закладывается провод. Благодаря неглубоким и плавным поперечным бороздам на поверхности выемок клиньев провод при натяжке его втягивает клинья в корпус зажима. Подвижка клиньев в корпусе, имеющем суживающую форму, обеспечивает закрепление провода. Провод в зажиме не повреждается. Вырывание провода из зажима не бывает – наступает обрыв провода.

Для крепления сталеалюминевых, а также медных и алюминиевых проводов средних сечений изготавливаются *солтовые зажимы*. Провод укладывается в борозду зажима и закрепляется в нем при помощи накладок, прижимаемых U-образными болтами. Накладки, поставленные в хвостовой части зажима, предназначены для отвода провода от гирлянды изоляторов и позволяют осуществлять петлю провода, огибающую траверсу опоры.

Для очень крупных сечений сталеалюминевых проводов применяется *натяжной прессуемый зажим*, изготовленный из алюминия.



Провод вставляется в зажим, который опрессовывается под большим давлением на специальном переносном гидравлическом прессе.

Соединение проводов воздушных линий (одной марки и одинакового сечения) производится с помощью трубчатого соединителя, методом наложения бандажа, сваркой, а также с помощью соединительных зажимов.

Соединение проводов трубчатым соединителем, в зависимости от марки соединяемых проводов, выполняется методом скрутки, обжатия или опрессовки (табл. 1).

Таблица 1 – Нормативы соединения проводов

Марка соединителя	Размер А, мм	Марка соединяемых проводов	Размер В, мм	Размер b (шаг обжатия), мм	Число обжатий	Способ соединения
СОАС-16	АС-16	Скрутка				
СОАС-25	АС-25	Скрутка				
АС-35	Скрутка					
СОАС-35	АС-35	40,5	Обжатие			
АЖ-50	20,0	Обжатие				
АС-50	Скрутка					
СОАС-50	АС-50	46,0	Обжатие			
АЖ-50	24,0	Обжатие				
АС-70	Скрутка					
СОАС-70	АС-70	52,0	Обжатие			
АЖ-70	50,0	Обжатие				
СОС-25	ПС-25	15,0	Скрутка			
Обжатие						
СОС-35	ПС-35	18,0	Скрутка			
Обжатие,						
Опрессовка						

*Соединение проводов с помощью овального трубчатого соединителя производится следующим образом:*

1. Перед установкой соединителя концы соединяемых проводов (на длине, равной 1,5-кратной длине соединителя) очищаются от грязи, промываются в бензине (на алюминиевые и сталеалюминиевые провода наносится слой технического вазелина) и зачищаются до блеска проволоки верхнего и следующих повивов стальной щеткой; металлические опилки и излишки вазелина удаляются с поверхности провода. Аналогично обрабатывается внутренняя поверхность соединителя. После установки овального соединителя накладываются на концы соединяемых проводов бандажи из проволоки диаметром 1 мм (не менее 6 витков). Концы соединяемых проводов ровно обрезаются и зачищаются от заусенцев.

2. Производится соединение проводов методом скрутки или опрессовки (обжатия) (см. рис. 5).

2.1. Стыковка проводов скруткой выполняется с помощью специального приспособления. Концы овального соединителя закрепляются в зажиме приспособления так, чтобы они выступали не более 10 мм, и закручиваются на 4–4,5 оборота.

Биметаллические сталеалюминиевые провода марки БСМ 1 и БСМ 2 диаметром 4 мм соединяют методом скрутки медной трубкой (вблизи морского побережья, соленых озер и химических предприятий).

2.2. Стыковка проводов обжатием (опрессовкой) выполняется с помощью специальных клещей (МИ-19А) или прессы (РПГ-7м, МГП-12): в пресс (или клещи) вставляются парные вкладыши (соответствующие марке и сечению соединяемых проводов) и производится двустороннее обжатие овального трубчатого соединителя по специальным рискам. При применении прессы МГП-12 производится одностороннее обжатие (используется половина соединителя). При стыковке алюминиевых (сталеалюминиевых) проводов между ними в соединителе устанавливается алюминиевый вкладыш.

*Соединение проводов методом наложения бандаж:*

– марки ПС-25, ПС-35, СТ-Ф4 и СТ-Ф5 мм – в качестве бандаж используется оцинкованная проволока диаметром 1 мм с последующей пропайкой по месту бандаж;

– сталеалюминиевые биметаллические провода марки БСМ-4 – в качестве бандаж используется медная проволока диаметром 1,5 мм с последующей пропайкой припоем ПОС-30 или ПОС-40 по месту бандаж (рис. 6).

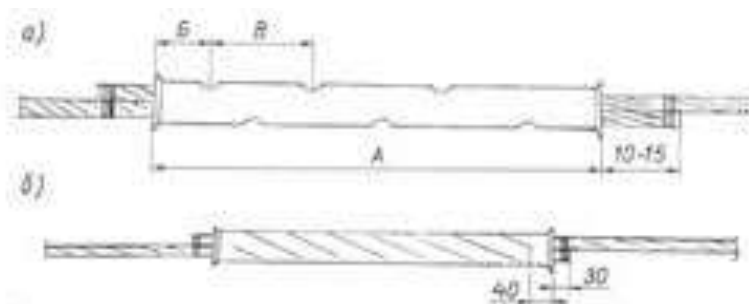
*Соединение термитной сваркой* применяется для сталеалюминиевых проводов непосредственно на опоре в случаях, когда узел со-

единения проводов не испытывает нагрузки от натяжения проводов. Стыковку проводов выполняют в приспособлении для термитной сварки.

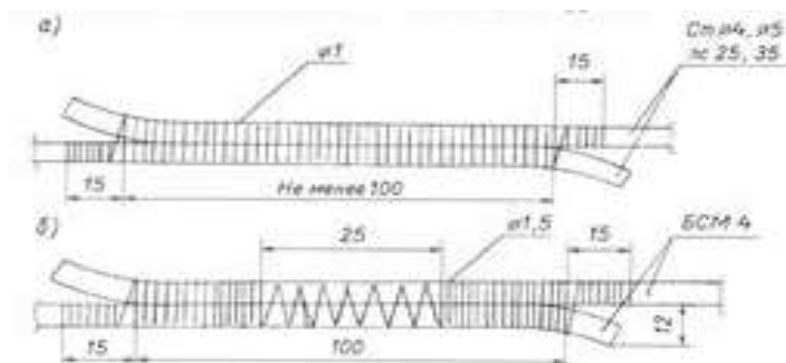
**Примечания:**

1. Соединение проводов из разных материалов и разных диаметров производится на опоре с применением болтовых зажимов или на разъединителе.

2. Соединение стальных канатов на опоре выполняется при помощи стального оцинкованного зажима. Концы каната должны быть заделаны бандажами из спаянной проволоки диаметром 1 мм и выступать из зажимов на 30 мм.



*Рисунок 5 – Соединение проводов:  
а – методом обжима (прессовки); б – методом скрутки*



*Рисунок 6 – Соединение проводов методом наложения бандажа:  
а – стальных; б – сталемедных*

**Типы опор и расположения проводов на опорах**

При сооружении линий электропередачи применяются железобетонные, стальные и деревянные опоры. По назначению опоры подразделяются на анкерные, угловые, концевые, промежуточные, ответвительные, транспозиционные и специальные; по числу цепей – на одно- и двухцепные.

*Анкерные (А) опоры* (рис. 7, а) устанавливают для жесткого закрепления проводов в особо ответственных точках линии (на концах линии, на концах прямых ее участков, на пересечениях особо важных инженерных сооружений и больших водоемов). Анкерные опоры должны выдержать одностороннее тяжение двух проводов.

*Угловые (У) опоры* (рис. 7, б) устанавливают в местах изменения направления трассы ЛЭП. Опоры воспринимают при нормальной работе суммарную силу тяжений проводов смежных пролетов.



*а*



*б*



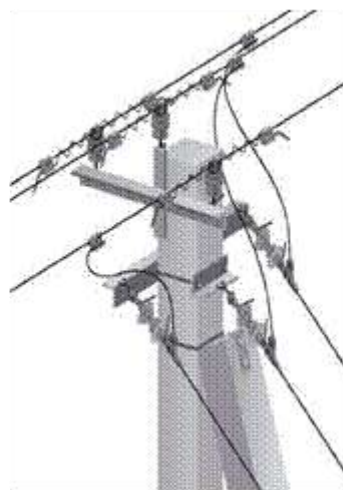
*в*



*г*



*д*



*е*



*ж*

*Рисунок 7 – Виды опор:*

*а – анкерная; б – угловая; в – конечная; г – промежуточная; д – ответвительная; е – ответвительная промежуточная; ж – транспозиционная*

*Концевые анкерные (К) опоры* (рис. 7, в) сооружают в начале и конце ЛЭП. Эти опоры испытывают одностороннее тяжение всех проводов со стороны линии.

*Промежуточные (П) опоры* (рис. 7, г) устанавливают на прямых участках трассы ЛЭП. Они служат для поддержания провода на прямых участках линии в анкерном пролете. При нормальной работе опоры не должны воспринимать направленных вдоль линии усилий.

*Ответвительные опоры* (рис. 7, д, е) служат для ответвления от ЛЭП.

*Транспозиционные опоры* (рис. 7, ж) применяют для транспозиции проводов.

*Специальные опоры* бывают двух типов: *переходные* – для больших пролетов (пересечение рек, озер, ущелий и др.) и *ответвительные* – когда требуется глухое ответвление от линии (рис. 8).

Анкерные опоры значительно сложнее и дороже промежуточных, и поэтому число их на каждой линии должно быть минимальным.

ВЛ выполняются на напряжения от 0,38 до 500 кВ неизолированными (голыми) проводами. Провода характеризуются площадью поперечного сечения в  $\text{мм}^2$ . Сечение провода на участке ВЛ определяется механической прочностью и величиной тока нагрузки. Выбор сечения проводов осуществляется по допустимому току (по нагреву), по допустимой потере напряжения, по экономическим показателям.

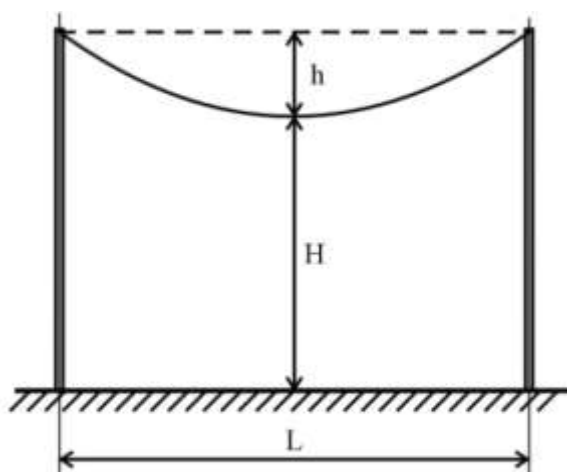


Рисунок 8 – Пролет воздушной линии:

$L$  – длина пролета;  $h$  – стрела провеса провода;  $H$  – габарит линии

При небольших нагрузках на напряжении 0,38 кВ используют одножильные оцинкованные стальные провода ПСО-5 и ПСО-6, последние цифры обозначают диаметр проводов. Чаще всего на ВЛ используют многожильные алюминиевые, провода из сплавов алюми-

ния или сталеалюминевые провода. Многожильные провода имеют от 7 до 61 проволоки, скрученных концентрическими повивами. Алюминиевые провода имеют марку, например, А-25, где 25 – площадь поперечного сечения всех проводников.

Сталеалюминевые провода имеют марку, например, АС-35, где 35 – площадь поперечного сечения алюминиевой части провода. Стальной трос внутри такого комбинированного провода несет механическую нагрузку, а алюминиевая часть – электрическую.

### **Контрольные вопросы**

1. Что такое габарит, стрела провеса, длина пролета ВЛ?
2. Как определяется стрела провеса?
3. Как выбирается сечение проводов линии электропередачи?
4. Как соединяются провода?
5. Техническое исполнение заземления опоры
6. Для чего заземляются опоры?
7. Как расшифровывается марка провода: А-35, АС-70.
8. В чем преимущества самонесущих изолированных проводов?
9. Типы опор.
10. Характеристика опор по напряжению.

## Лабораторная работа № 4. ПРОВЕРКА ТРАНСФОРМАТОРА ПЕРЕД ВКЛЮЧЕНИЕМ В СЕТЬ

**Цель работы:** изучить способы проверки трансформаторов перед включением в эксплуатацию.

### **Содержание и последовательность работы:**

- измерить сопротивление изоляции и определить коэффициент абсорбции. Подключить выводы мегаомметра 500 В к обмотке Н.Н. и на корпус, обмотку В.Н. закортить, записать показания прибора;
- подключить мегаомметр к обмотке В.Н. и на корпус. Обмотку Н.Н. закортить. Записать показания прибора;
- подключить прибор к обмотке В.Н. и Н.Н. и измерить сопротивление между обмотками  $R_{60}$  и  $R_{15}$ ;
- измеренное сопротивление занести в таблицу.

### **Правила техники безопасности:**

1. Подача импульсов напряжения, постоянного тока в обмотку низшего напряжения (Н.Н.) запрещается, так как в обмотке высшего напряжения (В.Н.) индуцируется ЭДС, что опасно для жизни.
2. При проверке сопротивления изоляции, обмотки низшего напряжения все три фазы (выводы) обмотки высшего напряжения замкнуть, так как это опасно для защиты.
3. Мегаомметром 500 В пользоваться только по назначению. Другие замеры производить запрещается. Ручкой не крутить вхолостую без подключенных проводов к трансформатору.

### **Предремонтные испытания собранного трансформатора**

Целостность обмоток можно определить при помощи мегаомметра или контрольной лампы. Сопротивление изоляции обмоток измеряют мегаомметром на 500 В всех фаз относительно корпуса и между обмотками разных напряжений. За сопротивление изоляции принимают одномоментное значение измеренного сопротивления  $R_{60}$ . Значение сопротивления изоляции не должно быть ниже 0,5 МОм.

### **Методика определения степени увлажнения изоляции**

Под действием электрического поля в изоляции происходят сложные процессы. Во-первых, из-за присутствия в диэлектриках свободных зарядов, обусловленных примесями и дефектами

строения, в изоляции всегда возникает ток сквозной проводимости  $i_u$ , во-вторых, происходит замедленная поляризация, т.е. смещение и поворот связанных дипольных молекул, создающих ток абсорбции  $i_a$ . В-третьих, происходит мгновенная поляризация, представляющая собой упругое смещение и деформацию электронных оболочек атомов и ионов и создающая ток смещения  $i_c$ . Для изучения перечисленных процессов используют схему замещения изоляции, приведенную на рисунке 1.

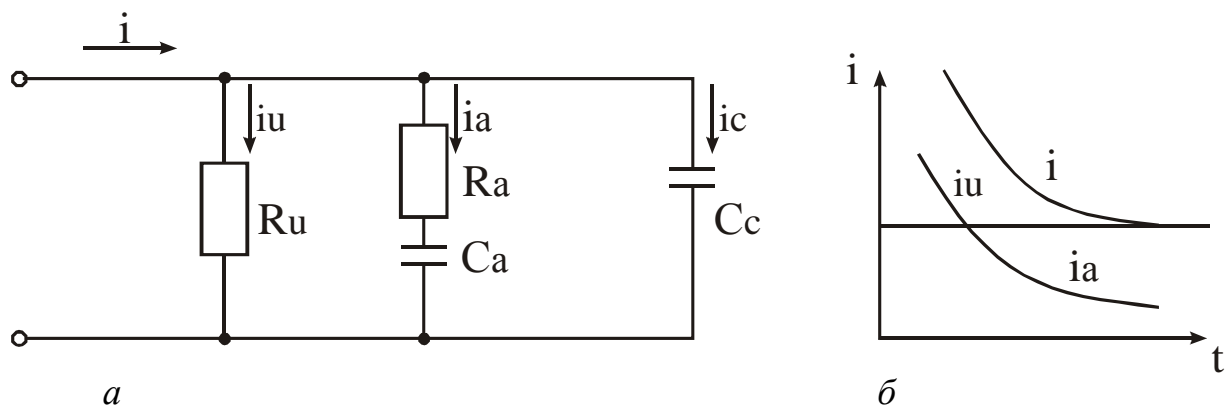


Рисунок 1 – Схема замещения изоляции (а) и диаграмма токов, протекающих в ней (б)

Резистор  $R_u$  характеризует сопротивление сквозному току; конденсатор  $C_a$  – емкость, обусловленную дипольной поляризацией; конденсатор  $C_c$  – емкость электронной поляризации (геометрическая емкость); резистор  $R_a$  – эквивалентные потери при дипольной поляризации. На рисунке 1 показаны зависимости токов, проходящих через изоляцию, от времени нахождения под постоянным напряжением. Как видно, ток абсорбции затухает по мере завершения процессов замедленной поляризации, а ток сквозной проводимости сохраняется неизменным. Токи смещения столь кратковременны, что их не учитывают. Суммарный ток  $i$  имеет затухающий характер. Истинное сопротивление изоляции зависит от сквозного тока и его можно определить по формуле

$$R_u = \frac{U}{i - i_a}, \quad (1)$$

где  $U$  – приложенное напряжение, В.



Поскольку измерение  $i_a$  связано с определенными трудностями, сопротивление изоляции рассчитывают как частное от деления напряжения на значение тока, установившегося через минуту после включения напряжения. О степени изменения изоляции трансформатора судят по коэффициенту абсорбции  $k_{аб}$ , представляющему собой отношение сопротивления изоляции, измеренное через 60 с ( $R_{60}$ ), к сопротивлению изоляции, измеренному через 15 с ( $R_{15}$ ).

$$k_{аб} = R_{60} / R_{15}. \quad (2)$$

На основании схемы замещения (рис. 1, а) и рассмотрения процессов электропроводности и поляризации следует, что для заведомо сухой изоляции в процессе измерения суммарный ток  $i_{сух}$  будет резко затухать (рис. 1, б). У увлажненной изоляции суммарный ток  $i_{вл}$  больше и будет затухать медленнее, потому что из-за увлажнения прирост тока сквозной проводимости больше, чем прирост тока абсорбции. Отсюда и определяется динамика сопротивления изоляции (рис. 2).

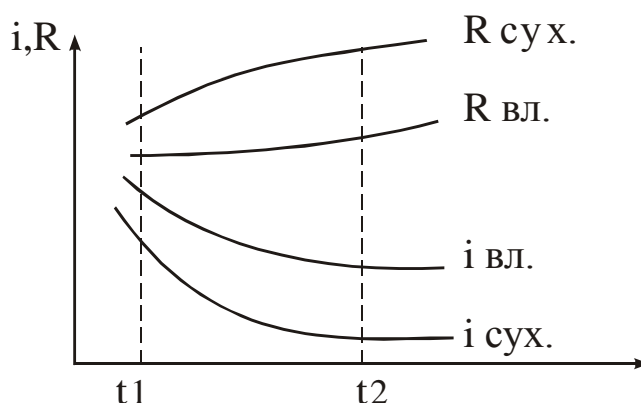


Рисунок 2 – Графики изменения полного тока и сопротивления сухой и влажной изоляции

Следовательно, по состоянию сопротивления изоляции в зависимости от продолжительности измерения можно определить, увлажненная изоляция или нет.

Диагностирование увлажнения изоляции состоит в измерении мегаомметром ее сопротивления в моменты  $t_1$  и  $t_2$  ( $t_2 > t_1$ ) после подачи напряжения и определения  $R_{t_2} / R_{t_1}$ , называемого коэффициентом абсорбции  $k_{аб}$ . Обычно принимают  $t_1 = 15$  с,  $t_2 = 60$  с

и рассчитывают  $R_{60}/R_{15}$ . Если  $(R_{60}/R_{15}) > 1,3$ , то изоляцию считают сухой; если  $(R_{60}/R_{15}) \leq 1,3$ , то изоляцию признают влажной.

### Результаты измерений

	$R_{н.н.}$ – бак	$R_{в.н.}$ – бак	$R_{в.н.-н.н.}$ обмотки
$R_{60}$			
$R_{15}$			
К абсорбции			

1.  $R_{60}$  – сопротивление по истечении 60 секунд работы мегаомметра.
2.  $R_{15}$  – сопротивлению по истечении 15 секунд работы мегаомметра.
3. Рассчитать коэффициент абсорбции по формуле (2).

### Контрольные вопросы

1. Что такое трансформатор, дайте определение.
2. Из каких основных частей состоит трансформатор?
3. Принцип работы трансформатора.
4. Коэффициент трансформации.
5. Устройство сердечника трансформатора.
6. Классификация трансформаторов.
7. Системы охлаждения трансформаторов.
8. Чем отличается трансформаторная подстанция от распределительного устройства?
9. Для чего определяется коэффициент абсорбции?
10. Условия включения трансформаторов на параллельную работу.

## **Лабораторная работа № 5. РАЗБОРКА И ДЕФЕКТАЦИЯ АСИНХРОННОГО КОРОТКОЗАМКНУТОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ РЕМОНТЕ**

**Цель работы:** освоить методику разборки и дефектации асинхронного двигателя. Научиться работать на стенде ОР 9174, а также определять состояние обмотки статора с помощью прибора ЕЛ-15.

### **Содержание работы и порядок ее выполнения**

Дефектация электрических машин при ремонте проводится для определения характера и объёма ремонта или возможности списания машины.

Все неисправности механической и электрической частей записываются в специальную ведомость, которая служит основой для выдачи нарядов на выполнение ремонтных работ.

Содержание работы и порядок ее выполнения, а также дефектовочной ведомости заносятся в тетрадь.

### **Порядок выполнения работы:**

- осмотреть электродвигатель и записать его паспортные данные;
- провести дефектацию электродвигателя до его разборки;
- разобрать электродвигатель;
- выполнить дефектацию электродвигателя после разборки;
- заполнить дефектовочную ведомость (см. прил.).

### **Требования безопасной работы**

Работа выполняется с соблюдением инструкции по технике безопасности в лаборатории кафедры «Электроснабжение сельского хозяйства».

Кроме того, необходимо соблюдать следующие требования:

- для присоединения мегаомметра к измеряемым цепям применять изолированные провода, имеющие на концах изолирующие рукоятки с зажимами;
- измерения мегаомметром проводят два человека, один из которых вращает ручку мегаомметра, а другой подключает аппарат к измеряемым участкам схемы;
- любые переключения схемы проводить после отключения её от сети.

## Методика определения неисправностей двигателя, его деталей и узлов

Электродвигатели служат преобразователями электрической энергии в механическую и составляют основу электропривода большинства механизмов.

Наибольшее распространение в сельском хозяйстве имеют асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором различных серий. С 1970 года выпускаются новые двигатели серии 4А, имеющие лучшие технико-экономические показатели по сравнению с двигателями А2/АО2 и предназначенные для их замены.

Серия 4А охватывает диапазон номинальных мощностей от 0,6 до 400 кВт, имеет 17 высот оси вращения от 50 до 355 мм. Предусмотрено 3 исполнения по степени механической защиты (IP44, IP23, IP54).

В серию 4А входят двигатели специализированного исполнения для сельского хозяйства (высота оси вращения 50–180мм), с мощностью до 30 кВт с частотой вращения 3000, 1500, 1000 мин<sup>-1</sup> на напряжение 380 В. Двигатели сельскохозяйственного назначения могут длительно работать при пониженном до 90 и 80% напряжении от номинального значения со снижением мощности соответственно на 5 и 15 %.

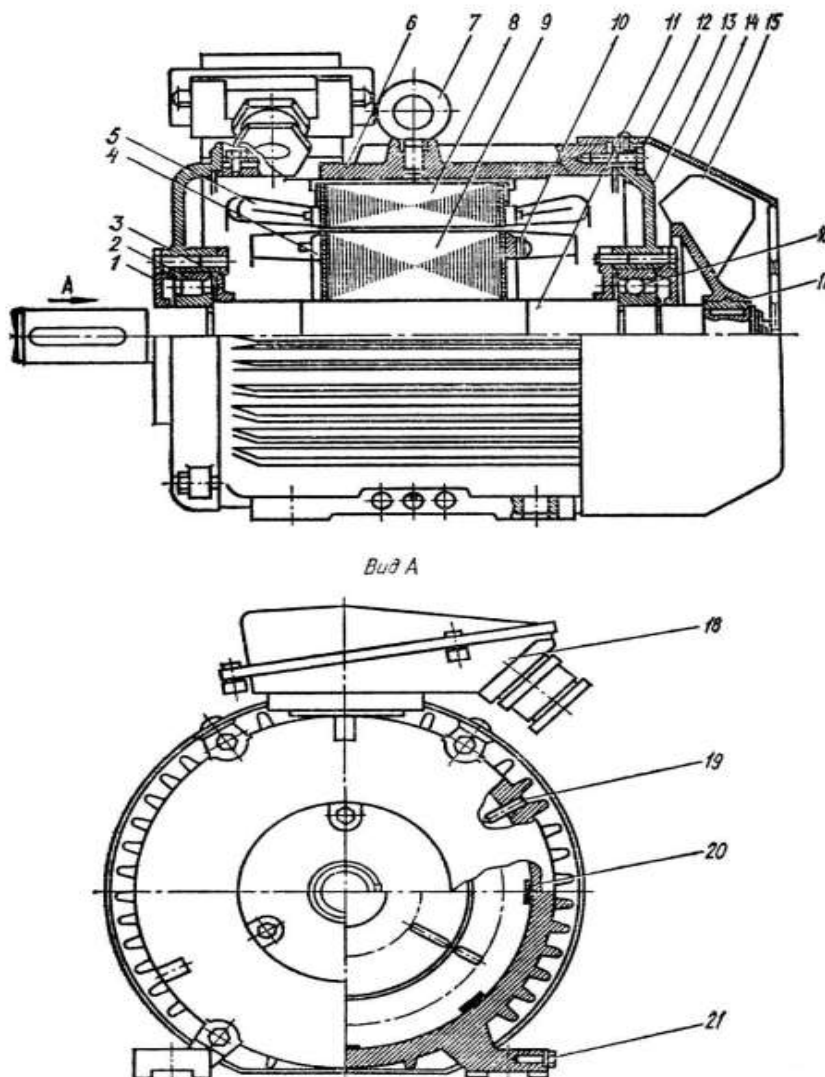
Асинхронный двигатель состоит из неподвижного статора и вращающегося ротора (рис. 1). Станина статора 6, представляющая собой литое изделие из чугуна или алюминиевого сплава в зависимости от исполнения двигателя, лапами или фланцем крепится к фундаменту или к другой конструкции. В станине жестко закреплён сердечник статора 8.

Магнитопровод асинхронного двигателя для увеличения передаваемой электромагнитной мощности выполнен из листовой электротехнической стали. В листах, из которых собирается сердечник статора, выштампованы пазы, куда укладывается статорная обмотка 5 из медного изолированного провода. Обмотка изолирована от сердечника электроизоляционным материалом.

На корпусе установлена коробка выводов 18, имеющая внутри зажимы для подключения выводов обмотки и присоединения двигателя к сети. Сверху на корпусе расположен грузовой болт 7 для подъёма двигателя, а сбоку болт 21 для подключения заземления. Второй основной частью магнитной цепи является сердечник ротора 9, соб-

ранный из круглых листов электротехнической стали, с выштампованными пазами для роторной обмотки.

Обмотка ротора образуется заливкой алюминия в пазы и соединения залитых в пазы частей в единую короткозамкнутую систему кольцом.



*Рисунок 1 – Асинхронный электродвигатель серии 4А*

*с короткозамкнутым ротором и со степенью защиты IP44:*

*1, 3 – наружная и внутренняя крышки подшипников; 2, 16 – подшипники качения; 4 – замыкающее кольцо ротора с вентиляционной лопаткой; 5, 8 – обмотка и сердечник статора; 6 – станина; 7 – рым-болт; 9 – сердечник ротора; 10 – балансировочный груз; 11 – вал; 12, 21 – болты; 13 – подшипниковый щит; 14 – кожух; 15 – наружный вентилятор; 17 – втулка вентилятора; 18 – коробка выводов; 19 – стопорные винты; 20 – скоба*

Сердечник ротора напрессован на цельнометаллический вал 11, который при помощи подшипников крепится в подшипниковые щиты

13, отлитые из чугуна или алюминиевого сплава. Рабочий конец вала служит для соединения двигателя с приводным механизмом, на другом конце размещён вентилятор 15 для охлаждения двигателя. Вентилятор закрыт кожухом 14.

Помимо асинхронных короткозамкнутых двигателей выпускаются электродвигатели с фазным ротором. Они используются для привода механизмов с большим моментом при пуске, а также при необходимости регулирования частоты вращения в небольших пределах. В фазном роторе в пазах укладывают трёхфазную обмотку, соединённую обычно в звезду.

Свободные концы у такой обмотки подведены к контактными кольцам, на которые накладываются щётки, позволяющие присоединить к вращающемуся ротору реостат, используемый для плавного пуска двигателя и регулирования его частоты вращения. Принцип действия асинхронного двигателя основан на законе электромагнитной индукции. При подключении двигателя к сети трёхфазного переменного тока в обмотке статора образуется вращающееся магнитное поле, под действием которого в роторе индуцируется ЭДС и протекает ток. Взаимодействие тока ротора с полем статора создаёт вращающий момент, под действием которого ротор приходит во вращение.

### **Разборка электродвигателя**

Перед проведением ремонта электродвигатель отключают от сети и принимают меры по предупреждению случайной подачи напряжения.

Электродвигатель очищают от пыли и грязи, снимают крышку коробки выводов, отсоединяют кабель питания, а также отсоединяют провод заземления. Разъединяют электродвигатель и рабочую машину, снимают его с фундамента и транспортируют на участок ремонта.

Разборку электродвигателя начинают со съёма шкива, полумуфты или звёздочки с вала. При этом используются ручные винтовые съёмники для электродвигателей малых или средних габаритов или гидравлические съёмники для электродвигателей больших габаритов.

Снимается кожух вентилятора (у электродвигателей закрытого исполнения) и снимается вентилятор.

Отвёртывают болты, которыми прикреплён к станине задний (расположенный со стороны противоположной приводе) и передний подшипниковые щиты.

Снимают задний щит лёгкими ударами молотка по надставке из дерева, алюминия или меди. Вынимают ротор из статора, стараясь не повредить лобовых частей обмотки (между ротором и статором рекомендуется проложить лист картона).

Выемку ротора машин малой мощности производят вручную, для машин средней и большой мощности используют специальные подъёмные приспособления.

Снимают передний щит с подшипника ротора лёгкими ударами молотка по надставке. Снимают подшипники качения с вала. Для этой цели используются ручные съёмники или стенд для разборки электрических машин ОР 9174. При его использовании ротор устанавливается в тиски так, чтобы концы вала расположились по возможности симметрично относительно оси поворота стола, и закрепляется специальным ключом, входящим в комплект стенда. При этом необходимо обеспечить соосность вала ротора и головки съёмника. Каретка съёмника вручную перемещается до положения, обеспечивающего ввод захватов съёмника за внутренний торец наружного кольца подшипника.

Вращением гайки и рукоятки захваты заводятся в зацепление. Включается выключатель гидропривода. Поворотом рукоятки крана управления создаётся рабочий ход гидроцилиндра съёмника.

После окончания рабочего хода гидроцилиндра он переключается на обратный ход, разъединяются захваты, и удаляется снятый подшипник. Выключается гидропривод. Стол поворачивается на 180 градусов. В описанном порядке снимается второй подшипник.

Разборка двигателя закончена.

### **Дефектация асинхронного двигателя**

В ремонтной практике о состоянии двигателя судят по результатам осмотра и измерения некоторых параметров. К исправному двигателю предъявляются следующие основные требования:

1. Он должен быть укомплектован всеми деталями и узлами.
2. На станине, подшипниковых щитах, корпусе и крышке вводного устройства, кожухе вентилятора не должно быть трещин, сколов и вмятин, а также повреждений лакокрасочного покрытия.
3. Не должно быть осевого обгорания контактных болтов клеммой панели вводного устройства.
4. Должны иметь правильную маркировку выводные концы обмотки.

5. Не должно быть осевого смещения ротора и обрыва его стержней.

6. Сопротивление изоляции обмотки одной фазы относительно другой и относительно станины должно быть при рабочей температуре не менее 0,5 МОм.

7. Не должно быть замыкания обмотки на станину и между фазами, обрыва и межвиткового замыкания.

8. Сила тока основного хода должна составлять 30...60% от номинального, а неравномерность токов в отдельных фазах не должна превышать 5% от их среднего арифметического значения.

9. Отклонения между наибольшим и наименьшим воздушным зазором от среднего арифметического значения воздушного зазора не должно превышать 10%.

При проведении дефектации двигателя в целом и его отдельных частей ориентируются на характерные неисправности, наиболее часто встречающиеся в ремонтной практике. Перечень их приведён ниже.

#### **Перечень возможных дефектов и вид ремонта**

1. Трещины и сколы на лапах, корпусе, подшипниковых щитах (трещины более длины корпуса, отбито более 2 лап – двигатель в ремонт не принимается), трещины и сколы в посадочных местах – капитальный ремонт.

2. Износ и срыв резьбовых соединений (резьба имеет более 2 сорванных ниток, смяты головки болтов, болты искривлены – текущий ремонт).

3. Обгорание или обугливание обмоток статора или других его частей – капитальный ремонт.

4. Нарушение лакового покрова лобовых частей обмотки статора – капитальный ремонт.

5. Обрыв, ослабление или потеря механической прочности бандажами лобовых частей, ослабление или выпадение пазовых клиньев – текущий ремонт.

6. Повреждение изоляции выводных проводов – текущий ремонт.

7. Увлажнение обмотки статора (сопротивление изоляции менее 0,5 МОм при 15° С – текущий ремонт, сушка; если после сушки сопротивление изоляции менее 0,5 МОм – капитальный ремонт).

8. Следы подгорания, трещины на клеммной коробке – текущий ремонт.



9. Коррозия, вмятины на активной стали статора и ротора – текущий ремонт (зачистка поверхности, покрытие лаком).

10. Ослабление шихтовки статора и ротора, повреждение листов (тонкое лезвие ножа входит между листами, при постукивании молотком дребезжание и выделение пыли красного цвета – капитальный ремонт) (рис. 2).

11. Повреждение подшипников (разрушение сепараторов, шариков, выкрашивание металла на дорожках качения, большой радиальный зазор, сколы и трещины на кольцах сепараторов или шариках, забоины или вмятины на поверхности дорожек качения, цвета побежалости на поверхности колец, сепараторов, шариков, царапины или риски, расположенные поперёк пути качения шариков, стук и не устраняемый после промывки шум в подшипниках, чёткие отпечатки шариков на дорожках качения – текущий ремонт подшипников) (рис. 3).

12. Износ шеек вала в местах посадки подшипника – капитальный ремонт.

13. Ослабление посадки шкива или полумуфты на валу ротора – капитальный ремонт.

14. Износ поверхностей боковых стенок шпоночной канавки – текущий ремонт.

15. Изгиб лопаток вентилятора, вмятины и трещины на корпусе – текущий ремонт.

16. Повреждение окраски – текущий ремонт.

17. Вмятины или искривления вала двигателя – капитальный ремонт.

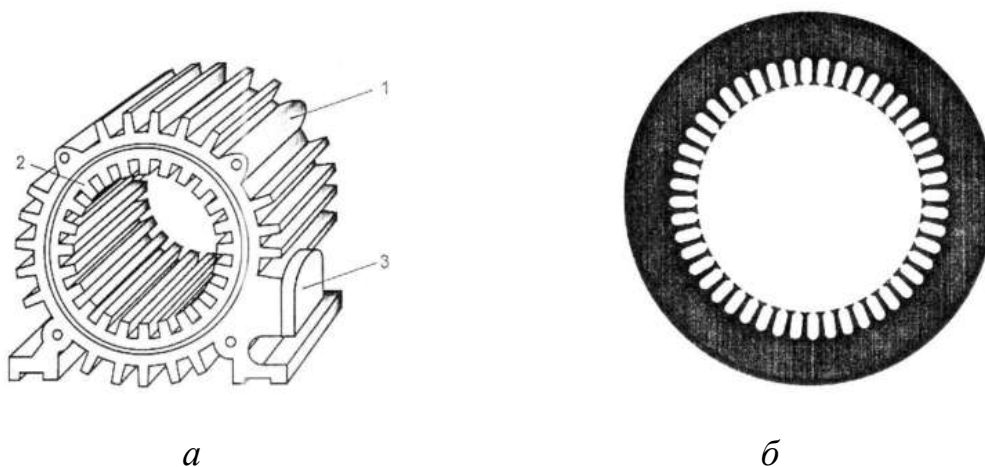
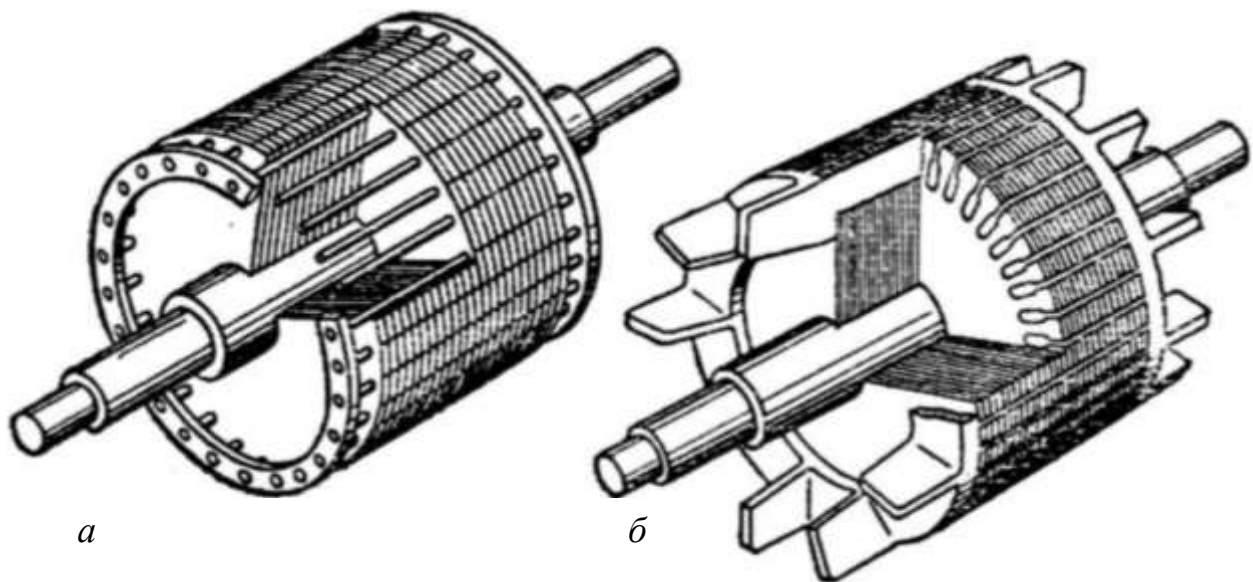


Рисунок 2 – Статор асинхронного электродвигателя:  
а – без обмотки; б – стальной лист статора



*Рисунок 3 – Короткозамкнутые роторы асинхронных электродвигателей:  
а – со сварной обмоткой «беличья клетка»; б – с литой обмоткой*

Отмеченные неисправности выявляются следующим образом:

– в собранной или разобранной машине обрыв в цепи обмотки определяется контрольной лампой или мегаомметром. Для определения обрыва обмотки фазы мегаомметр присоединяют к её выводам, выполняют измерения. При наличии обрыва мегаомметр покажет значение, близкое к бесконечности;

– замыкание обмотки фазы на станину или другую фазу выявляют при измерении сопротивления изоляции мегаомметром. При наличии замыкания стрелка прибора будет находиться на нуле. Измерения выполняются для всех фаз;

– для проверки наличия витковых замыканий используется аппарат ЕЛ15, электронное устройство, применяемое при производстве и ремонте электрических машин.

## Приложение к лабораторной работе № 5

Паспортные данные электродвигателя:

### Результаты осмотра двигателя

Наименование узлов и деталей двигателя	Обнаруженные неисправности	Рекомендуемый способ ремонта
Станина		
Подшипниковые щиты		
и т.д.		
и т.д.		

Общее заключение после проведения дефектации:

### Контрольные вопросы

1. Каково назначение ведомости дефектов?
2. Устройство и предназначение ротора.
3. Устройство и предназначение статора.
4. Асинхронный двигатель. Параметры, характеристики, предназначение.
5. Каковы требования к двигателям, принимаемым в ремонт?
6. Какие повреждения электрических машин относят к механическим, а какие – к электрическим?
7. Какие неисправности определяют в процессе внешнего осмотра электродвигателя?
8. Дефектация разобранного двигателя.
9. Как обнаружить витковые замыкания?
10. Способ разборки асинхронного электродвигателя.

## Лабораторная работа № 6. ИССЛЕДОВАНИЕ АППАРАТОВ УПРАВЛЕНИЯ

**Цель работы:** изучить конструкцию пакетно-кулачковых переключателей и магнитных пускателей; освоить способы их наладки.

**Содержание работы и порядок ее выполнения:**

- ознакомиться с образцами пакетно-кулачковых переключателей и электромагнитных пускателей. Выяснить назначение всех их основных элементов;
- произвести внешний осмотр образца электромагнитного пускателя. Проверить целостность обмотки и состояние изоляции. Произвести проверку механической части;
- определить напряжение срабатывания и отпускания и коэффициент возврата контактора магнитного пускателя;
- составить отчет о работе. Сделать выводы. Ответить на контрольные вопросы.

### Пакетно-кулачковые переключатели

*Пакетно-кулачковые переключатели* находят широкое применение в различных электроустановках. Они применяются для пуска, реверсирования и остановки асинхронных электродвигателей, изменения схем соединения обмоток двигателей и трансформаторов и во многих других случаях. Номинальный ток переключателя является и предельно допустимым по разрыву, поэтому выбираются они по максимальному току соответствующей электроустановки.

Устройство пакетно-кулачкового переключателя для пуска и реверсирования трехфазного электродвигателя показано на рис. 1, а.

Общий вал, имеющий сечение квадратной формы, может занимать восемь устойчивых положений (единичный поворот –  $45^\circ$ ). Число требуемых рабочих положений устанавливается с помощью специальных стопорных колец и в рассматриваемом примере составляет три.

Подпружиненные контакты вставляются в специальные толкатели. Кулачки, которые насаживаются на общий вал, имеют выступы и впадины. Форма кулачков может быть самой разнообразной и определяется требованиями к схеме переключения.

Рассматриваемый переключатель имеет три кулачка одинаковой формы, которые одинаково устанавливаются на оси. Последовательность замыкания и размыкания различных контактов переключателя задается в виде диаграммы (рис. 1, б), на которой для каждого из по-

положений рукоятки переключателя указывается состояние каждой контактной пары.

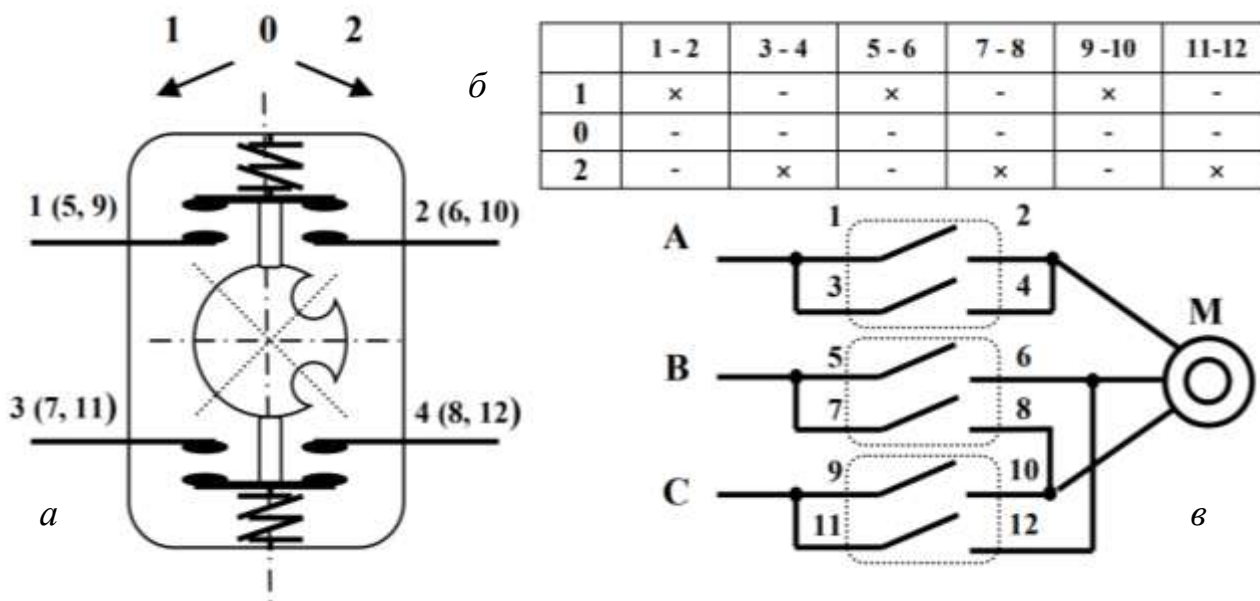


Рисунок 1 – Пакетно-кулачковый переключатель (а), его диаграмма (б) и схема реверсирования асинхронного электродвигателя (в)

Схема управления трехфазным реверсивным электродвигателем приведена на рис. 1, в). В нулевом положении рукоятки переключателя все контакты разомкнуты. При повороте влево (положение 1) под действием пружины замыкаются пары контактов: 1–2, 5–6, 9–10, двигатель включается на прямое чередование фаз. При повороте вправо эти пары контактов будут разомкнуты, а замкнутся пары: 3–4, 7–8, 11–12, включающие двигатель на обратное чередование фаз.

Пакетно-кулачковый переключатель для регулирования тока сварочных трансформаторов ТДМ–163 состоит из двух пакетов с кулачками различной формы (рис. 2, а).

При повороте рукоятки по часовой стрелке контакты замыкаются в последовательности, указанной на диаграмме (рис. 2, б). Если переключатель находится в нулевом положении, расположенные на различных стержнях части первичной обмотки не связаны между собой, что соответствует отключению трансформатора.

В первом положении вся подключаемая к сети часть первичной обмотки расположена на первом стержне. Магнитная связь с основной частью вторичной обмотки, расположенной на втором стержне, в этом случае относительно мала.

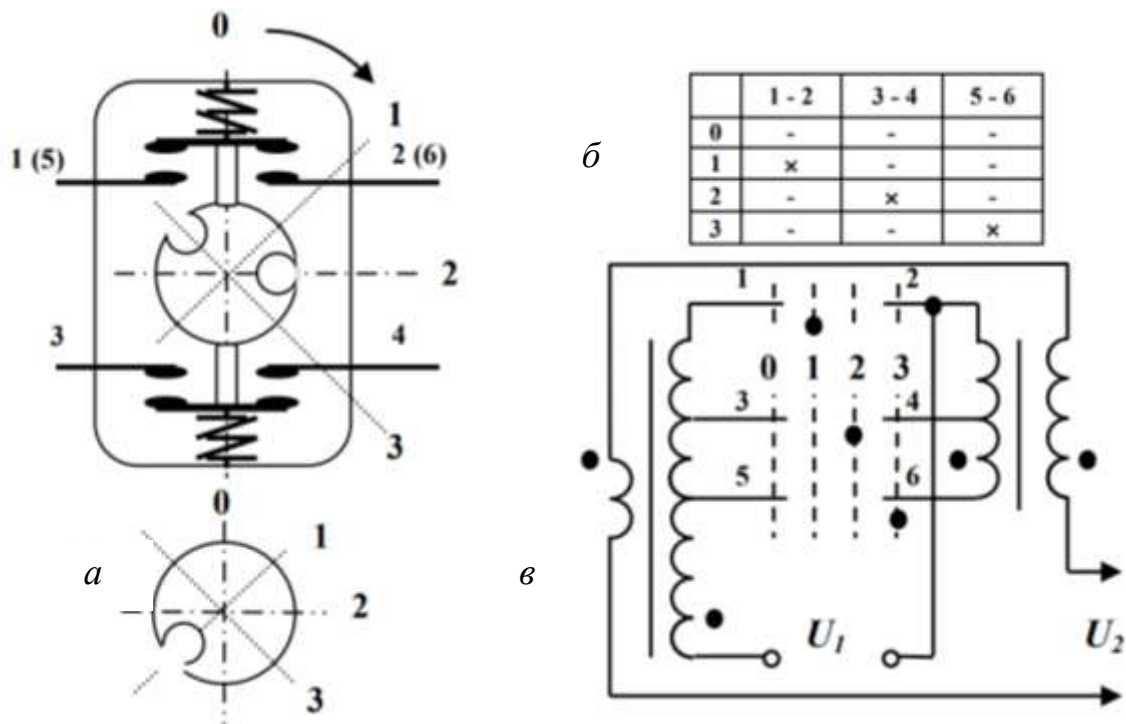


Рисунок 2 – Пакетно-кулачковый переключатель для регулирования тока сварочных трансформаторов:  
*а* – устройство; *б* – диаграмма переключений; *в* – принципиальная схема трансформатора

При установке переключателя в положение «2» часть витков первичной обмотки между выводами 1 и 3 отключается, а точно такое же количество витков между выводами 2 и 4 на другом стержне – подключается. В результате обеспечивается усиление магнитной связи первичной и вторичной обмоток, индуктивное сопротивление рассеяния уменьшается, ток возрастает.

В положении «3» еще одна часть витков первичной обмотки между выводами 3 и 5 отключается, а часть витков между выводами 4 и 6 на другом стержне – подключается. При этом магнитная связь между первичной и вторичной обмотками максимальна, а индуктивное сопротивление рассеяния, напротив, – минимально. Ток возрастает до максимального значения.

Переключения необходимо производить без нагрузки.

### Магнитные пускатели

*Магнитные пускатели* представляют собой аппараты управления дистанционного действия, главной частью которых являются контакторы. Помимо этого, в них обычно встраиваются тепловые реле, предназначенные для защиты электроустановок, и выполняются все внутренние соединения элементов, необходимые для нормального функционирования в соответствии с назначением.

Электромагнитные контакторы представляют собой электрические аппараты дистанционного действия, предназначенные для коммутации силовых электрических цепей, в которых замыкание и размыкание контактов осуществляется электромагнитным приводом.

Контакторы классифицируются по следующим критериям:

- по роду тока главной цепи (постоянный, переменный, переменный повышенной частоты);
- номинальному току главных цепей (от 4 до 2500 А);
- номинальному напряжению главных цепей (до 750 В постоянного и до 660 В переменного тока);
- роду тока цепей управления (постоянный или переменный);
- числу пар главных контактов, называемых условно полюсами (от одного до пяти полюсных);
- роду тока цепей управления (постоянный или переменный);
- величине напряжения цепей управления (от 24 до 660 В);
- наличию и исполнению вспомогательных контактов;
- допустимой частоте включений в час и механической износостойкости контакторы разделяются на четыре класса:

Класс износостойкости	Допустимая частота включений (число циклов в час)	Механическая износостойкость (число циклов)
I	30	$0,25 \cdot 10^6$
II	150	$1,2 \cdot 10^6$
III	600	$5 \cdot 10^6$
IV	1200	$10 \cdot 10^6$

Основными частями контакторов являются: электромагнитная система, главные контакты, которые могут снабжаться системой дугогашения, и вспомогательные контакты.

*Главные контакты* осуществляют коммутацию силовых цепей и рассчитываются на длительное протекание больших токов, а также на достаточно большое число включений и отключений в час. При их расчете необходимо учитывать как прямой электрический нагрев, так и дополнительный нагрев от возникающей при отключениях дуги.

Главные контакты на большие токи выполняются преимущественно стыковыми, рычажного типа, а на относительно малые токи – преимущественно мостиковыми. В первом случае используется поворотная подвижная часть магнитной системы, во втором – прямоходовая.

*Дугогасительная система* обеспечивает эффективное гашение дуги, возникающей при размыкании главных контактов. Способы га-

шения дуги и конструкция камер определяются величиной и родом тока главных цепей, и режимом работы контактора. Вспомогательные контакты предназначены для переключений в цепях управления самим контактором, а также во внешних цепях управления, блокировки и сигнализации. Они рассчитываются на относительно малые токи, выполняются, как правило, мостиковыми, и могут быть как замыкающими, так и размыкающими.

*Электромагнитная система* (магнитопровод и катушка) обеспечивает дистанционное управление работой контакторов.

*Катушки контакторов* обеспечивают включение и удержание якоря в притянутом положении. Иногда используются две катушки: мощную – для включения, и маломощную – для удержания, чем достигается снижение потребления электроэнергии. Размыкание контактов происходит после снятия напряжения под действием отключающих пружин. Втягивающая катушка должна обеспечивать срабатывание контакторов при снижении напряжения, обычно – до  $0,85U_{\text{ном}}$ , и его нормальную работу при повышении напряжения до  $1,05U_{\text{ном}}$ .

Магнитопроводы контакторов переменного тока шихтуются. Для устранения вибраций магнитной системы при переменном токе сердечники снабжаются короткозамкнутыми витками.

*Контакторы постоянного тока* выполняются, как правило, однополюсными. Это объясняется тем, что при наличии нескольких полюсов при частых отключениях пространство над дугогасительными камерами сильно ионизируется и возникает опасность короткого замыкания между полюсами различной полярности.

*Контакторы переменного тока* чаще всего бывают трехполюсными, с замыкающими главными контактами. По характеру движения якоря различают прямоходовые и поворотные магнитные системы.

Контакторы пускателей переменного тока серии ПМЕ (рис. 3) имеют прямоходовую систему. Внутри корпуса находится неподвижная часть Ш-образного сердечника 7 с расположенной на среднем стержне катушкой 6. На крайних стержнях имеются короткозамкнутые витки, предотвращающие вибрацию. Подвижная часть магнитопровода (якорь) 5 связана с пластмассовой траверсой 4, на которой смонтированы мостиковые контакты 2. Плавность хода якоря и усилие нажатия обеспечиваются за счет контактных пружин 1. Неподвижные контакты припаяны к контактным пластинам 3, которые снабжены винтовыми зажимами для присоединения внешних цепей.



На боковых стенках размещаются вспомогательные контакты 8. Главные контакты предохраняются от случайного прикосновения, попадания влаги и пыли и др. специальной крышкой.

Пускатели серии ПМЕ выпускаются в различном исполнении: реверсивные и нереверсивные, и могут комплектоваться тепловыми реле для защиты электроустановок от относительно небольших, но длительных перегрузок.

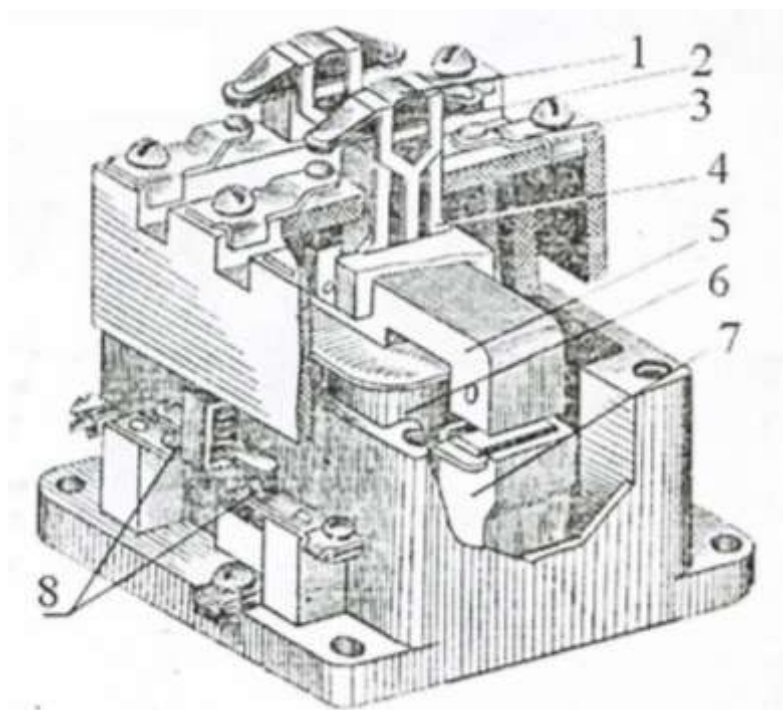


Рисунок 3 – Пускатель переменного тока серии ПМЕ

Пускатели переменного тока серии ПА (рис. 4) имеют поворотную магнитную систему. Контактёр собирается на металлическом основании 1. Контактная система мостикового типа состоит из неподвижных контактов 2 и подвижных контактов 3, и размещается в дугогасительной камере 5. Необходимая сила нажатия контактов обеспечивается за счет пружины 4. Подвижные контакты 3 механически связаны с траверсой 6, которая может поворачиваться вокруг оси. На противоположном конце траверсы 6 укреплен якорь 7.

В электромагнитный механизм контактора входят также магнитопровод 8 и расположенная на нем катушка 9. Пружина 10 обеспечивает более плотное прилегание якоря и сердечника при срабатывании контактора и смягчает возникающий при этом удар. При отключении катушки 8 траверса 6 под действием пружины 11 поворачивается вправо и размыкает главные контакты 2 и 3. В контакторе преду-

смотрена установка теплового реле 12, которое при нагревании размыкает свои контакты в цепи питания катушки и отключает контактор, чем достигается защита электроустановок от перегрузок.

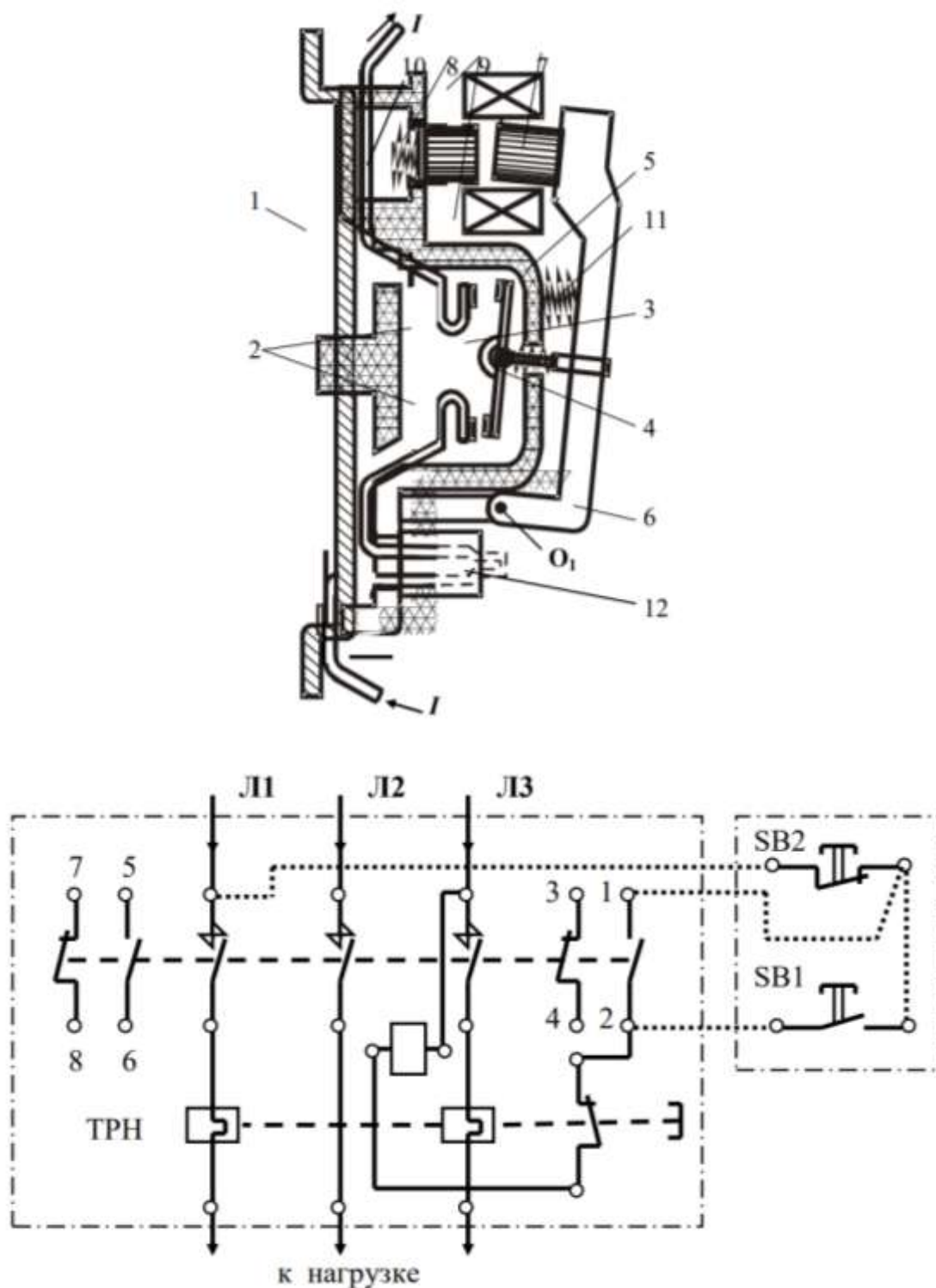


Рисунок 4 – Конструкция и схема электрических соединений пускателя серии ПА

## Общие методы испытаний и наладки

В процессе подготовки электрических аппаратов к включению необходимо выполнить ряд подготовительных операций:

- внешний осмотр всего аппарата, а также отдельных его узлов;
- проверка состояния изоляции различных электрических цепей;
- проверка целостности обмоток и измерение их электрического сопротивления постоянному току;
- регулировка механических узлов и деталей: контактов, пружин, механизмов блокировки и др.;
- испытания и регулировка аппаратов под напряжением.

**При внешнем осмотре необходимо:** установить тип аппарата и его паспортные данные, проверить состояние основных узлов:

- катушек магнитных пускателей;
- магнитопровода, главных и вспомогательных контактов, пружин, дугогасительных камер;
- узлов крепления.

**Проверка изоляции** осуществляется с помощью мегаомметра для всех отдельных элементов и цепей по отношению друг к другу и к корпусу. Элементы, нормально соединённые с корпусом или «землёй», необходимо предварительно отключить. Сопротивление изоляции должно быть не менее 0,5 МОм.

**Целостность обмоток** устанавливается с помощью омметров или методом амперметра-вольтметра (на пониженном напряжении). При необходимости (например после ремонта) определяется сопротивление обмотки постоянному току, которое необходимо привести к расчётной температуре. При увеличении сопротивления катушек увеличивается напряжение срабатывания.

**Регулировка механических узлов и деталей** определяет надёжность срабатывания аппаратов управления. Необходимо убедиться в отсутствии различных перекосов и заеданий, плавности хода подвижных элементов, проверить целостность всех пружин. Контакты не должны быть оплавленными, форма их должна быть правильной.

Особое внимание уделяется проверке растворов, провалов и силы нажатия контактов. Раствором называется минимальное расстояние между подвижным и неподвижным контактами в отключённом состоянии, а провалом – дополнительный ход упора контактов после их замыкания.

Провал позволяет косвенно судить о силе сжатия пружины. Прямой замер силы нажатия осуществляется динамометром при включённом аппарате в направлении оси, по которой оттягивается подвижный контакт. Раствор и провал измеряются штангенциркулем или специальными шаблонами.

Включенный электрический аппарат должен надёжно удерживать заложенную между контактами бумажную полоску. Напряжение срабатывания и отпускания определяется в рабочем положении аппарата в холодном состоянии и приводится к рабочей температуре по формуле

$$U_{cp.t^o} = U_{cp.0} \frac{235 + t^o_p}{235 + t_0^o} . \quad (1)$$

Особенно чувствительны к температуре катушки постоянного тока. Если необходимо установить предельное напряжение срабатывания, его плавно изменяют с помощью регулятора до тех пор, пока не появятся признаки нарушения работоспособности: дребезг, ослабление нажатия контактов. При проверке срабатывания аппарата на определённое напряжение его подают толчком, как это имеет место в реальных схемах. Как правило, напряжение срабатывания электромагнитных пускателей должно составлять не менее 85% от номинального значения напряжения катушки.

### **Определение напряжения срабатывания и отпускания**

Схема электрических соединений учебно-лабораторного стенда для определения напряжения срабатывания и отпускания электромагнитного контактора переменного тока показана на рисунке 5.

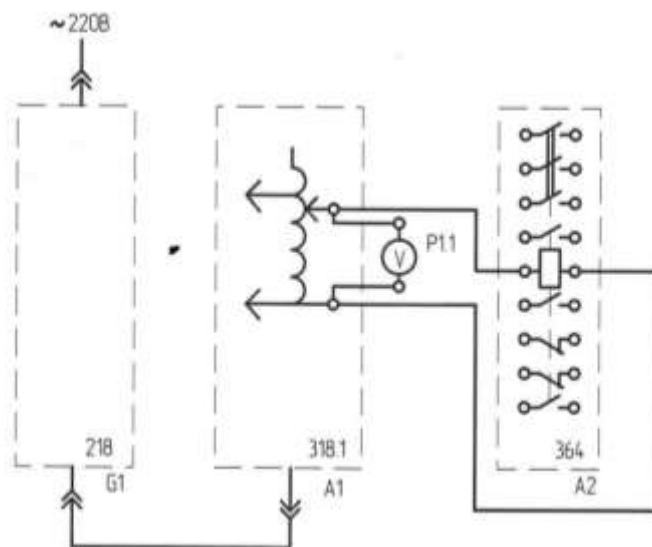
Для выполнения эксперимента необходимо:

- выполнить соединение всех элементов согласно схеме (рис. 5);
- поворотом против часовой стрелки установить рукоятку автотрансформатора в крайнее положение;
- включить автоматический выключатель и устройство защитного отключения в источнике питания;
- медленно вращая рукоятку автотрансформатора по часовой стрелке, увеличивать напряжение на выводах обмотки контактора до момента срабатывания, зафиксировать это напряжение;
- отключить автоматический выключатель, а затем подать напряжение толчком и убедиться в надёжности срабатывания контактора;

– медленно вращая рукоятку автотрансформатора против часовой стрелки, уменьшать напряжение до тех пор, пока не появятся характерные признаки нарушения работоспособности, зафиксировать напряжение отпускания;

– определить коэффициент возврата контактора по формуле

$$k_{\text{возвр}} = U_{\text{отп}}/U_{\text{срo}} \quad (2)$$



*Рисунок 5 – Схема электрических соединений стенда для определения напряжения срабатывания и отпускания электромагнитного контактора*

### Контрольные вопросы

1. Пояснить принцип действия и конструктивное устройство пакетно-кулачковых переключателей.
2. Пояснить принцип действия и конструктивное устройство электромагнитных контакторов.
3. Пояснить, чем отличаются пускатели от контакторов, привести примеры схем.
4. Как производятся испытания и наладка магнитных пускателей?
5. По каким параметрам выбираются магнитные пускатели?
6. Достоинства и недостатки пакетно-кулачковых переключателей.
7. Для чего предназначен магнитный пускатель с тепловым реле.
8. Расшифровка ПМЛ.
9. Где применяются кулачковые переключатели? Основные сферы применения аппаратов.
10. В чем различие пускателя и контактора?

## Лабораторная работа № 7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТРАНСФОРМАЦИИ И ГРУППЫ СОЕДИНЕНИЯ ОБМОТОК ТРАНСФОРМАТОРА

**Цель работы:** изучить методику определения коэффициента трансформации и группы соединения обмоток трансформатора.

**Содержание работы и порядок ее выполнения:**

- ознакомиться с конструкцией и устройством трансформатора;
- научиться определять группы соединения обмоток;
- произвести расчет коэффициента трансформации для каждой группы обмоток.

### Устройство трансформатора

**Трансформатором** называют статическое электротехническое устройство, которое служит для преобразования переменного тока одного напряжения в переменный ток другого напряжения.

**Схема магнитной системы однофазного трансформатора** (рис. 1) содержит магнитопровод 1, выполненный из ферромагнитного материала, первичную 2 и вторичную 3 обмотки. Первичная обмотка  $W_1$  (обмотка высокого напряжения) подключается к источнику электроэнергии с напряжением  $U_1$ , а вторичная обмотка  $W_2$  (обмотка низкого напряжения) с напряжением  $U_2$  подключается к нагрузке  $Z_H$ .

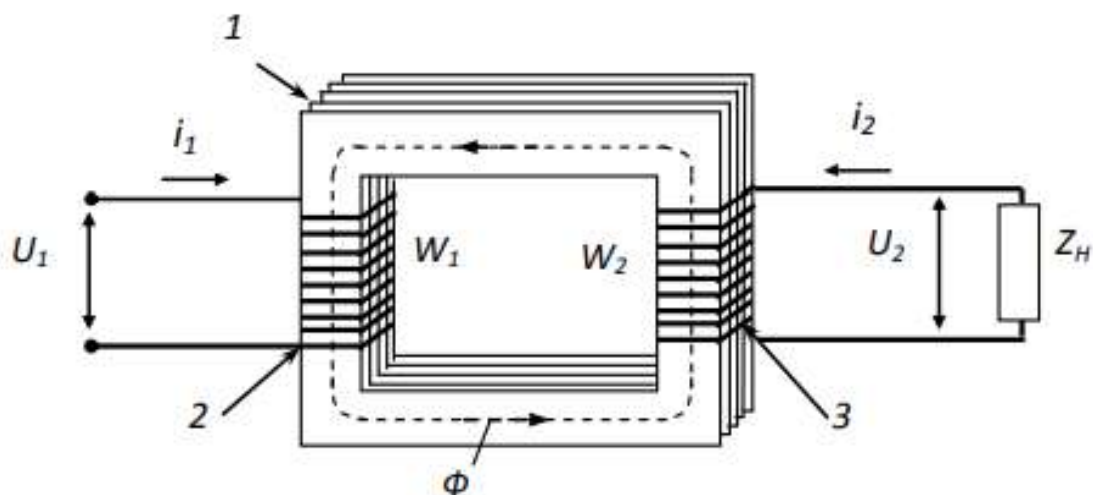


Рисунок 1 – Магнитная система однофазного трансформатора

Для уменьшения потерь магнитопровод собирается из тонких листов электротехнической стали (0,35; 0,5 мм), которые изолируют друг от друга лаком. Часть магнитопровода, на которой располагают-

ся обмотки, называют стержнями. Части магнитопровода, замыкающие стержни, называют ярмом.

**Принцип работы трансформатора** основан на явлении взаимной электромагнитной индукции. При подключении к первичной обмотке источника напряжения переменного тока в витках этой обмотки протекает переменный ток  $i_1$ , который создает в магнитопроводе переменный магнитный поток  $\Phi$  (см. рис. 1).

Магнитный поток  $\Phi$ , замыкаясь в магнитопроводе, индуцирует в первичной и вторичной обмотках  $W_1$  и  $W_2$  ЭДС  $E_1$  и  $E_2$  соответственно. При подключении нагрузки  $Z_H$  к выводам вторичной обмотки под действием ЭДС  $E_2$  в цепи этой обмотки потечет ток  $i_2$ .

Однофазные трансформаторы в зависимости от формы магнитопровода и расположения обмоток подразделяются на стержневые и броневые (рис. 2). Сечение стержней у маломощных трансформаторов выполняется прямоугольным, а у мощных трансформаторов (как правило, более 5 кВт), для лучшего использования стали, в виде ступенчатой фигуры, вписанной в окружность витков обмотки. Обмотки размещаются на стержнях трансформаторов.

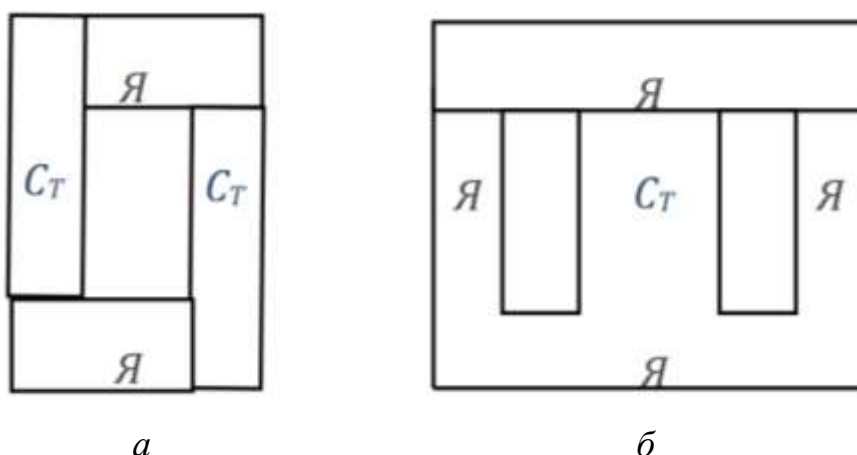


Рисунок 2 – Типы магнитопроводов трансформаторов:  
а – стержневой; б – броневой; Я – ярмо; СТ – стержень

**Для трансформации трехфазного тока** можно использовать три однофазных трансформатора, обмотки которых могут быть соединены по схеме звезды или треугольника. Однако на практике широкое применение нашли трехфазные трансформаторы с общим для всех трех фаз магнитопроводом (рис. 3). Зажимы трехфазного трансформатора обозначаются в порядке чередования фаз: на стороне вы-



сокого напряжения начало обмоток обозначается А, В, С, а их концы – Х, Y, Z; на стороне низкого напряжения соответственно а, б, с и х, у, z.

Соединение обеих обмоток трехфазного трансформатора в звезду является самым простым и дешевым, поскольку каждая из обмоток и ее изоляция (при заземленной нейтрали) должны быть рассчитаны только на фазные напряжения и линейный ток. Соединение звезда – треугольник применяют для трансформаторов большой мощности в тех случаях, когда на стороне низкого напряжения не требуется нейтральный провод.

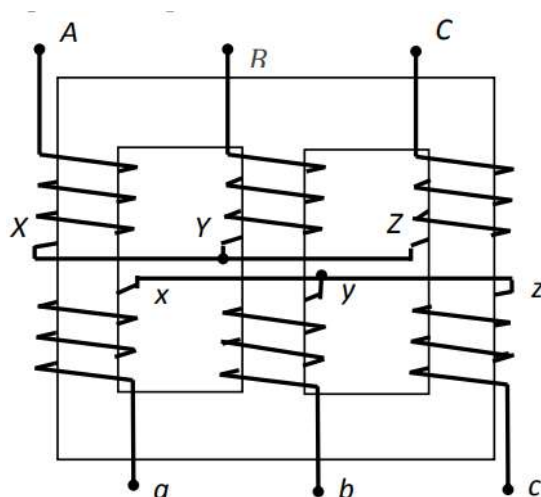


Рисунок 3 – Магнитопровод трехфазного трансформатора

**В автотрансформаторе** обмотка низкого напряжения составляет часть обмотки высокого напряжения (рис. 4). Электроэнергия в автотрансформаторах передается не только электромагнитным путем, но и за счет непосредственной связи обмоток. Напряжения и токи в автотрансформаторе связаны теми же соотношениями, как и в обычном трансформаторе.

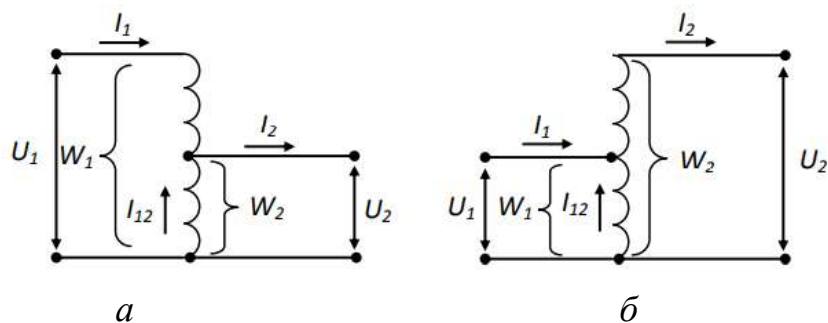


Рисунок 4 – Принципиальные электрические схемы обмоток автотрансформаторов:  
а – понижающего; б – повышающего



Таким образом, автотрансформатор по сравнению с трансформатором равной мощности обладает следующими преимуществами: меньшим расходом активных материалов (меди и электротехнической стали); более высоким КПД (99%); меньшим размером и стоимостью.

**Коэффициент трансформации**  $k_{\text{л}}$  обычно определяют как отношение линейного напряжения высокой стороны  $U_{\text{вн}}$  к линейному напряжению низкой стороны  $U_{\text{нн}}$ .

$$k_{\text{л}} = U_{\text{вн}}/U_{\text{нн}}. \quad (1)$$

Согласно ГОСТу, допускается отклонение измеренного коэффициента трансформации от расчетного не более  $\pm 1\%$ . Для проверки групп соединения обмоток пользуемся методом двух вольтметров. Схема проверки групп соединения обмоток приведена на рисунке 5.

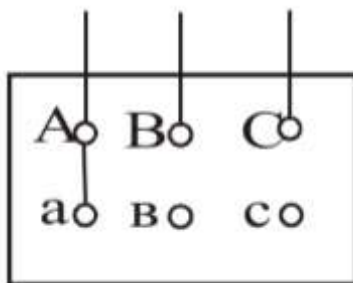


Рисунок 5 – Схема проверки группы соединения обмоток трансформаторов

Между выводами A и a на трехфазном трансформаторе устанавливаем перемычку, а к обмотке ВН подводим симметричное по фазам напряжение 100–200 В. Затем измеряем напряжение  $U_{\text{AB}}$ ,  $U_{\text{BC}}$ ,  $U_{\text{CA}}$  и результирующее напряжение  $U_{\text{Вв}}$ ,  $U_{\text{Вс}}$ ,  $U_{\text{Сс}}$ ,  $U_{\text{Св}}$ . Значение этих напряжений в зависимости от группы соединений может быть больше, равно или меньше так называемого условного напряжения, подсчитываемого по формуле

$$U_{\text{усл}} = U'_{\text{нн}} \cdot \sqrt{k^2 + 1}. \quad (2)$$


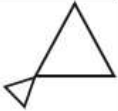

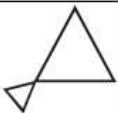

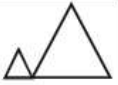

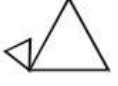




Здесь  $U'_{\text{нн}}$  – линейное напряжение на выводах обмотки низкого напряжения (НН). Оно может быть измерено или подсчитано по формуле

$$U'_{\text{нн}} = U_{\text{л}}/k, \quad (3)$$

где  $U_{\text{л}}$  – напряжение, подведенное к линейным выводам обмотки ВН при опыте, В.

При сравнении последовательности расположения результата измерения в соответствующей последовательности обозначений по таблице 1 определяем группу соединения обмоток трансформатора.

Таблица 1 – Определение группы соединения обмоток

Группа соединения обмоток	Угловое смещение ЭДС	Возможное соединение обмоток	Векторная диаграмма ЭДС	Измерение напряжения на зажимах				Группа соединения обмоток	Угловое смещение ЭДС	Возможное соединение обмоток	Векторная диаграмма ЭДС	Измерение напряжения на зажимах			
				ВВ	Вс	Сс	Св					ВВ	Вс	Сс	Св
0	0°	Y/Y, Δ/Δ, Δ/Z		<	<	<	<	6	180°	Y/Y, Δ/Δ, Δ/Z		>	>	>	>
1	30°	Y/Δ, Δ/Y, Y/Z		<	=	<	<	7	210°	Y/Δ, Δ/Y, Y/Z		>	=	>	>
2	60°	Y/Y, Δ/Δ, Δ/Z		<	>	<	<	8	240°	Y/Y, Δ/Δ, Δ/Z		>	<	>	>
3	90°	Y/Δ, Δ/Y, Y/Z		=	>	=	>	9	270°	Y/Δ, Δ/Y, Y/Z		>	<	=	>
4	120°	Y/Y, Δ/Δ, Δ/Z		>	>	>	<	10	300°	Y/Y, Δ/Δ, Δ/Z		<	<	<	>
5	150°	Y/Δ, Δ/Y, Y/Z		>	>	>	=	11	330°	Y/Δ, Δ/Y, Y/Z		<	<	<	=

## Контрольные вопросы

1. Устройство и принцип работы трансформатора.
2. Устройство и предназначение магнитопровода.
3. Устройство и принцип работы автотрансформатора.
4. Схемы подключения трансформаторов.
5. Как осуществляется передача энергии из одной обмотки в другую?
6. Что такое коэффициент трансформации?
7. Сколько существует групп соединения обмоток трансформатора?
8. Каким методом выполняется проверка группы соединения обмоток трансформатора?
9. Поясните, каким образом выполняется проверка группы соединения обмоток трансформатора предложенным методом.
10. Чем является вторичная обмотка трансформатора по отношению к нагрузке?

# Контрольная работа № 1. ИЗУЧЕНИЕ ОБЪЕМА И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ИСПЫТАНИЙ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПОСЛЕ МОНТАЖА

**Цель:** изучить объем и последовательность испытаний силовых трансформаторов, научиться измерять сопротивление изоляции обмоток силовых трансформаторов.

## **Ход выполнения работы:**

- изучить краткие теоретические сведения;
- выполнить задание.

## **Краткие теоретические сведения**

Силовые трансформаторы, вводимые в эксплуатацию, должны подвергаться приемосдаточным испытаниям в соответствии с требованиями ПУЭ.

В объем испытаний входят:

1. Измерение характеристик изоляции: R60; R60/R15;  $\text{tg}\delta$ ; C2/C50; C/C.
2. Испытание повышенным напряжением промышленной частоты:
  - а) изоляция обмоток вместе с вводами;
  - б) изоляции доступных стяжных шпилек, прессующих колец и ярмовых балок.
3. Измерение сопротивления обмоток постоянному току.
4. Проверка коэффициента трансформации.
5. Проверка группы соединения трехфазных трансформаторов и полярности выводов однофазных трансформаторов.
6. Измерение тока и потерь холостого хода.
7. Проверка работы переключающего устройства и снятие круговой диаграммы.
8. Испытание бака с радиаторами гидравлическим давлением.
9. Проверка системы охлаждения.
10. Проверка состояния силикагеля.
11. Фазировка трансформаторов.
12. Испытание трансформаторного масла.
13. Испытание вводов.
14. Испытание включением толчком на номинальное напряжение.

Испытания и измерения следует проводить в определенной последовательности. При испытаниях повышенным напряжением в случае плохого качества масла может произойти пробой изоляции. Витковую изоляцию испытывают после испытания главной изоляции, так как в случае пробоя витковой изоляции при испытаниях приложенным напряжением дефект в витках не будет обнаружен.

Недопустимо также измерять сопротивление обмоток постоянному току до опыта короткого замыкания. При этом опыте в случае плохого качества пайки схемы или плохого состояния контактов в переключателях отвод может подгореть или перегореть.

Если после этого опыта не измерить сопротивление обмоток постоянному току, то дефект останется необнаруженным. При проведении нескольких видов испытаний изоляции испытанию повышенным напряжением должны предшествовать другие виды ее испытаний. Измерение характеристик изоляции проводят при температуре изоляции не ниже 10 °С не ранее чем через 12 часов после заливки маслом. Значение характеристик изоляции должны быть не ниже приведенных в таблицах 1–3.

Таблица 1 – Наименьшие значения R60 для трансформаторов до 35 кВ

Мощность трансформатора, кВА	Значение R60, МОм, при температуре обмоток, °С						
	10	20	30	40	50	60	70
До 6300 включительно	450	300	200	130	90	60	40
10000 и более	900	600	400	260	180	120	80

Таблица 2 – Наименьшие значения tgδ для трансформаторов до 35 кВ

Мощность трансформатора, кВА	Значение tgδ, %, при температуре обмоток, °С						
	10	20	30	40	50	60	70
До 6300 включительно	1,2	1,5	2	2,6	3,4	4	6
10000 и более	0,8	1	1,3	1,7	2,3	3	4

Таблица 3 – Наименьшие значения C2/C50 для трансформаторов

Мощность трансформатора, кВА	Значение отношения C2/C50, измеренного при температуре обмоток, °С		
	10	20	30
До 6300 включительно	1,1	1,2	1,3
10000 и более	1,05	1,15	1,25

Значение коэффициента абсорбции  $k = R60/R15$  должно быть не менее 1,3 при температуре измерения от 10 до 30 °С.

Испытание повышенным напряжением изоляции обмоток вместе с водами производят в соответствии с нормами, представленными в таблице 4. Продолжительность испытания 1 мин (данное испытание для маслонаполненных трансформаторов необязательно). Производится напряжением 1–2 кВ в течение 1 мин в случае осмотра активной части.

Таблица 4 – Наименьшие допустимые значения сопротивлений изоляции R60 обмоток сухих силовых трансформаторов

Номинальное напряжение трансформатора, кВ	Сопротивление изоляции, МОм
До 1	100
1–6	300
Более 6	500

Измерение сопротивления обмоток постоянному току производят на всех ответвлениях, если для этого не требуется выемки сердечника. Значение сопротивления не должно отличаться более чем на 2% от значения, полученного на таком же ответвлении других фаз, или от паспортных данных. Проверка коэффициента трансформации производится на всех ступенях переключения. Коэффициент трансформации не должен отличаться более чем на 2% от значений, полученных на том же ответвлении других фаз, или от паспортных данных. Проверка группы соединения производится лишь при отсутствии паспортных данных.

Измерение тока и потерь холостого хода производится для трансформаторов свыше 1000 кВА при номинальном или понижен-

ном напряжении с пересчетом на номинальное напряжение. Ток холостого хода не нормируется. *Проверка работы переключающего устройства и снятие круговой диаграммы.* Снятие круговой диаграммы производится на всех положениях переключателя.

Таблица 5 – Испытательное напряжение промышленной частоты изоляции силовых маслонаполненных трансформаторов и трансформаторов с облегченной изоляцией

Класс напряжения обмотки, кВ	Испытательное напряжение по отношению к корпусу и другим обмоткам, кВ, для изоляции	
	нормальной	облегченной
До 0,69	4,5	2,7
3	16,2	9
6	22,5	15,4
10	31,5	21,6

Круговая диаграмма не должна отличаться от диаграммы завода-изготовителя. Испытание бака с радиаторами гидравлическим давлением производят давлением столба масла, высоту которого над уровнем заполненного расширителя принимают: для трубчатых и главных баков 0,6 м; для волнистых и радиаторных баков 0,3 м. Если в течение 3 ч при температуре масла не ниже 10 °С не наблюдается течи, то бак считают герметичным. *Проверка системы охлаждения.* Режим пуска и работы охлаждающих устройств должен соответствовать инструкции завода-изготовителя. *Проверка состояния силикагеля.* Индукторный силикагель должен иметь равномерную голубую окраску зерен. Изменение цвета свидетельствует об увлажнении силикагеля. Для восстановления свойств силикагель прокачивают в печах. *Испытание трансформаторного масла.* Пробу масла из трансформатора отбирают после доливки (или заливки) и отстоя в течение не менее 12 ч для трансформаторов до 35 кВ включительно. Отбор пробы масла производят из специально предназначенного для этого крана (или пробки), имеющегося на баке трансформатора. Взятое на пробу масло испытывают на содержание механических примесей, взвешенного угля, на кислотное число, реакцию водной вытяжки, температуру вспышки. При этом пробивное напряжение масла должно быть не менее 25 кВ для трансформаторов напряжением до 15 кВ включительно.

Испытание вводов производят по следующим параметрам:

- сопротивление изоляции измерительной и последней обкладок вводов, измеренное относительно соединительной втулки (производят мегаомметром на 1–2,5 кВ) не должно быть менее 1000 МОм;
- тангенс угла диэлектрических потерь, измеренный при напряжении 3кВ, не должен превышать 3% при номинальном напряжении ввода от 3 до 15 кВ;
- испытание вводов повышенным напряжением производится для вводов, установленных на трансформаторах, в течение 1 мин совместно с обмотками по нормам таблицы 4.

Ввод считают выдержавшим испытание, если при этом не наблюдалось пробоя, скользящих разрядов, выделений газа, а также если после испытаний не обнаружено местного перегрева изоляции.

### Методические указания

Измерения характеристик изоляции производят при температуре изоляции не ниже 10 °С не ранее чем через 12 ч после окончания заливки маслом. Измерения производят по таблице 5. При измерении все вводы обмоток одного напряжения соединяют вместе, остальные обмотки и бак трансформатора должны быть заземлены. Вначале измеряют R15 и R60, затем остальные характеристики изоляции. За температуру изоляции трансформатора, не подвергавшегося нагреву, принимают температуру верхних слоев масла. Для трансформаторов без масла температура определяется термометром, установленным в карман термосигнализатора на крышке бака, причем карман следует заполнять маслом.

Таблица 6 – Схемы измерения характеристик изоляции трансформатора

Двухобмоточные трансформаторы		Трехобмоточные трансформаторы	
Обмотки, на которых производят измерения	Заземляемые части трансформатора	Обмотки, на которых производят измерения	Заземляемые части трансформатора
НН	Бак, ВН	НН	Бак, СН, ВН
ВН	Бак, НН	СН	Бак, ВН, НН
		ВН	Бак, НН, СН
ВН+НН	Бак	ВН+СН	Бак, НН
		ВН+СН+НН	Бак



Если температура масла ниже 10 °С, то для измерения характеристик изоляции трансформатор должен быть нагрет. При нагреве трансформатора температуры изоляции обмоток принимают равной средней температуре обмоток ВН, определяемой по сопротивлению обмотки постоянному току. Измерение указанного сопротивления производят не ранее чем через 60 мин после отключения нагрева обмотки током и не ранее чем через 30 мин после отключения внешнего обогрева. Сопротивление изоляции измеряют мегаомметром на 2500В с верхним пределом не ниже 10000 МОм. Перед началом каждого измерения испытываемая обмотка должна быть заземлена на время не менее 2 мин для снятия возможного емкостного заряда. Для приведения значений R60, измеренных на заводе, к температуре измерений на монтаже t1, а также для определения нормированных значений R60 при температурах, не кратных десяти, производят пересчет с помощью коэффициента k2.

t2-t1, °C	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
k2	1,23	1,5	1,84	2,25	2,75	3,4	4,15	5,1	6,2	7,5	9,2	11,2	13,9	17

### Пример пересчета

Трансформатор 16000кВА, 35кВ.

Данные заводского протокола:

R60 = 300 МОм;

t2 = 55 °С.

Температура изоляции трансформатора t1 при измерении составляет 20 °С.

t2 – t1 = 35 °С; следовательно, k2 = 4,15. Сопротивление изоляции R60, приведенное к 20 °С, будет равно: 300 · 4,15 = 1245 МОм. Сопротивление изоляции на монтаже должно быть не ниже 70% этого значения, т.е. не менее 1245 · 0,7 = 870 МОм.

Таблица 7 – Определение варианта контрольной работы

Предпоследняя цифра номера	Последняя цифра номера									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	13	24	5	10	3	29	8	13	17	22
1	11	26	17	1	6	15	12	30	23	2
2	8	19	9	15	30	16	20	21	6	11
3	4	14	18	7	28	2	27	3	9	25
4	20	27	9	25	19	23	6	26	29	7
5	24	22	12	18	10	14	2	16	3	5
6	13	17	21	12	8	4	30	1	15	28
7	26	24	16	5	23	20	22	12	18	9
8	2	6	1	29	3	10	15	27	14	19
9	7	4	8	11	13	17	21	25	28	30

Пример выбора задания: номер зачетной книжки – 19эт052. Шифр задания – 52. Номер варианта контрольной работы – 12.

Таблица 8 – Данные заводского протокола испытаний

Номер п/п	S, кВА	U, кВ	R60	t2, °C	t1, °C
1	16000	35	383	58	20
2	10000	10	275	57	20
3	25000	110	380	55	20
4	10000	35	360	56	20
5	6300	35	420	60	20
6	16000	35	348	62	19
7	4000	6	355	59	19
8	2500	6	295	61	19
9	40000	110	415	54	19
10	6300	35	326	58	19
11	2500	10	344	56	18
12	4000	10	372	63	18
13	40000	35	333	64	18
14	25000	35	381	66	18
15	16000	35	411	65	18
16	10000	35	288	67	16
17	25000	35	312	68	16
18	10000	35	327	69	16
19	25000	110	373	70	16
20	6300	6	319	71	16
21	16000	10	349	72	15
22	4000	10	385	59	15
23	2500	10	367	58	15
24	40000	110	396	60	15
25	6300	110	334	63	15
26	2500	10	321	66	14
27	4000	10	375	61	14
28	25000	35	358	51	14
29	40000	110	364	53	14
30	10000	35	317	50	14

## Контрольная работа № 2. ПЛАНИРОВАНИЕ РЕМОНТА ЭЛЕКТРОМАШИН, ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРУДОЕМКОСТИ И ЧИСЛЕННОСТИ РАБОЧИХ

**Цель работы:** научиться производить расчет по планированию ремонтов электрических машин.

В результате выполнения работы студент должен:

**знать** – методику расчета межремонтных циклов;

**уметь** – определять продолжительность ремонтных циклов электрических машин и рассчитывать трудоемкость ремонта.

**Ход работы:**

– определить продолжительность ремонтного цикла и межремонтного периода для электромашин цеха (по заданию преподавателя);

– определить трудоемкость капитального ремонта электрической машины.

### Методические указания

При планировании структуры ремонтного цикла, под которой понимаются виды и последовательность чередования плановых ремонтов, исходят из длительности ремонтного цикла. Период времени между двумя плановыми капитальными ремонтами  $T_{пл}$  определяется продолжительностью ремонтного цикла  $T_{табл.}$ . В свою очередь,  $T_{табл.}$  определяется при нормальных условиях эксплуатации при двухсменной работе электрических машин. Значения  $T_{табл.}$  для ряда характерных производств приведены в таблице 1.

Таблица 1

Условия работы электрических машин	$T_{табл.}$ , лет	$T_{табл.}$ , мес.
Сухие помещения ( $K_c = 0,25$ )		
Горячие, гальванические и химические цеха ( $K_c = 0,45$ )		
Загрязненные цеха – деревообработки, сухой шлифовки и т.п. ( $K_c = 0,25$ )		
Длительные циклы непрерывной работы с большой нагрузкой – приводы насосов, компрессоров и т.д. ( $K_c = 0,75$ )		

В промежутке времени между двумя капитальными ремонтами проводят несколько текущих. Период времени между двумя плано-

выми текущими ремонтами  $t_{пл}$  определяется продолжительностью межремонтного периода  $t_{табл}$ , значения которого также приведены в таблице 1.

Плановая продолжительность работы между двумя капитальными и текущими ремонтами определяется по следующим формулам:

$$T_{пл} = T_{табл} \beta_k \beta_p \beta_n \beta_o \beta_c; \quad (1)$$

$$t_{пл} = t_{табл} \beta_k \beta_p \beta_n \beta'_o \beta_o \beta_c, \quad (2)$$

где  $\beta_k=0,75$  для коллекторных машин и 1,0 для остальных машин;

$\beta_p$  – коэффициент, учитывающий сменность работы машины, он определяется числом смен  $K_{см}$ ;

$\beta_n$  – коэффициент использования в зависимости от отношения коэффициента фактического спроса к нормируемому  $K_{ф.с.}/K_c$ ;

$\beta_o = \beta'_o = 1,0$  для электрических машин, отнесенных к вспомогательному оборудованию, для машин основного оборудования  $\beta_o=0,85$  и  $\beta'_o = 0,7$ ;

$\beta_c = 1,0$  для электрических машин, установленных на стационарных установках, а для машин передвижных электрических установок  $\beta_c = 0,6$ .

Ниже приведены значения коэффициентов  $\beta_n$  и  $\beta_p$ :

$K_{ф.с.}/K_c$	0,5	0,75	1,0	1,1	1,2	1,3	
$\beta_n$	1,3	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	
$K_{см}$		1,25	1,5	1,75		2,5	
$\beta_p$		1,6	1,35	1,13		0,8	0,67

Под коэффициентом спроса  $K_c$  понимается отношение максимальной нагрузки предприятия (цеха, отдельного производства)  $P_{max}$  к суммарной установленной на нем мощности электроприемников  $P_y$  (электродвигатели, электротехнологические процессы, освещение и др.). Под  $P_{max}$  понимается получасовой максимум нагрузки предприятия, заложенный в его технический проект и заявляемый предприятием при составлении договора с энергоснабжающей организацией. По значению  $P_{max}$  определяется, в частности, необходимая суммарная

мощность связывающих его с электрической системой трансформаторов. Таким образом

$$K_c = P_{\max} / P_y. \quad (3)$$

Реальная нагрузка предприятия может отличаться от расчетной, так же как и суммарная мощность установленных на нем приемников электрической энергии. Поэтому наряду с коэффициентом  $K_c$  вводится коэффициент фактического спроса  $K_{ф.с.}$ , который определяется опытным путем по фактическому среднечасовому максимуму нагрузки  $P_{ф\max}$  и фактической установленной мощности электроприемников  $P_{фy}$ :

$$K_{ф.с.} = P_{ф\max} / P_{фy}. \quad (4)$$

Коэффициент фактического спроса может существенно отличаться от первоначально принятого. Чем больше  $K_{ф.с.}$ , тем больше средняя нагрузка электрических машин, установленных на предприятии.

По указанной методике для каждой электрической машины, установленной на предприятии, можно рассчитать промежуток времени между капитальными и текущими ремонтами и составить календарный график проведения этих ремонтов, согласовав его с графиком ремонтов основного технологического оборудования. На базе графиков ремонта по отдельным участкам и цехам составляется сводный график ремонта электрических машин по предприятию в целом.

### Пример расчета

Определить продолжительность ремонтного цикла и межремонтного периода для асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, который установлен на прокатном стане металлургического завода, имеет трехсменный график работы (непрерывное производство) и коэффициент фактического спроса, равный 0,6.

Для горячих цехов  $T_{\text{табл}} = 4$  года,  $t_{\text{табл}} = 6$  месяцев при  $K_c = 0,45$ . Далее определяем значение соответствующих коэффициентов:

$$\beta_k = 1 \text{ (у двигателя отсутствует коллектор);}$$

$$\beta_p = 0,67 \text{ при } K_{см} = 3;$$

$$\beta_{и} = 0,7 \text{ (для } K_{ф.с.}/K_c = 0,6/0,45 = 1,33);$$

$$\beta_o = 0,85;$$

$\beta'_0 = 0,7$  (двигатель относится к основному оборудованию);

$\beta_c = 1$  (установка стационарная).

Тогда в соответствии с формулами (1) и (2) рассчитываем время между двумя капитальными  $T_{пл}$  и текущими  $t_{пл}$  ремонтами:

$$T_{пл} = 4,0 \cdot 1,0 \cdot 0,67 \cdot 0,7 \cdot 0,85 \cdot 1,0 = 1,6 \text{ (года).}$$

$$t_{пл} = 6,0 \cdot 1,0 \cdot 0,67 \cdot 0,7 \cdot 0,7 \cdot 1,0 = 2 \text{ (месяца).}$$

Срок 2 месяца соответствует 0,167 года, поэтому между двумя капитальными ремонтами двигатель должен пройти 8 текущих ( $T_{пл}/t_{пл} = 1,6/0,167 = 9$ , но поскольку очередной капитальный ремонт совпадает с текущим, то последний текущий ремонт заменяется на очередной капитальный).

### Контрольные вопросы

1. Понятие ремонта. Текущий ремонт. Капитальный ремонт.
2. Понятие «безотказная работа электрооборудования».
3. Что понимают под техническим обслуживанием?
4. Этапы планово-предупредительного ремонта.
5. Какие требования предъявляются к качеству ремонта электрических машин и трансформаторов?
6. Что называют продолжительностью ремонтного цикла?
7. Что понимают под коэффициентом спроса?
8. Что понимают под коэффициентом фактического спроса?
9. На какие группы делятся электромашины, находящиеся в эксплуатации предприятия?
10. Расшифруйте понятие «условная единица ремонта».

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Уважаемые студенты, в данном практикуме изложен материал, представленный для изучения по дисциплине «Монтаж, техническое обслуживание и ремонт электроустановок».

Способы монтажа электроустановок, а тем более требования по их эксплуатации постоянно меняются. Поэтому знать, а самое главное правильно применять такие навыки является основной задачей квалифицированного специалиста. Хорошо, если вам удастся решить ваши будущие производственные задачи с помощью полученных знаний и умений. Неплохо, если вам придется обратиться к специальной литературе или системе Internet, где вы найдете готовое решение или подсказку к решению поставленной перед вами задачи. Если в решении этих задач практикум окажет вам какую-нибудь помощь, авторы будут считать свою работу не напрасной. А пока остается только пожелать вам всяческих успехов.

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Акимова Н. А. Монтаж, техническая эксплуатация и ремонт электрического и электромеханического оборудования / Н.А. Акимова, Н.Ф. Котеленец, Н.И. Сентюрихин. – Москва: Академия, 2015.
2. Бредихин, А.Н. Организация и методика производственного обучения. Электромонтер-кабельщик: учебное пособие для среднего профессионального образования / А.Н. Бредихин. – Москва: Юрайт, 2019.
3. Воробьев, В.А. Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования сельскохозяйственных организаций: учебное пособие для среднего профессионального образования / В.А. Воробьев. – Москва: Юрайт, 2019.
4. Куценко, Г.Ф. Монтаж, эксплуатация и ремонт электроустановок: практическое пособие / Г.Ф. Куценко. – Минск: Дизайн ПРО, 2006. – 472 с.
5. ЭУМК дисциплины «Монтаж, техническое обслуживание и ремонт электроустановок» в среде Moodle [Электронный ресурс], режим доступа <https://e.kgau.ru/course/view.php?id=5195> (дата обращения 25.02.2022 г.).



## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b>	3
<b>Лабораторная работа № 1.</b> Техническая эксплуатация и наладка светильника для люминесцентных ламп	6
<b>Лабораторная работа № 2.</b> Определение повреждения кабельной линии с помощью кабельного моста ПКМ-105	13
<b>Лабораторная работа № 3.</b> Изучение конструктивных элементов воздушных линий электропередач	23
<b>Лабораторная работа № 4.</b> Проверка трансформатора перед включением в сеть	39
<b>Лабораторная работа № 5.</b> Разборка и дефектация асинхронного короткозамкнутого двигателя при ремонте	43
<b>Лабораторная работа № 6.</b> Исследование аппаратов управления	52
<b>Лабораторная работа № 7.</b> Определение коэффициента трансформации и группы соединения обмоток трансформатора	62
<b>Контрольная работа № 1.</b> Изучение объема и последовательности испытаний трансформаторов после монтажа	68
<b>Контрольная работа № 2.</b> Планирование ремонта электромашин, определение трудоемкости и численности рабочих	75
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b>	79
<b>РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА</b>	80

***МОНТАЖ, ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И РЕМОНТ  
ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК***

*Лабораторный практикум*

***Василенко Александр Александрович  
Дебрин Андрей Сергеевич***

*Электронное издание*

Редактор И.Н. Крицына

Подписано в свет 30.11.2022. Регистрационный номер 152  
Редакционно-издательский центр Красноярского государственного аграрного университета  
660017, Красноярск, ул. Ленина, 117  
e-mail: rio@kgau.ru