

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ГОМЕЛЬСКОГО ОБЛАСТНОГО  
ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО КОМИТЕТА

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ «БУДА-КОШЕЛЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АГРАРНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ КОЛЛЕДЖ»

«УТВЕРЖДАЮ»

Зам. директора по учебной работе  
\_\_\_\_\_ Н.М. Тимошенко

## РЕМОНТ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

по изучению учебного предмета

и выполнению контрольных заданий

для учащихся-заочников учреждений, обеспечивающих

получение среднего специального образования по специальности

5-04-0812-03 «Эксплуатация энергетического оборудования в сельском  
хозяйстве»



Буда–Кошелево  
2026



Автор: Никитенко Дмитрий Михайлович, преподаватель высшей квалификационной категории.

Рассмотрено и рекомендовано к изданию  
на заседании цикловой комиссии  
электротехнических предметов  
Протокол № \_\_ от «\_\_» \_\_\_\_\_ 2026 г.  
Председатель \_\_\_\_\_ М.В. Азарушкина



## СОДЕРЖАНИЕ

1. Пояснительная записка	4
2. Тематический план	5
3. Содержание программы	8
4. Методические рекомендации по выполнению контрольной работы	15
5. Методические рекомендации по выполнению практических заданий контрольной работы	20
6. Рекомендуемая литература	32



## 1. Пояснительная записка

**Основная цель** изучения учебного предмета «Ремонт электрооборудования» - формирование знаний учащихся по организации проведения текущего ремонта электрооборудования, изучению технологических схем ремонта электрооборудования, проведению профилактических испытаний и измерений, определению и устранению основных неисправностей электрооборудования.

### **Основные задачи:**

- ознакомление с требованиями, предъявляемыми к качеству проведения ремонта электрооборудования;

- обеспечение учащихся высоким уровнем специальных знаний, которые позволили бы специалисту свободно производить техническое обслуживание и текущий ремонт электрооборудования, определять и устранять основные неисправности электрооборудования, приобрести навыки наиболее перспективной системы технического обслуживания и ремонта электрооборудования и средств автоматизации, контролировать их качество.

В результате изучения дисциплины учащиеся должны знать

### **на уровне представления:**

- организацию работ по ремонту электроустановок;
- цели и задачи ремонта электроустановок;
- область применения и условия эксплуатации электроустановок;
- инструменты, приспособления и механизмы при производстве ремонтных работ.

### **на уровне понимания:**

- правила разработки, дефектации и сборки электрооборудования;
- периодичность и объем ремонта электрооборудования;
- методы испытания электрооборудования после ремонта;
- объем и нормы приемо-сдаточных испытаний электрооборудования.

### **уметь:**

- оценить состояние пригодности электрооборудования для эксплуатации;
- производить ремонт электрооборудования;
- производить приемо-сдаточные испытания электрооборудования;
- пользоваться приспособлениями, измерительными приборами при ремонте электрооборудования;
- определять основные неисправности в электроустановках и устранять их;
- обеспечить безопасность жизнедеятельности людей и сохранить животных при ремонте электроустановок.

При изучении учебного предмета учебным планом предусмотрена домашняя контрольная работа, являющихся одной из форм проверки теоретических знаний учащихся и их умения практически реализовывать теорию при решении задач.



## 2. ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН Учебного предмета «Ремонт электрооборудования»

по специальности 5-04-0812-03 «Эксплуатация энергетического оборудования в сельском хозяйстве»

Раздел, тема	Количество часов			
	Всего по дневной форме обучения	В том числе на ОЗО		
		на лекции и др., теоретические занятия	На лабораторные и практические занятия	На самостоятельную работу учащихся
1	2	3	4	
<b>Введение</b>	<b>1</b>	<b>1</b>		
<b>Раздел 1. Общие сведения о ремонте электрооборудования</b>	<b>1</b>	<b>1</b>		<b>4</b>
<b>Раздел 2. Ремонт трансформаторных подстанций</b>	<b>12</b>		<b>2</b>	
2.1. Неисправности силовых трансформаторов, их признаки и причины	2	2		
2.2. Ремонт, пропитка и сушка обмоток	4			4
2.3. Ремонт наружных составных частей трансформатора	2			2
2.4. Порядок ремонта магнитной системы трансформаторов	2			2
2.5. Основные испытания трансформаторов после ремонта	2			2
<b>Раздел 3. Ремонт распределительных устройств</b>	<b>2</b>			<b>2</b>
<b>Раздел 4. Ремонт резервных электростанций</b>	<b>2</b>			<b>2</b>
<b>Раздел 5. Ремонт воздушных линий напряжением до 1000В</b>	<b>4</b>			<b>4</b>
5.1. Общие положения ремонта воздушных линий	2	2		
5.2. Ремонт, регулировка, замена проводов и заземляющих устройств	2			2
<b>Раздел 6. Ремонт кабельных линий напряжением до 1000В</b>	<b>2</b>			<b>2</b>
6.1. Технология ремонта кабельных	2			2



линий				
<b>Раздел 7. Ремонт электродвигателей</b>	<b>10</b>		<b>4</b>	
7.1. Схема технологического процесса ремонта электрических машин	2	2		
7.2. Способы удаления поврежденных и намотка новых обмоток	2	2		
7.3. Механический ремонт деталей и узлов	6			6
<b>Раздел 8. Ремонт пускозащитной аппаратуры напряжением до 1000В</b>	<b>16</b>			
8.1. Основные неисправности пусковой и регулирующей аппаратуры	2	2		
8.2. Объем текущего ремонта автоматических выключателей, контакторов и электромагнитных пускателей	12		10	<b>12</b>
8.3. Сроки и объем проведения текущего ремонта аппаратов управления напряжением до 1000 В	2			
<b>Раздел 9. Ремонт средств автоматизации и преобразовательной техники</b>	<b>4</b>			<b>4</b>
9.1. Ремонт автоматических регуляторов, микропроцессорных контроллеров и контрольно-измерительных приборов	2			2
9.2. Ремонт измерительных преобразователей, автоматических регуляторов, микропроцессорных контроллеров	2			<b>2</b>
<b>Раздел 10. Ремонт внутренних электропроводок и электроустановок специального назначения</b>	<b>6</b>		<b>2</b>	
10.1. Ремонт осветительных и облучательных электроустановок	4		<b>2</b>	2
10.2. Ремонт сварочных трансформаторов и электрокалориферных установок	2			2
<b>Раздел 11. Ремонт электрооборудо-</b>	<b>6</b>	<b>2</b>		



<b>вания автомобилей, тракторов, комбайнов</b>				
11.1. Неисправности генераторов, их признаки и причины	4	2		4
11.2. Проведение ремонтов электростартеров и регуляторов напряжения	2			2
<b>Итого</b>	<b>66</b>	<b>20</b>		



### 3.СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ

Цель обучения	Содержание темы	Результат
Познакомить с целями и задачами учебного предмета. Сформировать представление об электрификации и автоматизации производственных процессов. Познакомить с основными положениями и определениями, из области ремонта электрооборудования, общими положениями безопасности труда и электробезопасности.	<b>Введение</b> Цели и задачи учебного предмета, её содержание, связь с другими предметами. Значение учебного предмета в подготовке техника-электрика. Роль учёных Республики Беларусь в развитии электрификации и автоматизации сельского хозяйства. Достижения передовых хозяйств Республики Беларусь в развитии передовых технологий и автоматизации производственных процессов. Основные положения и определения из области ремонта электрооборудования. Общие положения безопасности труда и электробезопасности при ремонте электрооборудования.	Называет цели и задачи учебного предмета, её значение в системе подготовки специалиста. Высказывает общее суждение об электрификации и автоматизации производственных процессов сельскохозяйственного производства. Называет основные положения и определения ремонта электрооборудования, общие положения безопасности труда и электробезопасности.
<b>РАЗДЕЛ 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РЕМОНТЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ</b>		
Сформировать знания о сельских электрических установках, назначении системы планово-предупредительного ремонта электрооборудования в сельском хозяйстве, формах эксплуатации электрооборудования, надёжности электрооборудования, технической документации электротехнической службы и правилах её оформления.	Сельские электрические установки, их ведомственная принадлежность. Система планово-предупредительного ремонта и технического обслуживания электрооборудования, используемого в сельском хозяйстве. Техническая документация электротехнической службы сельскохозяйственной организации и правила её оформления. Обеспечение энергетического хозяйства запасными частями, материалами на ремонтно-эксплуатационные нужды и резервным фондом.	Излагает особенности сельских электрических установок. Объясняет назначение системы планово-предупредительного ремонта электрооборудования сельского хозяйства, перечень технической документации электротехнической службы агропромышленного комплекса, формы эксплуатации электрооборудования.
<b>РАЗДЕЛ 2. РЕМОНТ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ</b>		
2.1. Неисправности силовых трансформаторов		



Цель обучения	Содержание темы	Результат
Сформировать знания о способах определения неисправностей силовых трансформаторов, объёме текущего и капитального ремонтов, о проведении разборки, дефектации, сборки, ремонте переключающих устройств и основных частей силового трансформатора. Дать понятие об испытаниях силовых трансформаторов.	Неисправности силовых трансформаторов, их признаки и причины. Сроки и объём проведения текущего и капитального ремонтов трансформаторов. Схема технологического процесса ремонта. Приём, разборка, дефектация и сборка трансформаторов. Испытания силовых трансформаторов.	Объясняет способы определения неисправностей силовых трансформаторов, объём текущего и капитального ремонтов.
<b>2.2. Ремонт, пропитка и сушка обмоток</b>		
Сформировать знания о ремонте, пропитки и сушки обмоток, ремонте магнитопроводов и переключающих устройств. Ремонте арматуры трансформаторов	Ремонт, пропитка и сушка обмоток. Ремонт магнитопроводов и переключающих устройств. Ремонт арматуры трансформаторов. Комплектовочные работы и сборка трансформаторов.	Объясняет ремонт, пропитка и сушка обмоток. Описывает разборку, дефектацию и сборку, ремонт переключающих устройств, основных частей силового трансформатора.
<i>Лабораторная работа № 1</i>		
Сформировать знания о проведении сушки изоляции обмоток трансформаторов методом потерь в собственном баке	Проведение сушки изоляции обмоток трансформаторов методом потерь в собственном баке	Проводит сушку изоляции обмоток трансформаторов методом потерь в собственном баке
<b>2.3. Ремонт основных наружных составных частей трансформатора.</b>		
Сформировать умения по ремонту основных наружных составных частей трансформатора. Техника безопасности при ремонте трансформаторов.	Ремонт основных наружных составных частей трансформатора. Техника безопасности при ремонте трансформаторов.	Объясняет ремонт основных наружных составных частей трансформатора.
<b>2.4. Порядок ремонта магнитной системы трансформаторов</b>		
Сформировать знания о ремонте магнитопроводов и переключающих устройств.	Ремонт магнитной системы трансформаторов	Объясняет ремонт магнитной системы трансформаторов
<b>2.5. Основные испытания трансформаторов после ремонта</b>		



Цель обучения	Содержание темы	Результат
Сформировать знания по проведению испытаний трансформаторов после ремонта	Испытания трансформаторов после ремонта	Объясняет методику испытания силовых трансформаторов.
<b>РАЗДЕЛ 3. РЕМОНТ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ</b>		
Сформировать знания о видах, объеме и сроках планово-предупредительных ремонтов распределительных устройств трансформаторных подстанций, вводно-распределительных устройств (ВРУ) сельскохозяйственных объектов, коммутационного оборудования комплектных потребительских подстанций.	Виды, объем и сроки планово-предупредительных ремонтов распределительных устройств. Подготовка к ремонту и его организация. Неисправности оборудования распределительных устройств и их устранение. Испытание коммутационных аппаратов после ремонта. Ремонт и испытание комплектных распределительных устройств.	Описывает виды, объем и сроки проведения планово-предупредительных ремонтов. Определяет неисправности и методы их устранения. Объясняет порядок испытаний коммутационных аппаратов распределительных устройств.
<b>РАЗДЕЛ 4. РЕМОНТ РЕЗЕРВНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ</b>		
Сформировать знания о сроках, объеме и нормах профилактических ремонтов оборудования резервных электростанций.	Сроки, объем и нормы профилактических ремонтов, испытаний оборудования резервных электростанций.	Определяет сроки, объем и нормы профилактических ремонтов и испытаний оборудования резервных электростанций.
<b>РАЗДЕЛ 5. РЕМОНТ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1000В</b>		
<b>Тема 5.1 Общие положения ремонта воздушных линий</b>		
Сформировать знания об сроках и объеме проведения ремонтов, профилактических измерений и испытаний воздушных линий, об организации ремонта воздушных линий напряжением до 1000В.	Сроки и объем проведения ремонтов на воздушных линиях. Ремонт воздушных линий с самонесущими изолированными проводниками (ВИЛ) Организация ремонта воздушной линии. Техника безопасности при эксплуатации и ремонте воздушных линий напряжением до 1000В.	Объясняет сроки и объем проведения ремонтов воздушных линий, профилактические измерения и испытания, организацию ремонта воздушных линий напряжением до 1000В.
<b>Тема 5.2. Ремонт, регулировка, замена проводов и заземляющих устройств</b>		
Сформировать знания о ремонте, регулировке, замене проводов и заземляющих устройств.	Ремонт, регулировка, замена проводов и заземляющих устройств.	Описывает работы по Ремонт, регулировка, замена проводов и заземляющих устройств.



Цель обучения	Содержание темы	Результат
<b>РАЗДЕЛ 6. РЕМОНТ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1000В</b>		
Тема 6.1. Технология ремонта кабельных линий		
Сформировать знания о ремонте кабельных линий напряжением до 1000 В.	Технология ремонта кабельных линий. Монтаж термоусаживаемых муфт.	Излагает знания о ремонте кабельных линий напряжением до 1000 В.
<b>РАЗДЕЛ 7. РЕМОНТ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ</b>		
Тема 7.1. Схема технологического процесса ремонта электрических машин		
Сформировать знания о схемах технологического ремонта электрических машин, разборке, дефектации и сборке электродвигателей.	Схема технологического процесса ремонта электрических машин. Приём электрических машин в ремонт. Разборка, дефектация и подготовка электродвигателей к ремонту.	Объясняет схему технологического процесса ремонта электрических машин. Излагает последовательность разборки, дефектации и сборки электродвигателей.
7.2. Способы удаления поврежденных и намотка новых обмоток		
Сформировать знания о способах удаления поврежденных обмоток и намотки новых.	Способы удаления поврежденных и намотка новых обмоток. Методы пропитки и сушки обмоток, их преимущества и недостатки.	Описывает способы удаления поврежденных обмоток.
Тема 7.3. Механический ремонт деталей и узлов		
Сформировать знания о ремонте механических узлов, испытаниях электродвигателей после ремонта.	Механический ремонт деталей и узлов. Испытание электродвигателей после ремонта. Техника безопасности при ремонте электрических машин.	Определяет причины неисправностей механических узлов, проводит ремонт и испытание электродвигателей после ремонта.
<i>Лабораторная работа № 2</i>		
Сформировать умения проводить дефектацию асинхронных электродвигателей перед ремонтом.	Дефектация асинхронных электродвигателей перед ремонтом.	Проводит дефектацию асинхронных электродвигателей перед ремонтом.
<i>Лабораторная работа № 3</i>		
Сформировать умения производить испытание асинхронных электродвигателей после ремонта.	Испытание асинхронных электродвигателей после ремонта	Производит испытание асинхронных электродвигателей после ремонта.
<b>РАЗДЕЛ 8. РЕМОНТ ПУСКОЗАЩИТНОЙ АППАРАТУРЫ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1000 В</b>		
Тема 8.1. Основные неисправности пусковой и регулирующей аппаратуры		
Сформировать знания об основных неис-	Основные неисправности пусковой и регулирующей аппаратуры.	Определяет основные неисправности пуско-



Цель обучения	Содержание темы	Результат
правностей пусковой и регулирующей аппаратуры,	Сроки и объем проведения ремонтов рубильников, переключателей, пакетных выключателей и щитов и ящиков управления.	вой и регулирующей аппаратуры.
Тема 8.2. Объем текущего ремонта автоматических выключателей, контакторов и электромагнитных пускателей		
Сформировать знания о определении сроков и объеме проведения ремонтов автоматических выключателей, электромагнитных пускателей. Дать понятие об объеме послеремонтных испытаний.	Объем текущего ремонта автоматических выключателей, контакторов и электромагнитных пускателей. Сроки и объем проведения текущего ремонта аппаратов управления напряжением до 1000В. После-ремонтные испытания аппаратуры напряжением до 1000В.	Устанавливает объем текущего ремонта автоматических выключателей, контакторов, электромагнитных пускателей. Описывает объем послеремонтных испытаний аппаратов и напряжением до 1000 В.
<i>Лабораторная работа № 4</i>		
Сформировать умения проводить текущий ремонт предохранителей и реостатов	Проведение текущих ремонтов предохранителей и реостатов	Проводит текущий ремонт предохранителей и реостатов
<i>Лабораторная работа № 5</i>		
Сформировать умения проводить текущий ремонт рубильников, переключателей.	Проведение текущего ремонта рубильников и переключателей	Проводит текущий ремонт рубильников, переключателей.
<i>Лабораторная работа № 6</i>		
Сформировать умения проводить текущий ремонт автоматических выключателей.	Проведение текущего ремонта автоматических выключателей.	Проводит текущий ремонт автоматических выключателей.
<i>Лабораторная работа № 7</i>		
Сформировать умения проводить текущий ремонт электромагнитных пускателей и кнопок управления.	Проведение текущего ремонта электромагнитных пускателей и кнопок управления.	Проводит текущий ремонт электромагнитных пускателей и кнопок управления.
<i>Лабораторная работа № 8</i>		
Сформировать умения настраивать и испытывать электротепловые реле.	Настройка и испытание электротепловых реле.	Выполняет настройку и испытывает электротепловые реле.



Цель обучения	Содержание темы	Результат
Тема 8.3. Сроки и объем проведения текущего ремонта аппаратов управления напряжением до 1000 В		
Сформировать знания об определении сроков и объеме проведения ремонтов аппаратов управления напряжением до 1000 В.	Сроки и объем проведения ремонтов аппаратов управления напряжением до 1000 В.	Устанавливает объем текущего ремонта аппаратов управления напряжением до 1000 В.
<b>РАЗДЕЛ 9. РЕМОНТ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ И ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ</b>		
Тема 9.1. Ремонт автоматических регуляторов, микропроцессорных контроллеров и контрольно-измерительных приборов.		
Сформировать знания об организации ремонта средств автоматизации, способах проверки и дефектации автоматических регуляторов, измерительных преобразователей, автоматических регуляторов, микропроцессорных контроллеров и контрольно-измерительных приборов.	Организация ремонта средств автоматизации. Технология ремонта измерительных преобразователей, автоматических регуляторов, микропроцессорных контроллеров. Дефекты, эксплуатация и ремонт основных типовых средств автоматизации.	Описывает ремонт средств автоматизации, способы проверки.
<i>Обязательная контрольная работа</i>		
Тема 9.2. Ремонт измерительных преобразователей, автоматических регуляторов, микропроцессорных контроллеров.		
Сформировать знания об организации ремонта измерительных преобразователей, автоматических регуляторов, микропроцессорных контроллеров и контрольно-измерительных приборов.	Технология ремонта измерительных преобразователей, автоматических регуляторов, микропроцессорных контроллеров.	Определяет дефекты основных типовых средств автоматизации.
<b>РАЗДЕЛ 10. РЕМОНТ ВНУТРЕННИХ ЭЛЕКТРОПРОВОДОВ И ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ</b>		
Тема 10.1. Ремонт осветительных и облучательных электроустановок		
Сформировать знания об объеме и нормах испытаний электропроводки, ремонте осветительных и облучающих электроустановок.	Ремонт внутренних электропроводок. Объем и нормы испытаний. Ремонт электроустановок в животноводстве. Ремонт осветительных, облучающих и электросварочных электроустановок.	Описывает особенности ремонта осветительных и облучающих электроустановок.
<i>Лабораторная работа № 9</i>		



Цель обучения	Содержание темы	Результат
Сформировать умения проводить текущий ремонт осветительных и облучательных электроустановок.	Проведение ремонта осветительных и облучательных электроустановок.	Проводит текущий ремонт осветительных и облучательных электроустановок.
<b>Тема 10.2. Ремонт сварочных трансформаторов и электрокалориферных установок</b>		
Сформировать знания о ремонте электросварочных установок и электрокалориферных установок.	Ремонт сварочных трансформаторов и электрокалориферных установок. Техника безопасности при эксплуатации и ремонте электроустановок специального назначения.	Описывает особенности ремонта электросварочных установок и электрокалориферов.
<b>РАЗДЕЛ 11. РЕМОНТ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ, ТРАКТОРОВ, КОМБАЙНОВ</b>		
<b>11.1. Неисправности генераторов, их признаки и причины</b>		
Сформировать знания об определении неисправностей генераторов.	Неисправности генераторов, их признаки и причины.	Объясняет основные неисправности генераторов.
<i>Лабораторная работа №10</i>		
Сформировать умения определять неисправности генераторов.	Определение основных неисправностей и проведение ремонта генераторов.	Определяет основные неисправности генераторов.
<b>Тема 11.2. Проведение ремонтов электростартеров и регуляторов напряжения</b>		
Сформировать знания об определении неисправностей стартеров, реле-регуляторов.	Характерные неисправности стартеров, регуляторов напряжения, электростартеров и их устранение.	Объясняет основные неисправности стартеров, регуляторов напряжения.



#### 4. Методические рекомендации по выполнению контрольной работы

Контрольная работа состоит из 3 вопросов теоретического характера и 2 практических заданий. Теоретические вопросы по вариантам распределены в таблице 1, варианты практических заданий принимаются согласно номера в списке учебного журнала.

На вопросы отвечайте кратко, конкретно, своими словами. Большинство ответов сопровожайте схемами, эскизами, несложными чертежами. В каждой контрольной работе таких схем должно быть не менее 3-4. При изложении материала приводите ссылки на используемую литературу.

Оформлять таблицы, необходимо в соответствии с рисунком 1.

Таблица \_\_\_\_\_ - \_\_\_\_\_  
номер наименование таблицы

\_\_\_\_\_ продолжение наименование таблицы


Схемы следует вычерчивать при помощи чертёжных приспособлений, карандашом или черной гелиевой ручкой с соблюдением графического обозначения выполняя их по ходу описания или после ссылки в тексте, ксерокопии схем в контрольной работе приводить нельзя, допускается ксерокопирование только сложных рисунков.

**Таблица 1- Распределение теоретических вопросов по вариантам контрольной работы №1**

Предпоследняя цифра шифра	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1,20,40	2,21,42	3,22,43	4,23,44	5,24,45	6,25,46	7,26,48	8,27,49	9,28,50	10,29,51
1	11,30,52	12,31,53	13,32,54	14,33,55	15,34,56	16,35,57	17,36,58	18,37,59	19,38,60	20,39,61
2	21,40,62	22,41,1	23,48,2	24,42,3	25,43,4	26,45,6	27,46,7	28,47,8	29,48,9	30,49,10
3	31,50,11	32,51,12	33,52,13	34,53,14	35,54,15	36,55,16	37,56,17	38,58,18	39,59,19	40,60,20
4	41,61,21	42,62,22	43, 1, 23	44,2,24	45,3,25	46,4,26	47,5,27	48,6,28	49,7,29	50,8,30
5	51,9,31	52,10,32	53,11,33	54,12,34	55,13,35	56,14,36	57,15,37	58,16,38	59,17,39	60,18,40
6	61,19,41	62,20,42	1,21,43	2,22,44	3,23,45	4,24,46	5,25,47	6,26,48	7,27,49	8,28,50
7	9,29,51	10,30,52	11,31,53	12,32,54	13,33,55	14,34,56	15,35,57	16,36,58	17,37,59	18,38,60
8	19,39,61	20,41,62	21,43,1	22,44,2	23,45,3	24,46,4	25,47,5	26,48,6	27,49,7	28,50,8
9	29,51,9	30,52,10	31,53,11	32,54,12	33,55,13	34,56,14	35,57,15	36,58,16	37,59,17	38,60,18



**Таблица 2- Распределение практических заданий по вариантам контрольной работы**

Предпоследняя цифра шифра	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1а, 2а	1б, 2б	1в, 2в	1г, 2г	1д, 2д	1ж, 2ж	1з, 2з	1и, 2и	1к, 2к	1е, 2е
1	2а, 3а	2б, 3б	2в, 3в	2г, 3г	2д, 3д	2ж, 3ж	2з, 3з	2и, 3и	2к, 3к	2е, 3е
2	3а, 4а	3б, 4б	3в, 4в	3г, 4г	3д, 4д	3ж, 4ж	3з, 4з	3и, 4и	3к, 4к	3е, 4е
3	4а, 5а	4б, 5б	4в, 5в	4г, 5г	4д, 5д	4ж, 5ж	4з, 5з	4и, 5и	4к, 5к	4е, 5е
4	5а, 1а	5б, 1б	5в, 1в	5г, 1г	5д, 1д	5ж, 1ж	5з, 1з	5и, 1и	5к, 1к	5е, 1е
5	1а, 3а	1б, 3б	1в, 3в	1г, 3г	1д, 3д	1ж, 3ж	1з, 3з	1и, 3и	1к, 3к	1е, 3е
6	2а, 4а	2б, 4б	2в, 4в	2г, 4г	2д, 4д	2ж, 4ж	2з, 4з	2и, 4и	2к, 4к	2е, 4е
7	3а, 5а	3б, 5б	3в, 5в	3г, 5г	3д, 5д	3ж, 5ж	3з, 5з	3и, 5и	3к, 5к	3е, 5е
8	1а, 4а	1б, 4б	1в, 4в	1г, 4г	1д, 4д	1ж, 4ж	1з, 4з	1и, 4и	1к, 4к	1е, 4е
9	2а, 5а	2б, 5б	2в, 5в	2г, 5г	2д, 5д	2ж, 5ж	2з, 5з	2и, 5и	2к, 5к	2е, 5е

### Теоретические вопросы к контрольной работе №1

1. Изложите общие положения по безопасности труда при ремонте электрооборудования.
2. Изложите что входит в объем работ по текущему ремонту, каковы основные виды работ и какова организация их выполнения согласно ППРЭсх?
3. Изложите что входит в объем работ по капитальному ремонту, каковы основные виды работ и какова организация их выполнения согласно ППРЭсх?
4. Охарактеризуйте основные неисправности силовых трансформаторов, их признаки, причины вызвавшие их и порядок обнаружения.
5. Изложите объем проведения текущего ремонта силовых трансформаторов, укажите сроки проведения.
6. Изложите объем проведения капитального ремонта силовых трансформаторов, укажите сроки проведения.
7. Опишите порядок приема силовых трансформаторов в ремонт. Изложите условия соблюдаемые при этом.
8. Опишите последовательность разборки и сборки силовых трансформаторов. Порядок проведения дефектации при разборке.
9. Приведите схему технологического процесса ремонта силовых трансформаторов, дайте описание этапов выполнения ремонта.
10. Изложите последовательность проведения ремонта обмоток силовых трансформаторов. Назовите основные причины перегрева обмоток.
11. Назначение, объем и последовательность испытаний силовых трансформаторов.



- 12.** Опишите порядок испытания основных узлов силовых трансформаторов. Приведите схемы испытаний.
- 13.** Опишите объем и последовательность испытаний изоляции силовых трансформаторов. Приведите схемы испытаний.
- 14.** Как проводится организация ремонта воздушных линий. Раскройте объем текущего ремонта воздушных линий. Какая техническая документация должна быть оформлена при этом?
- 15.** Опишите основные требования техники безопасности при производстве работ на воздушных линиях до 1000 В.
- 16.** Как проводится организация ремонта воздушных линии с самонесущими изолированными проводами. Раскройте объем текущего ремонта ВЛИ.
- 17.** Порядок вывода ВЛ напряжением до 1000 В в капитальный ремонт. Работы, относящиеся к капитальному ремонту. Техническая документация на вывод в ремонт и приемку ВЛ после ремонта.
- 18.** Опишите приемо-сдаточные испытания кабельных линий напряжением до 1000В. Какая документация оформляется при этом?
- 19.** Опишите возможные неисправности и повреждения кабельных линий. Какими способами можно их определить. Приведите подробное описание обнаружения обрыва одной жилы любым методом. Приведите поясняющий рисунок.
- 20.** Какими методами определяется зона и место повреждения кабельных линий? Приведите схемы подключения приборов для определения мест повреждений, дайте им описание.
- 21.** Найти неисправность кабельной линии напряжением до 1000В. по измеренным значениям сопротивления жил при закоротке их с одной из сторон:  $L1-L2=1,2\text{МОм}$ ;  $L2-L3=22\text{Ом}$ ;  $L1-L3=1,4\text{МОм}$ ;  $L1-N=1,1\text{МОм}$ ;  $L2-N=17\text{Ом}$ ;  $L3-N=31\text{Ом}$ . Приведите рисунок с указанием неисправности линии. Обоснуйте свой ответ.
- 22.** Нарисуйте кабельную линию со следующими неисправностями: обрыв жилы фазы В и замыкание одного из оборванных участков с нулевой жилой, замыкание жилы фазы С со вторым не замкнутым с нулевой жилой участком жилы фазы В. Опишите методику обнаружения этих неисправностей, приведите приблизительные значения измеренных значений сопротивления необходимых для обнаружения неисправностей.
- 23.** Опишите способы прожигания поврежденных мест изоляции кабелей. Приведите схему подключения установки. Техника безопасности при выполнении этих работ.
- 24.** Перечислите контрольные испытания асинхронных электродвигателей после ремонта. Раскройте объем и нормы.
- 25.** Опишите методы снятия поврежденной обмотки. Дайте их сравнительный анализ.
- 26.** Опишите порядок перемотки обмоток статора электродвигателей. Опишите порядок намотки. Приведите схему станка с ручным приводом для намотки.
- 27.** Перечислите и опишите операции по текущему ремонту за асинхронными электродвигателями.
- 28.** Опишите порядок дефектации асинхронных двигателей при ремонте.
- 29.** Перечислите и опишите способы определения воздушных зазоров в электродвигателях. Опишите как производится регулировка воздушного зазора у электродвигателей.
- 30.** Перечислите основные неисправности двигателей постоянного тока. Приведите схемы для определения неисправностей и опишите их.
- 31.** Опишите технологию изолирования при восстановлении изоляции обмоточных проводов.
- 32.** Опишите порядок проведения ремонта и испытания рубильников.
- 33.** Опишите порядок проведения ремонта и испытания магнитных пускателей.



34. Опишите основные неисправности и объем ремонта рубильников и пакетных выключателей.
35. Опишите объем текущего ремонта промежуточного реле, порядок испытания и регулировки.
36. Перечислите основные неисправности тепловых реле типа ТРН, ТРП и РТТ, и порядок их устранения. Каким испытаниям подвергаются тепловые реле после ремонта? Приведите схему снятия защитной характеристики реле.
37. Какие основные виды неисправностей встречаются в устройствах и схемах автоматизации? Указать приборы для определения неисправностей.
38. Изложите методику определения неисправностей отдельных элементов схем автоматизации (катушки, диоды, транзисторы, тиристоры, конденсаторы, фоторезисторы, термисторы). Приведите схемы проверки.
39. Изложите основные методы определения неисправностей в схемах автоматизации процессов с/х производства. В качестве примера используйте известную вам схему.
40. Опишите порядок организации ремонта средств автоматизации.
41. Опишите порядок проведения текущего ремонта и испытания электрических водонагревателей и парогенераторов типа ВЭТ, УАП, КЭВ, ЭПЗ и др. Приведите схему управления одного из них.
42. Опишите порядок проведения ремонта облучающих установок. Приведите основные неисправности и порядок их устранения.
43. Опишите порядок проведения ремонта сварочных трансформаторов. Приведите основные неисправности и порядок их устранения.
44. Опишите порядок проведения ремонта электронагревательных установок. Приведите основные неисправности и порядок их устранения.
45. Опишите порядок проведения ремонта электроприборов, устройств и оборудования бытового и культурно-бытового назначения, приведите сроки проведения.
46. Изложите особенности ТР пусковой и защитной аппаратуры и средств автоматизации в животноводческом помещении.
47. Как проводится проверка и испытание проводок после текущего ремонта? Назовите приборы и испытания, укажите нормы.
48. Опишите порядок проведения текущего ремонта электрообогреваемых полов. Изложите порядок проверки работы и испытаний после текущего ремонта.
49. Изложите порядок подготовки к работе и технологию испытания электрокалориферов и установок типа СФО, СФОЦ, СФОО.
50. Приведите основные неисправности аккумуляторных батарей, их причины и признаки.
51. Перечислите основные неисправности тракторных генераторов переменного тока, способы их выявления и устранения.
52. Перечислите основные неисправности тракторных генераторов постоянного тока, способы их выявления и устранения.
53. Перечислите основные неисправности стартеров, порядок их выявления и устранения.
54. Перечислите основные неисправности реле регуляторов, опишите пути их обнаружения и способы устранения.
55. Изложите характерные неисправности контактно-транзисторной системы зажигания, опишите пути их обнаружения и способы устранения.
56. Изложите основные неисправности электронных схем зажигания, опишите методы проверки элементов этих схем.
57. Опишите виды, объем и сроки планово-предупредительных ремонтов распределительных устройств напряжением выше 1000В.



- 58.** Как проводится подготовка к ремонту и его организация в распределительных устройствах напряжением выше 1000В.
- 59.** Изложите характерные неисправности оборудования распределительных устройств напряжением выше 1000В, опишите порядок их устранения.
- 60.** Опишите порядок испытания коммутационных аппаратов напряжением выше 1000В после ремонта.
- 61.** Как проводится ремонт и испытание комплектных распределительных устройств напряжением выше 1000В.
- 62.** В какие сроки и как проводятся текущие ремонты конденсаторных установок?



## 5. Методические рекомендации по выполнению практических заданий контрольной работы.

### Практическое задание №1.

**Тема:** РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРЫ ОБМОТОК СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА ПРИ ИСПЫТАНИИ ИХ НА НАГРЕВ.

**Цель:** НАУЧИТЬ РАССЧИТЫВАТЬ ТЕМПЕРАТУРУ ОБМОТОК СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА ПРИ ИСПЫТАНИИ ИХ НА НАГРЕВ.

### Последовательность выполнения работы.

1. Ознакомьтесь с содержанием задания.
2. Повторите учебный материал.
3. Установите вариант учебного задания, согласно таблицы 2.
4. Запишите условие практического задания (задача 1).
5. Из таблицы 3 (согласно учебного задания), запишите исходные данные для решения задачи.
6. Выполните расчет согласно методических указаний по работе.

### Методические указания по выполнению практического задания.

Температуру обмоток непосредственно не измеряют, а определяют косвенным методом по изменению сопротивления обмоток измеренного перед включением трансформатора под нагрузку и после отключения его от источника.

Температура, определяемая измерением сопротивления обмотки, является ее средней температурой. При определении температуры обмоток трехфазного трансформатора измеряют сопротивления на вводах средней и одной из крайних фаз трансформатора.

Измерить сопротивление обмотки одновременно с отключением трансформатора практически невозможно, так как между моментом отключения трансформатора и измерением сопротивления проходит некоторый промежуток времени, хотя и небольшой (обычно от 50 сек до 2 мин), но все же достаточный для того, чтобы температура обмотки понизилась. Поэтому подготовка к измерению сопротивления должна обеспечить наименьший разрыв по времени между отключением трансформатора и измерением сопротивления. Однако и при этом условии измеренное сопротивление не является сопротивлением, которое имела обмотка в момент отключения трансформатора. Температуру обмоток при установившемся режиме определяют следующим образом.

Время отключения трансформатора фиксируют секундомером.

После отключения трансформатора и отсоединения подводящих питание проводов быстро подключают провода установки для измерения сопротивления одной из обмоток и производят ряд измерений  $r_1, r_2, r_3$  и т.д. в промежутки времени порядка 30—60 сек  $t_1, t_2, t_3$  и т.д.

Измеряют таким образом в течение 10—12 мин, затем измерения прекращают, но измерительную установку не отключают. Через 15—20 мин после отключения трансформатора производят последнее дополнительное измерение сопротивлений  $r_n$ . Исходя из постоянной времени трансформатора, можно считать, что за это время (15—20 мин) температура обмотки сравняется с температурой масла и фактически перестанет изменяться. Для определения температуры другой обмотки трансформатор надо включить под нагрузку повторно.

Температуру обмотки определяют графической экстраполяцией. На оси абсцисс (рис. 9-10) откладывают отрезок времени, в которые производилось измерение, считая от момента отключения трансформатора, а на оси ординат — логарифмы разности сопротивлений  $r_1 - r_n, r_2 - r_n$  и т.д. измеренных в моменты времени  $t_1, t_2, t_3$  и т.д.

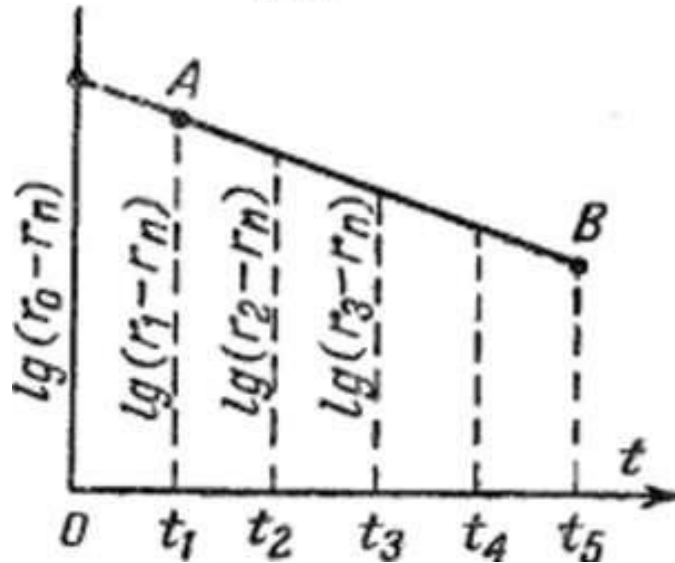


Рис. 3. Графическое определение сопротивления обмотки в момент отключения трансформатора.

Нанеся на график соответствующие точки, проводят через них прямую АВ, которая продолжается до пересечения с осью ординат. Отсеченный продолжением прямой АВ отрезок на оси ординат представляет собой логарифм разности сопротивления обмотки в момент отключения трансформатора  $r_0$  и сопротивления последнего отсчета  $r_n$ . Масштаб графика выбирают таким, чтобы наклон прямой по отношению к оси абсцисс был  $45\text{--}60^\circ$ .

По значению  $\lg(r_0 - r_n)$  определяют число  $(r_0 - r_n)$  и, зная по измерениям величину  $r_n$ , вычисляют сопротивление  $r_0$  в момент отключения трансформатора.

Среднюю температуру обмотки при установившейся температуре в момент, предшествующий отключению трансформатора, вычисляют по формуле

$$t_{\text{обм}} = \frac{r_0 - r_x}{r_x} \cdot (235 + t_x) + t_x$$

где  $t_x$  — температура обмотки, при которой перед началом испытания было измерено сопротивление  $r_x$ .

Если трансформатор длительно находился в отключенном состоянии в условиях практически неизменной температуры окружающего воздуха, то за  $t_x$  принимают температуру окружающего воздуха, при которой было измерено  $r_x$ .

Превышение температуры обмотки над окружающим воздухом  $t_{\text{окр}}$  определяют по формуле

$$t_{\text{обм}} = \frac{r_0 - r_x}{r_x} \cdot (235 + t_x) + t_x - t_{\text{окр}}$$

#### Задача №1

Определите превышение температуры обмотки трансформатора мощностью  $S$ , кВА над окружающим воздухом при испытании ее на нагрев. Перед испытанием было измерено линейное сопротивление обмотки ВН  $r_x$ , Ом при температуре обмотки  $t_x$ , °С. Температура окружающего воздуха составила  $t_{\text{окр}}$ , °С. Через несколько минут после отключения трансформатора при установившейся температуре были измерены следующие сопротивления, Ом: 2 мин. 40 сек. -  $r_1$ , Ом; 2 мин. 55 сек. -  $r_2$ , Ом; 3 мин. 25 сек. -  $r_3$ , Ом; 3 мин. 55 сек. -  $r_4$ , Ом; 4 мин. 30 сек. -  $r_5$ , Ом; 5 мин. 00 сек. -  $r_6$ , Ом; 5 мин. 55 сек. -  $r_7$ , Ом; 6 мин. 35 сек. -  $r_8$ , Ом; 7 мин. 25 сек. -  $r_9$ , Ом; 8 мин. 20 сек. -  $r_{10}$ , Ом; 9 мин. 20 сек. -  $r_{11}$ , Ом; 10 мин. 30 сек. -  $r_{12}$ , Ом. Исходные данные приведены в таблице 3.



Таблица вариантов задачи №3.

Номер варианта	S, кВА	$r_x$ , Ом	$t_x$ , °C	$t_{окр}$ , °C	$r_1$ , Ом	$r_2$ , Ом	$r_3$ , Ом	$r_4$ , Ом	$r_5$ , Ом	$r_6$ , Ом	$r_7$ , Ом	$r_8$ , Ом	$r_9$ , Ом	$r_{10}$ , Ом	$r_{11}$ , Ом	$r_{12}$ , Ом	$r_n$ , Ом
а	320	5,024	20	25	6,34	6,33	6,31	6,29	6,25	6,24	6,22	6,20	6,18	6,17	6,15	6,14	5,9
б	250	4,76	18	25	5,34	5,33	5,31	5,29	5,25	5,24	5,22	5,20	5,18	5,17	5,15	5,14	4,8
в	160	3,25	16	25	4,34	4,33	4,31	4,29	4,25	4,24	4,22	4,20	4,18	4,17	4,15	4,14	3,9
г	63	2,46	14	25	4,14	4,12	4,11	4,1	4,08	4,06	4,05	4,03	4,01	3,99	3,98	3,97	3,6
д	25	1,89	18	25	3,1	3,08	3,06	3,05	3,03	3,01	2,99	2,97	2,95	2,93	2,91	2,89	2,59
е	320	5,024	20	25	5,29	5,25	5,24	5,22	5,20	5,18	5,17	5,15	5,14	5,13	5,12	5,1	4,7
ж	250	4,76	22	24	5,34	5,33	5,31	5,29	5,25	5,24	5,22	5,20	5,18	5,17	5,15	5,14	5,0
з	160	3,25	18	24	4,29	4,25	4,24	4,22	4,20	4,18	4,17	4,15	4,14	4,12	4,11	4,1	3,81
и	63	2,46	16	23	4,20	4,18	4,17	4,15	4,14	4,12	4,11	4,1	4,08	4,06	4,05	4,03	3,8
к	25	1,89	14	20	2,99	2,97	2,95	2,93	2,91	2,89	2,87	2,86	2,84	2,83	2,81	2,8	2,51

### Практическое задание №2.

**Тема:** РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ НАМАГНИЧИВАЮЩЕЙ ОБМОТКИ ДЛЯ СУШКИ СТАТОРА АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ МЕТОДОМ ИНДУКЦИОННЫХ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ В СТАЛИ СТАТОРА.

**Цель:** НАУЧИТЬ РАСЧИТЫВАТЬ ПАРАМЕТРЫ НАМАГНИЧИВАЮЩЕЙ ОБМОТКИ ДЛЯ СУШКИ СТАТОРА АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ.

### Последовательность выполнения работы.

1. Ознакомьтесь с содержанием задания.
2. Повторите учебный материал.
3. Установите вариант учебного задания, согласно таблицы 2.
4. Запишите условие практического задания (задача 2).
5. Из таблицы 4 (согласно учебного задания), запишите исходные данные для решения задачи.
6. Выполните расчет согласно методических указаний по работе.

### Методические указания по выполнению практического задания.

Сушка машин с большим воздушным зазором, например турбогенераторов, может производиться при вынутом и оставленном роторе. В первом случае ротор можно сушить отдельно. Сушка машин с малым воздушным зазором, например асинхронных двигателей, производится при вынутом роторе, так как небольшой зазор в этих двигателях не позволяет поместить намагничивающую обмотку. Сушка асинхронных двигателей может производиться при вставленном роторе.

При таком методе сушки необходимо следить за нагреванием бандажей не допуская повышения их температуры выше 95°C.

При сушке со вставленным ротором последний должен быть изолирован от фундаментной плиты, чтобы не образовался короткозамкнутый контур (вал-подшипники-фундаментная плита), в котором могут циркулировать чрезмерно большие токи. Для изоляции вала ротора подкладывают под одну из шеек вала картон. Изоляцией вала может служить также изоляция подшипника, имеющаяся в некоторых машинах для предотвращения циркуляции токов в подшипниках. В процессе сушки необходимо контролировать состояние изоляции вала. Для этого измеряют величину напряжения между валом и подшипником, в котором проложена изоляция, при измерении масляный слой второго подшипника должен быть зашунтирован.



Сопrotивление изоляции обмотки статора можно измерять при включенной намагничивающейся обмотке, так как поток, пульсирующий в активной стали, не пересекает витки обмотки статора и в последнем не индуцируется ЭДС.

Измерение сопротивления изоляции обмотки ротора синхронной машины не рекомендуется производить при включенной на статоре намагничивающейся обмотке, независимо от расположения на валу контактных колец. Дело в том, что если ротор заземлен, то измерение сопротивления изоляции обмотки ротора относительно корпуса, производимое мегаомметром, вводит в измерительный контур ЭДС., равную ЭДС одного витка намагничивающейся обмотки.

При сушке методом потерь в активной стали необходимо принять меры предосторожности. В расточке статора не должно быть металлических предметов, которые могут вызвать замыкание

листов активной стали и ее повреждение.

Подводимое напряжение частотой 50 Гц определяют по формуле

$$U_c = BSw/45,$$

где  $B$  — заданная индукция, Тл;  $S$  — сечение активной стали,  $\text{см}^2$ ;  $\omega = 1$ .

Сечение активной стали равно

$$S = kl_{CT}h_{CT}, \text{ см}^2,$$

где  $k$  — коэффициент запаса стали, равный 0,95;  $l_{CT}$  — длина активной стали статора без воздушных каналов, см;  $h_{CT}$  — высота активной стали, см (без зубцов);

$$l_{CT} = l - nbk$$

где  $l$  — полная длина стали статора, см;  $n$  — количество вентиляционных каналов;  $b_k$  — ширина вентиляционных каналов, см.

Магнитодвижущую силу (МДС) (ток, протекающий по валу) определяют по формуле

$$aw = I_B = \pi D_{cp} aw_0, A,$$

где  $D_{cp}$  — средний диаметр активной стали статора, см;  $aw_0$  — удельная МДС (зависит от сорта стали).

При  $B$ , равном 0,6; 0,7; 0,8 Тл, удельная МДС равна соответственно 1,4; 1,8; 2,2 для слабо- и среднелегированных сталей.

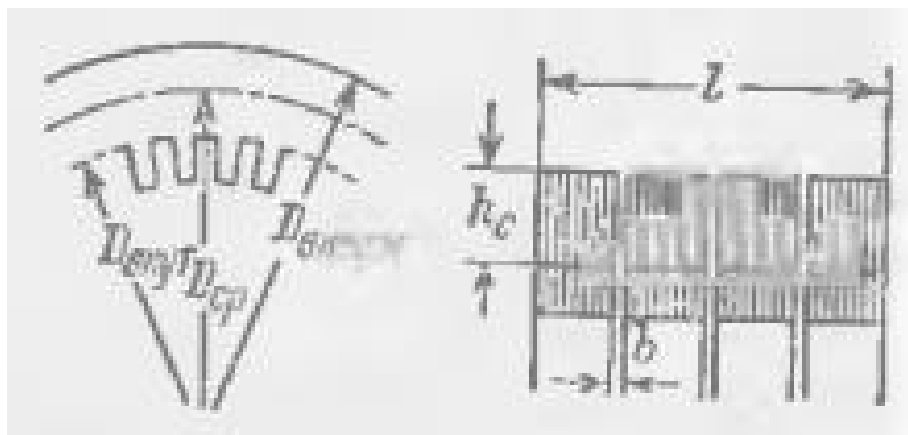


Рисунок 4- Активная сталь статора.

#### Задача №2

Приведите схему сушки изоляции статорных обмоток асинхронного электродвигателя методом индукционных потерь мощности в стали статора с помощью намагничивающейся обмотки. Рассчитайте параметры намагничивающейся обмотки для сушки статора асинхронного электродвигателя со следующими размерами активной стали (размеры стали приведены в таблице 4).



Таблица вариантов задачи №4.

Номер варианта	Размеры активной стали асинхронного электродвигателя (см. рис. 1)					
	$D_{\text{внеш}}$ , см	$D_{\text{внут}}$ , см	$l$ , см	$n$ , шт	$b$ , см	Сорт активной стали
а	117	82	65	-	-	Среднелегированная сталь
б	181	153	84	-	-	Слабелегированная сталь
в	175	128	135	-	-	Динамная сталь
г	152	118	90	8	1	Среднелегированная сталь
д	150	117	85	8	1	Слабелегированная сталь
е	234	183	97	-	-	Динамная сталь
ж	95	74	35	12	1	Среднелегированная сталь
з	103	80	42	10	1	Слабелегированная сталь
и	120	94	49	15	1	Динамная сталь
к	290	226	115	8	1	Слабелегированная сталь

Где  $D_{\text{внеш}}$  - внешний диаметр активной стали,  $D_{\text{внут}}$  - внутренний диаметр активной стали,  $l$  - полная длина активной стали,  $n$  - количество вентиляционных каналов,  $b$  - ширина вентиляционных каналов,

$h_c$  - высота активной стали (без зубцового слоя).

### Практическое задание №3.

**Тема:** РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СУШКИ ИЗОЛЯЦИИ СТАТОРНЫХ ОБМОТОК АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ МЕТОДОМ ИНДУКЦИОННЫХ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ В СТАЛИ СТАТОРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВАЛА В КАЧЕСТВЕ НАМАГНИЧИВАЮЩЕГО ВИТКА.

**Цель:** НАУЧИТЬ РАСЧИТЫВАТЬ ПАРАМЕТРЫ СУШКИ ИЗОЛЯЦИИ СТАТОРНЫХ ОБМОТОК АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ МЕТОДОМ ИНДУКЦИОННЫХ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ В СТАЛИ СТАТОРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВАЛА В КАЧЕСТВЕ НАМАГНИЧИВАЮЩЕГО ВИТКА.

### Последовательность выполнения работы.

1. Ознакомьтесь с содержанием задания.
2. Повторите учебный материал.
3. Установите вариант учебного задания, согласно таблицы 2.
4. Запишите условие практического задания (задача 3).
5. Из таблицы 5 (согласно учебного задания), запишите исходные данные для решения задачи.
6. Выполните расчет согласно методических указаний по работе.

### Методические указания по выполнению практического задания.

Метод индукционных потерь мощности в активной стали статора с помощью специальной намагничивающей обмотки рекомендуется для электрических машин, поступивших в разобранном состоянии или прошедших разборку при ревизии. При этом методе нагревание происходит за счет создания в стали статора переменного магнитного потока путем намагничивания на статор специальной намагничивающей обмотки из изолированного провода.

Питание обмотки осуществляется однофазным током. Сушку электродвигателя производят предварительно вынув ротор. Намагничивающие витки изолируют от стали статора асбе-



стом или электрокартоном. Нагрузку на провода выбирают в пределах 0,5—0,7 допустимой. Регулирование температуры производят периодическими включениями и отключениями намагничивающей обмотки или переключением числа витков.

При использовании этого метода лобовые части обмотки подогревают тепловоздуходувкой. Ротор машины подсушивают постоянным током. Число витков намагничивающей обмотки определяют по формуле

$$\omega = 45 U_c / (SB).$$

Ток в намагничивающей катушке равен  $I = a\omega/w = \pi D_{cp} a \omega / w$ . Подводимое напряжение  $U_c$  выбирают равным 380 или 220 В;  $a$ ,  $w$ ,  $B$ ,  $S$  определяют так же, как в п.з. 2. Провода и кабели для намагничивающей обмотки не должны иметь металлической оболочки. Нагрузку на провод принимают равной 50—70 % допустимой.

Для быстрого подъема температуры в начале сушки рекомендуется выбирать индукцию, равную 0,7—0,8 Тл. При установившемся тепловом режиме она может быть снижена до 0,4—0,6 Тл путем уменьшения подводимого напряжения или увеличения числа витков намагничивающей обмотки. Этот метод непригоден для сушки машин мощностью менее 150—220 кВт, так как вследствие малого сечения активной стали требуется очень большое количество витков обмотки.

### Задача №3

Приведите схему сушки изоляции статорных обмоток асинхронного электродвигателя методом индукционных потерь мощности в стали статора с использованием вала в качестве намагничивающего витка. Рассчитайте подводимое напряжение на вал электрической машины, а также ток, протекающий по валу. Размеры активной стали электродвигателя приведены в таблице 5.

Таблица вариантов задачи №5.

Номер варианта	Размеры активной стали асинхронного электродвигателя (см. рис. 1)					
	$D_{\text{внеш}}$ , см	$D_{\text{внут}}$ , см	$l$ , см	$n$ , шт	$b$ , см	Сорт активной стали
а	250	195	95	15	1	Среднелегированная сталь
б	198	155	77	12	1	Слабелегированная сталь
в	67	52	26	10	1	Динамная сталь
г	320	250	125	15	1	Среднелегированная сталь
д	117	82	65	-	-	Слабелегированная сталь
е	181	153	84	-	-	Динамная сталь
ж	175	128	135	-	-	Среднелегированная сталь
з	152	118	90	8	1	Слабелегированная сталь
и	117	82	65	12	1	Динамная сталь
к	181	153	84	10	1	Слабелегированная сталь

Где  $D_{\text{внеш}}$  - внешний диаметр активной стали,  $D_{\text{внут}}$  - внутренний диаметр активной стали,  $l$  - полная длина активной стали,  $n$  - количество вентиляционных каналов,  $b$  - ширина вентиляционных каналов,



$h_c$ - высота активной стали (без зубцового слоя).

#### **Практическое задание №4.**

**Тема:** РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ НАМАГНИЧИВАЮЩЕЙ ОБМОТКИ ДЛЯ СУШКИ ИЗОЛЯЦИИ ОБМОТОК СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ.

**Цель:** НАУЧИТЬ РАСЧИТЫВАТЬ ПАРАМЕТРЫ НАМАГНИЧИВАЮЩЕЙ ОБМОТКИ ДЛЯ СУШКИ ИЗОЛЯЦИИ ОБМОТОК СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ.

#### **Последовательность выполнения работы.**

1. Ознакомьтесь с содержанием задания.
2. Повторите учебный материал.
3. Установите вариант учебного задания, согласно таблицы 2.
4. Запишите условие практического задания (задача 4).
5. Из таблицы 6 (согласно учебного задания), запишите исходные данные для решения задачи.
6. Выполните расчет согласно методических указаний по работе.

#### **Методические указания по выполнению практического задания.**

**Сушка методом индукционных потерь в стали бака** — самый распространенный способ сушки активных частей трансформаторов.

Бак трансформатора утепляют и обматывают намагничивающей обмоткой, которая может быть одно- (что вполне достаточно для трансформаторов I—II габаритов) или трехфазной. К обмотке подключают источник переменного тока от силовой сборки 220 или 380/220 В через двух- или трехполюсный автомат или рубильник. При прохождении тока по обмотке в стальных стенках бака возбуждается магнитный поток, который, замыкаясь по периметру бака, вызывает в нем вихревые токи, нагревающие бак. Теплота от бака передается активной части.

Предварительными расчетами по эмпирическим формулам определяют количество витков намагничивающей обмотки, в которой при сушке, в зависимости от фактической температуры, изменяют количество витков. Для этого намагничивающая обмотка может быть выполнена с одним - двумя регулировочными ответвлениями. Сушку активной части можно производить как с маслом, так и без него. В зависимости от этого механизм сушки действует по-разному. Масло является теплоносителем и одновременно гигроскопичной средой, отбирающей влагу из изоляции. В масле целесообразно сушить активную часть с промасленными обмотками, т.е. при ремонте без замены обмоток. Новые обмотки сушат без масла. Для ускорения сушки предусматривают принудительную циркуляцию воздуха в полости бака, для чего на одном из отверстий в крышке бака устанавливают периодически включаемый вытяжной вентилятор.

Температуру изоляции на разных высотах обмоток, верхнего и нижнего ярма, стенки бака и воздуха в верхней части бака контролируют термомпарами. Температура изоляции поддерживается в пределах 95—105 °С, а стенок бака — 110—130 °С. В начале сушки, после того как температура обмоток достигнет 85— 100 °С, в баке создают вакуум 27 кПа (200 мм рт. ст.) для удаления паров. В дальнейшем вакуум уменьшают и к окончанию сушки доводят до предельно допустимого для данной конструкции. Обычный диапазон рабочего вакуума 40 — 50 кПа.

В процессе сушки измеряются температура и сопротивление изоляции. В начале сушки измерения проводят каждые 4 ч, а к ее окончанию — каждый час. Параметры записывают в журнал сушки.



Сушка заканчивается, когда значение сопротивления изоляции, соответствующее нормам, продолжает оставаться неизменным в течение 6 ч. После этого отключают индукционную обмотку, дают остыть активной части до 60—70 °С, уплотняют все отверстия нижней части бака и заливают активную часть в баке сухим трансформаторным маслом.

Расчет параметров индукционной обмотки осуществляют следующим образом. Мощность индукционной обмотки нагрева (кВт) определяют по формуле

$$P_{об} = \Delta P I h,$$

где  $\Delta P$ — удельный расход мощности, кВт/м<sup>2</sup>, определяемый по табл.8.1;  $l$  — периметр бака, м;  $h$  — высота бака, м.

#### **Зависимость удельного расхода мощности для прогрева трансформатора от периметра**

Периметр бака трансформатора, м	Удельный расход мощности $\Delta P$ , кВт/м <sup>2</sup>
До 10	До 1,8
От 11 до 15	От 2 до 2,8
От 16 до 20	От 2,9 до 3,6
От 21 до 26	От 3,7 до 4

Число витков намагничивающей обмотки при питании однофазным током частотой 50 Гц равно

$$w = AU / I,$$

где  $A$  — коэффициент, определяемый по табл. 8.1;  $U$  — напряжение питания обмотки намагничивания, В.

Ток в обмотке определяют по формуле

$$I = \frac{P_{об} \cdot 10^3}{U \cdot \cos \varphi}$$

где  $\cos \varphi$  — 0,5—0,6.

Сечение провода намагничивающей обмотки

$$S = I / j, \text{ мм}^2,$$

где  $j$  — допустимая плотность тока, А/мм<sup>2</sup>.

Для медных неизолированных проводов  $j=6$ , для изолированных проводов  $j=3—3,5$  А/мм<sup>2</sup>; для алюминиевых неизолированных проводов  $j=5$ , для изолированных  $j=2—2,5$  А/мм<sup>2</sup>.

Зависимость значения коэффициентов  $A$  от удельного расхода мощности

Удельный расход мощности $\Delta P$ , кВт/мм <sup>2</sup>	$A$	Удельный расход мощности $\Delta P$ , кВт/мм <sup>2</sup>	$A$	Удельный расход мощности $\Delta P$ , кВт/мм <sup>2</sup>	$A$
0,75	2,33	1,35	1,77	2,4	1,44
0,8	2,26	1,4	1,74	2,5	1,42
0,85	2,18	1,45	1,71	2,6	1,41
0,9	2,12	1,5	1,68	2,7	1,39
0,95	2,07	1,6	1,65	2,8	1,38
1,0	2,02	1,7	1,62	2,9	1,36
1,05	1,97	1,8	1,59	3,0	1,34
1,1	1,92	1,9	1,56	3,25	1,31
1,15	1,88	2,0	1,54	3,5	1,28
1,2	1,84	2,1	1,51	3,75	1,25
1,25	1,81	2,2	1,49	4,0	1,22
1,3	1,79	2,3	1,46	—	

#### **Задача №4**



Приведите схему сушки изоляции обмоток трансформатора потерями в собственном баке. Рассчитайте параметры намагничивающей обмотки для сушки изоляции обмоток трансформатора ( $P_{об}$  – мощность намагничивающей обмотки,  $W$ - число витков намагничивающей обмотки,  $S$ - сечение провода намагничивающей обмотки,  $I$ - ток проходящий в обмотке). Исходные данные для расчета параметров намагничивающей обмотки в таблице 6).

Таблица вариантов задачи №6

Номер варианта	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
<b>Марка силового трансформатора*</b>	ТМ-25	ТМ-250	ТМ-160	ТМН-630	ТМФ-250	ТМФ-400	ТМН-400	ТМ-40	ТМ-63	ТМ-100
<b>Температура окружающей среды во время сушки изоляции обмоток, °С</b>	15	18	20	25	30	17	24	13	10	22
<b>Состояние бака трансформатора</b>	утепленный бак трансформатора					неутепленный бак трансформатора				

\*Данные силового трансформатора приведены в таблице 7.

Таблица 7-Данные силовых трансформаторов.

Марка трансформатора	Номинальная мощность, кВА	Сочетания напряжений, кВ		Потери к.з., Вт		Ток холостого хода, А	Напряжения к.з., %	Габаритные размеры ТМ, мм (АхВхН)
		ВН	НН					
				ХХ	КЗ			
ТМ-25	25	10	0,4	120	600	3,2	4,5	800 x 430 x 970
ТМ-250	250	6	0,4	750	3700	4,5	4,5	1560 x 930 x 1670
ТМ-160	160	35	0,4	460	2650	2,4	6,5	1150 x 820 x 1580
ТМН-630	630	35	6,3	1050	7600	2	6,5	1930 x 1180 x 1910
ТМФ-250	250	35	0,4	650	3700	2,3	4,5	1560 x 930 x 1670
ТМФ-400	400	10	0,4	830	5500	2,1	4,5	1750 x 1050 x 1780
ТМН-400	400	35	0,4	1050	5900	1,9	6,5	1750 x 1050 x 1780
ТМ-40	40	6	0,4	160	880	3	4,5	840 x 450 x 1075
ТМ-63	63	10	0,4	230	1470	2,8	4,7	1045 x 500 x 1375
ТМ-100	100	35	0,4	320	1970	2,6	6,5	1090 x 770



								x 1560
TM-400	400	35	0,4	830	5500	2,1	6,5	1750 x 1050 x 1780

### Практическое задание №5.

**Тема:** ОПРЕДЕЛЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ НАПРЯЖЕНИЯ И ПОТЕРЬ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ ЗАВОДСКИМ ЗНАЧЕНИЯМ.

**Цель:** НАУЧИТЬ ОПРЕДЕЛЯТЬ НАПРЯЖЕНИЯ И ПОТЕРИ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ, СРАВНИВАТЬ ИХ С ЗАВОДСКИМИ ЗНАЧЕНИЯМИ.

### Последовательность выполнения работы.

1. Ознакомьтесь с содержанием задания.
2. Повторите учебный материал.
3. Установите вариант учебного задания, согласно таблицы 2.
4. Запишите условие практического задания (задача 5).
5. Из таблицы 8 (согласно учебного задания), запишите исходные данные для решения задачи.
6. Выполните расчет согласно методических указаний по работе.

### Методические указания по выполнению практического задания.

При опыте короткого замыкания трехфазных трансформаторов токи и напряжения по фазам обычно одинаковы. В тех же случаях, когда несимметрия тока и напряжений превышает 2%, за величину номинального тока принимается среднее арифметическое значение трех измерений:

$$I_k = \frac{I_a + I_b + I_c}{3}$$

а за величину напряжения короткого замыкания — среднее арифметическое значение трех напряжений

$$U_k = \frac{U_{a-b} + U_{b-c} + U_{c-a}}{3}$$

Если несимметрия токов не превышает 2%, то допускается устанавливать номинальный ток по амперметру любой фазы.

Если несимметрия напряжений не превышает 2%, то за значение напряжения короткого замыкания следует принимать напряжение, более близкое к среднему арифметическому значению трех измеренных напряжений.

Следует лишь отметить, что при опыте короткого замыкания у трансформаторов небольшой мощности (примерно до 30 кВА) угол сдвига между током и напряжением меньше  $60^\circ$ , т. е.  $\cos\varphi > 0,5$ , и показания обоих ваттметров в схеме двух ваттметров будут положительными и их надлежит складывать.

Для того чтобы уменьшить потери в приборах при снятии отсчетов по ваттметрам, вольтметр следует отключить и тогда в приборах будут:

для однофазных

$$P_{\text{пр}} = \frac{U^2}{r_\omega}$$

для трехфазных (при схеме двух ваттметров)

$$P_{\text{пр}} = 2 \frac{U^2}{r_\omega}$$



В трансформаторах небольшой мощности, где потери трансформатора соизмеримы с потерями в приборах, производить измерение «потерь короткого замыкания не следует. Правильнее в таких случаях определить потерн по сопротивлениям обмоток постоянному току по формуле: для однофазных трансформаторов

$$P_k = I_1^2 \cdot r_1 + I_2^2 \cdot r_2$$

а для трехфазных трансформаторов

$$P_k = 3(I_1^2 \cdot r_1 + I_2^2 \cdot r_2)$$

где  $I_1, I_2$  - фазные токи в обмотках ВН и НН;

$r_1, r_2$  — фазные сопротивления постоянному току обмоток ВН и ПН.

Так как величина потерь короткого замыкания  $P_k$  и активная составляющая напряжения короткого замыкания  $U_a$  зависят от температуры обмоток, то результаты измерений следует привести к номинальной рабочей температуре обмоток. За номинальную рабочую температуру обмоток принята температура  $75^\circ \text{C}$ .

Сопротивление обмоток постоянному току с изменением температуры изменяется по формуле

$$r = r' (1 + \alpha(t - t'))$$

$r$  - сопротивление обмоток при температуре  $75^\circ$ ,

$r'$  - сопротивление обмоток при температуре окружающей среды,

$\alpha$  - температурный коэффициент (для меди  $\alpha=0,004$  при  $t=15^\circ\text{C}$ ).

Практически для приведения сопротивления провода к температуре  $75^\circ\text{C}$  пользуются коэффициентом пересчета, который выражается следующим соотношением:

$$K_1 = \frac{235 + 75}{235 + t} = \frac{310}{235 + t}$$

Где  $t$  - температура обмоток, при которой производилось измерение.

Потери, измеренные при температуре приводятся к номинальной температуре ( $75^\circ \text{C}$ ) после деления их на потери, обусловленные сопротивлением обмоток постоянному току, и добавочные потери. Тогда

$$P_{кв} = \Sigma I^2 r_{\phi} + P_{доб \phi}$$

$$\Sigma I^2 r_{\phi} = I_1^2 r_{1\phi} + I_2^2 r_{2\phi}$$

Потери  $\Sigma I^2 r_{\phi}$  с изменением температуры изменяются пропорционально изменению сопротивления и при температуре  $75^\circ \text{C}$

$$\Sigma I^2 r_{75} = \Sigma I^2 r_{\phi} K_1.$$

Что касается добавочных потерь, то они изменяются обратно пропорционально температурному коэффициенту  $K_1$  и при температуре  $75^\circ \text{C}$  будут:

$$P_{доб 75} = P_{доб \phi} \frac{1}{K_1}.$$

Формула приведения потерь короткого замыкания к температуре  $75^\circ \text{C}$  примет вид:

$$P_{к 75} = \Sigma I^2 r_{\phi} K_1 + \frac{P_{доб \phi}}{K_1}.$$

Напряжение короткого замыкания выражают в процентах от номинального напряжения и приводят к номинальной температуре  $75^\circ \text{C}$  по формуле



$$u_{к75} = \sqrt{u_{кб}^2 - \left(\frac{P_{кб}}{10P}\right)^2 + \left(\frac{P_{кб}}{10P}\right)^2 K_1^2} = \\ = \sqrt{u_{кб}^2 + \left(\frac{P_{кб}}{10P}\right)^2 (K_1^2 - 1)}, [\%]$$

#### Задача №5

Приведите схему опыта короткого замыкания для силовых трансформаторов. Определите напряжения и потери короткого замыкания и сравните их с заводскими значениями. Сделайте вывод о состоянии силового трансформатора по результатам расчета. Опыт короткого замыкания проводился при частоте  $f, \text{Гц}$  и токе в обмотке ВН  $I', \text{А}$ . Температура обмоток при опыте составила  $t_{\text{окр}}, ^\circ\text{C}$ , напряжение короткого замыкания измеренное при токе  $I'$  составило  $U'_k, \text{В}$ . Исходные данные приведены в таблице 8.

Таблица вариантов задачи №8.

Номер варианта	Марка силового трансформатора*	$f, \text{Гц}$	$I', \text{А}$	$t_{\text{окр}}, ^\circ\text{C}$	$U'_k, \text{В}$
а	ТМ-25	50	1,3	15	25
б	ТМ-250	50	12	17	500
в	ТМ-160	48	4	20	450
г	ТМН-630	47	25	25	340
д	ТМФ-250	46	12	23	280
е	ТМ-25	47	1,8	22	56
ж	ТМ-250	48	23	15	320
з	ТМ-160	49	10	17	150
и	ТМН-630	50	50	20	170
к	ТМФ-250	47	12	25	230



## 8.Рекомендуемая литература

### Основная

1. Павлович С.Н., Фираго Б.И. Ремонт и обслуживание электрооборудования. –Мн.: Выш. шк., 2005. – 245 с.
2. Янукович Г.И. Эксплуатация и ремонт сельскохозяйственного электрооборудования. – Мн.: Ураджай, 2000. – 397 с.
3. Куценко Г.Ф. Монтаж, эксплуатация и ремонт электроустановок. – Мн.: Дизайн ПРО, 2003. – 272 с.
4. Куценко Г.Ф. Монтаж, эксплуатация и ремонт установок электроснабжения. – Мн.: Дизайн ПРО, 2003. – 240 с.
5. Таран В.П. и др. Справочник по эксплуатации электроустановок – М.: Колос, 1983. – 221с.
6. Мусозянян Э.С. Наладка и испытание электрооборудования электростанций и подстанций. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 503 с.
7. Пястолов А.А., Ерошенко Г.П. Эксплуатация электрооборудования. – М.: Агропромиздат, 1990. – 287с.
8. Каганов И.Л. Курсовое и дипломное проектирование.-3-е изд., перераб. и доп.-М.: Агропромиздат, 1990.-351с.
9. Пястолов А.А. и др. Эксплуатация и ремонт электроустановок. – М.: Колос, 1984. 271с.

### Дополнительная

1. ТКП 339-2011 «Электроустановки до 750 кВ. Линии электропередачи воздушные и токопроводы, устройства распределительные и трансформаторные подстанции, установки электросиловые и аккумуляторные, электроустановки жилых и общественных зданий» - Минск: Минэнерго, 2011. – 592 с.
2. ТКП 181-2009 «Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей» – Минск: Минэнерго, 2009 – 323 с.
3. ТКП 538-2014 «Защита сельскохозяйственных животных от поражения электрическим током» – Минск: Минсельхозпрод, 2014 – 43 с.
4. Сердешнов А.П., Янукович Г.И. Техобслуживание и ремонт электрооборудования в с/х: Справочник. –Мн.: Ураджай, 1993. – 176с.
5. Сырых Н.Н. Эксплуатация сельских установок – М.: Агропромиздат, 1986. – 255с.
6. Величко В.И., Готовцев Б.Н. Техническое обслуживание средств электромеханизации в животноводстве. – М.: Россельхозиздат, 1986 – 288 с.
7. Сердешнов А.П., Янукович Г.И. Планирование эксплуатации с/х электрооборудования. – М.: Ураджай, 1992. – 87с.