

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Фурсов Владимир Александрович

Должность: И.о. директора Пятигорского института (филиал) Северо-Кавказского

федерального университета

Дата подписания: 05.06.2026 09:55:28

Уникальный программный ключ:

1c378726a41fd0143ae5bccc8ba81860b0b0aa62

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания

по выполнению практических работ

по дисциплине «ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ» для

студентов направления подготовки

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Пятигорск 2026 г.

Содержание

№ п/п	Стр.
	Введение
1.	Цель и задачи изучения дисциплины
2.	Оборудование и материалы
3.	Наименование практических работ
4.	Содержание практических работ
4.1	Практическая работа №1 Организация эксплуатации электрооборудования. Организация эксплуатации системы электроснабжения промышленного предприятия.
4.2	Практическая работа №2 Структура эксплуатационного обслуживания электроустановок. Порядок проведения оперативных переключений.
4.3.	Практическая работа №3 Средства электротехнических измерений Тепловизионное обследование электроэнергетического оборудования.
4.4	Практическая работа №4 Обслуживание распределительных устройств напряжением до 1 кВ. Проведение работ повышенной опасности. потребителей методом статистических испытаний
4.5	Практическая работа №5 Эксплуатация устройств систем управления. Эксплуатация генераторов и синхронных компенсаторов.
4.6	Практическая работа №6 Неисправности машин постоянного тока, способы их устранения. Эксплуатация оборудования распределительных устройств.
4.7	Практическая работа №7 Эксплуатация воздушных линий электропередачи. Эксплуатация воздушных линий электропередачи.
4.8	Практическая работа №8 Методы определения повреждений в силовых кабелях: абсолютные и относительные. Эксплуатация кабельных линий электропередачи.
4.9	Практическая работа №9 Обслуживание электрических машин. Поиск короткозамкнутых витков в электрических машинах.
5	Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины
5.1	Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины
5.2	Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине
5.3	Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

Введение

Практические занятия создают оптимальные дидактические условия для деятельностного освоения студентами содержания и методологии изучаемой дисциплины «Эксплуатация электроэнергетических систем», использование специального лабораторного оборудования и технических средств. Практические занятия занимают преимущественное место при изучении общепрофессиональных и профессиональных дисциплин. Практические занятия проводятся с целью выработки практических умений и приобретения навыков в решении задач, отработки упражнений, выполнении чертежей, производстве расчётов и т.п.

Целью практических занятий является формирование практических умений – профессиональных (выполнять определённые действия, операции, необходимые в последующем в профессиональной деятельности) или учебных, необходимых в последующей учебной деятельности по общепрофессиональным и профессиональным дисциплинам.

Библиографический список содержит сведения о справочной литературе и дополнительных изданиях, необходимых для углубленного изучения отдельных вопросов.

1. Цель и задачи изучения дисциплины

Цель дисциплины является

- формирование у студентов систематических знаний по вопросам проектирования и эксплуатации комплексных систем электроснабжения городов и промышленных предприятий.

Задачами дисциплины является:

- определять величины расчетных нагрузок,
- проектировать на вариантной основе эксплуатацию комплексных систем электроснабжения.

2. Оборудование и материалы

Аппаратные средства: переносной ноутбук, проектор, доска магнитно-маркерная.

Учебная аудитория для проведения учебных занятий, оснащена оборудованием и техническими средствами обучения.

3. Наименование практических работ

Для заочной формы обучения предусмотрены следующие практические работы:

Практическая работа №3 **Структура эксплуатационного обслуживания электроустановок** – 2 часа. Практическая работа №5. **Средства электротехнических измерений** – 2 часа, Практическая работа №9. **Эксплуатация устройств систем управления.** – 2 часа. Практическая работа

№ Темы дисциплины	Наименование тем дисциплины, их краткое содержание	Объем часов	Из них практическая подготовка, часов
7 семестр			
1	Практическая работа №1 Организация эксплуатации электрооборудования. Организация эксплуатации системы электроснабжения промышленного предприятия.	4	—
2	Практическая работа №2 Структура эксплуатационного обслуживания электроустановок. Порядок проведения оперативных переключений.	4	—
3	Практическая работа №3 Средства электротехнических измерений Тепловизионное обследование электроэнергетического оборудования.	4	—
4	Практическая работа №4 Обслуживание распределительных устройств	4	—

	напряжением до 1 кВ. Проведение работ повышенной опасности. потребителей методом статистических испытаний		
5	Практическая работа №5 Эксплуатация устройств систем управления. Эксплуатация генераторов и синхронных компенсаторов.	4	—
6	Практическая работа №6 Неисправности машин постоянного тока, способы их устранения. Эксплуатация оборудования распределительных устройств.	4	—
7	Практическая работа №7 Эксплуатация воздушных линий электропередачи. Эксплуатация воздушных линий электропередачи.	4	—
8	Практическая работа №8 Методы определения повреждений в силовых кабелях: абсолютные и относительные. Эксплуатация кабельных линий электропередачи.	4	—
9	Практическая работа №9 Обслуживание электрических машин. Поиск короткозамкнутых витков в электрических машинах.	4	—
Итого		36	—

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №1
Введение. Организация эксплуатации электрооборудования.
Организация эксплуатации системы электроснабжения промышленного
предприятия

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1. Организация службы эксплуатации системы электроснабжения

Под термином «эксплуатация» понимается стадия жизненного цикла электрооборудования, на которой реализуются, поддерживаются и восстанавливаются его технические характеристики.

Для обеспечения требуемых технических характеристик электрооборудования, проводится его техническое обслуживание – комплекс мероприятий, включающий в себя осмотры, межремонтное обслуживание, профилактические испытания и диагностику оборудования и сооружений.

Осмотры оборудования выполняются с целью визуального контроля состояния этого оборудования. Различают плановые и внеочередные осмотры. Периодичность плановых осмотров регламентируется ПТЭ, и инструкциями эксплуатирующей организации, учитывающей специфику конкретных условий работы. Внеочередные осмотры проводятся при резком изменении условий работы электрооборудования, отключения его средствами РЗА и т.д.

При **межремонтном обслуживании** производятся мероприятия, рекомендованные заводом-изготовителем, в том числе: чистка изоляции, смазка, устранение мелких дефектов и неисправностей.

В процессе эксплуатации основные характеристики большей части электрооборудования меняются в сторону их ухудшения. Изменения такого рода невозможно оценить при осмотрах оборудования, поэтому периодически необходимо проводить его **профилактические испытания**.

По результатам осмотров, профилактических испытаний или диагностики электрооборудования делают вывод о его дальнейшей работоспособности или необходимости проведения **ремонта**.

В свою очередь по назначению выделяют следующие виды ремонтов:

- **восстановительный ремонт** (без изменения конструкции отдельных узлов, тех. характеристики оборудования не меняются);
- **реконструкция** (изменение конструктивного исполнения отдельных узлов, замена отдельных материалов при практически неизменных технических характеристиках);
- **техническое перевооружение** (некоторые узлы и детали заменяются более совершенными, тех. характеристики эл. оборудования улучшаются).

По объему работ, ремонты делятся на текущие и капитальные.

Текущий ремонт проводится для поддержания работоспособности и заключается в замене или восстановлении отдельных частей объекта (напр. быстро изнашивающихся деталей).

При **капитальном ремонте** проводится полная разборка оборудования с заменой или восстановлением любых его частей, в результате чего достигается практически полное восстановление его ресурса работы.

Персонал, осуществляющий техническую эксплуатацию системы электроснабжения промышленного предприятия, делится, по своему назначению, на следующие группы:

- а) административно-технический (организует техническое обслуживание оборудование, оперативное управление электрооборудованием и ремонтные работы;
- б) оперативный (осуществляет техническое обслуживание и оперативное управление, проведение осмотров, оперативных переключений, подготовку рабочего места, допуск к работе и т.д.

в) ремонтный (выполняет все виды работ по ремонту электрооборудования установок;

Эксплуатационный персонал должен иметь соответствующую выполняемым работам подготовку и группу допуска.

Обслуживание сложного электротехнологического оборудования как то: электросварка, электролиз, электротермия и т.д., а так же сложного энергонасыщенного производственно-технологического оборудования, при работе которого необходимо постоянное техническое обслуживание и регулировка электроаппаратуры, электроприводов, эл. машин, должен осуществлять электротехнологический персонал.

Для проверки знаний электротехнологического персонала, руководитель предприятия должен назначить комиссию в составе не менее 5 человек. Председатель комиссии должен иметь группу по электробезопасности V у потребителей с электроустановками напряжением до и выше 1000 В и группу IV – с электроустановками напряжением только до 1000 В.

Система управления электрохозяйством является составной частью системы управления энергохозяйством, интегрированной в систему управления потребителя в целом, и должна обеспечивать:

- оперативное развитие схемы электроснабжения для удовлетворении возрастающих потребностей в электроэнергии
- эффективную работу электрохозяйства путем совершенствования энергетического производства и осуществления мероприятий по энергосбережению
- повышение надежности и безопасности
- контроль за состоянием электроустановок и т.д.

У потребителя должен быть налажен анализ технико-экономических показателей работы электрохозяйства. Необходима постоянная оценка режимов работы электрооборудования, соответствие их основных показателей его работы нормированным и расчетным значениям.

Так же необходим налаженный учет основных показателей электрооборудования (сменный, суточный, месячный, квартальный, годовой) по установленным формам.

Необходимый объем нормативной и технической документации на предприятии устанавливается ПТЭ и делится на три типа:

- тех. документация по объекту;
- структурному подразделению;
- рабочему месту.

В первую группу входит:

- ген. план предприятия с нанесенными зданиями, сооружениями, подземными коммуникациями;
- акты наладки, испытаний и приемки основного электрооборудования в эксплуатацию
- тех. паспорта этого оборудования
- производственные инструкции по эксплуатации электроустановок
- должностные инструкции по рабочим местам, включая инструкции по охране труда.

Основная техническая документация в структурном подразделении:

- журналы учета электрооборудования с указанием тех. данных и инвентарных номеров;
- исполнительные чертежи воздушных и кабельных линий и заземляющих устройств;
- схемы электроснабжения по объекту в целом и по его структурным подразделениям;
- списки работников, имеющих право отдавать распоряжения, выдавать наряды-допуски, допускать к работе, выполнять оперативные переключения.

На рабочих местах необходимы (ТП, РП):

- оперативная однолинейная схема электрических соединений, на которой отмечается фактическое положение коммутационной аппаратуры
- журнал учета электрооборудования;
- кабельный журнал;
- оперативный журнал;
- журнал учета работ по нарядам и распоряжениям;
- листки осмотра эл. оборудования
- ведомости показаний КИП и т.д.

2 Оперативное управление электрохозяйством

У пром. предприятий, имеющих собственные источники электроэнергии или имеющих в своей системе электроснабжения самостоятельные предприятия электрических сетей, необходима организация системы оперативного диспетчерского управления для обеспечения:

- разработки и ведения требуемых режимов работы;
- организация пусков и отключений;
- локализация аварий и восстановление требуемых режимов работы;
- выполнение требований качества электрической энергии и т.д.

Система оперативного управления, организационная структура и форма управления, число работников в смене определяются руководителем и нуждаются в документальном оформлении.

Система оперативного управления должна иметь четкую иерархическую структуру, причем для каждого уровня должны быть установлены две категории управления электрооборудованием и сооружениями – оперативное управление и оперативное ведение.

В оперативном управлении старшего работника, из числа оперативного персонала находятся объекты (напр. линии, токопроводы, устройства РЗА), операции с которыми требуют координации действий подчиненного персонала и согласованных изменений режимов на нескольких объектах. Такого рода операции необходимо производить под руководством старшего работника.

В оперативном ведении старшего работника должно находиться оборудование и сооружения, операции с которыми не требуют координации действий персонала разных энергетических объектов. Операции должны осуществляться с разрешения старшего работника.

Все линии, токопроводы, оборудование и устройства систем электроснабжения, должны быть распределены по иерархическим уровням оперативного управления.

Оперативное управление должно осуществляться со щита управления или диспетчерского пункта, оборудованного средствами связи, причем все переговоры рекомендуется записывать на магнитную ленту. На щитах управления должны находиться оперативные схемы электрических соединений управляемых электроустановок. Все изменения режимов работы электрооборудования, а так же места наложения и снятия заземлений так же необходимо отображать в схеме.

Все переключения необходимо производить, предварительно согласовав их с вышестоящим оперативным персоналом в управлении или ведении которого находится данное оборудование по установленному на предприятии порядку: по устному или телефонному распоряжению с записью в оперативном журнале. Переключения должен производить работник из числа оперативного персонала, непосредственно обслуживающий электроустановки.

Сложные переключения (требуется строгое соблюдения последовательности операций с коммутационными аппаратами и заземляющими ножами) производятся, как правило двумя работниками по специальным бланкам и программам переключений, которые должны разрабатываться на предприятии.

При переключениях должна соблюдаться следующая последовательность действий:

- работник, получивший задание на переключение, обязан его четко повторить, записать в оперативный журнал и сделать необходимые изменения на оперативной схеме, составить, если требуется, бланк переключений.
- если переключение выполняют два работника, получивший распоряжение должен пояснить порядок переключений второму работнику, участвующему в операции
- при возникновении сомнений в правильности выполнении переключений их необходимо прекратить и проверить требуемую последовательность по оперативной схеме
- после выполнения задания необходимо сделать соответствующую запись в оперативном журнале

3. Оперативно-диспетчерское управление при ликвидации аварий в системах электроснабжения

При ликвидации аварий и в прочих случаях не терпящих промедления допускается в соответствии с инструкциями предприятия проведение переключений без ведома вышестоящего оперативного персонала, в управлении или ведении которого находится данный объект.

В случае сложных переключений или при переключениях на оборудовании не имеющем защитных блокировок, в условиях аварийного положения допускается производить переключения без соответствующих бланков, с последующей записью в оперативный журнал.

4. Автоматизированные системы управления электроснабжением предприятия, их назначение и правила их эксплуатации

В настоящее время в системах электроснабжения промышленных предприятий применяют следующие виды автоматики: автоматическое повторное включение (АПВ); автоматическое включение резервного питания (АВР); автоматическое регулирование мощности компенсирующих устройств; автоматическая аварийная разгрузка по частоте (АЧР). Устройства автоматики выполняются на постоянном или переменном оперативном токе. На оперативном постоянном токе устройства автоматики в СЭС ПП применяют при наличии электромагнитных или пневматических приводов, на переменном – при наличии пружинных приводов. Сущность АПВ состоит в том, что элемент системы электроснабжения промышленного предприятия, отключенный в результате работы средств релейной защиты включается повторно. Опыт эксплуатации показывает, что достаточно большой процент повреждений имеет неустойчивый характер и после отключения напряжения самоустраняется. В числе таких повреждений перекрытия изоляции ВЛЭП в результате атмосферных перенапряжений, схлестывание проводов, неустойчивые перекрытия изоляции во вторичных цепях, неправильные действия оперативного персонала и т.д. Следует учитывать и тот факт, что стоимость устройств АПВ ничтожно мала по сравнению с убытками, приносимыми недоотпуском электроэнергии и простоем технологического оборудования. Устройствами АПВ, как правило, оснащаются воздушные (реже кабельные) линии, секции и системы шин, двигатели и одиночные трансформаторы, при этом в логике защиты стоит запрет на АПВ при работе газовой и дифференциальной защиты. Различают одно- и многократные АПВ, причем с увеличением кратности, эффективность их работы уменьшается (так для ВЛ 1 – 60-75%, а для 2 – 30-35%). Часто применяется ускорение действия защиты после АПВ.

Автоматическое включение резервного питания применяют, когда перерыв в электроснабжении вызывает убытки по величине значительно превосходящие стоимость самого устройства АВР. Их применяют, когда имеется в наличии или проектируется второй источник питания. В таких случаях при повреждении включается дополнительный источник питания, нормально находящийся в резерве. Чаще применяют схемы с резервом, работающим в нормальном режиме. При выполнении устройства АВР должны соблюдаться следующие условия:

- для предотвращения включения резервного источника на КЗ в неотключившемся рабочем источнике, схема АВР не должна работать до отключения выключателя этого источника.

- действие АВР должно быть однократным, применяется УДЗ после срабатывания АВР и др.

Автоматическое регулирование мощности КУ.

АЧР отключает часть потребителей, как правило линий отходящих от ГПП или ГРП, устанавливается по требованию энергосистемы.

Устройства РЗА, находящиеся в эксплуатации должны быть постоянно включены в работу, кроме тех устройств, которые должны выводиться из работы в соответствии с назначением и принципом действия, режимом работы электрической сети и условиями селективности. Плановый вывод оформляется соответствующей заявкой и произведен с разрешения вышестоящего персонала в оперативном управлении или ведении находится данный объект.

В случае угрозы неправильной работы, устройство должно выводиться из работы немедленно, без разрешения вышестоящего оп. персонала, но с дальнейшим его уведомлением и оформлением заявки. При этом оставшиеся в работе устройства должны обеспечивать полноценную защиту оборудования от всех видов повреждений. Если условие не соблюдается, необходимо отключать все присоединение.

На каждое устройство РЗА у потребителя должно храниться:

- паспорт-протокол;
- методические указания или инструкция по техническому обслуживанию;
- технические данные и параметры в виде карт или таблиц уставок;
- принципиальные и монтажные схемы;

Все случаи неправильной работы устройств должны тщательно анализироваться эксплуатирующим персоналом.

5. Основные пути снижения потерь электроэнергии. АСКУЭ

Все мероприятия по снижению потерь можно разделить на две большие группы:

- организационные
- технические

Основы организационных мероприятий составляют следующие:

- внедрение программного обеспечения, проведение расчетов по выявлению точек с наибольшими потерями, расчет величины потерь в целом;
- введение различных систем контроля и стимулирования персонала;
- установление в договорах электроснабжения условий потребления реактивной энергии потребителями и т.д.

Основу технических мероприятий составляет:

- реализация оптимальных режимов работы сетей (определение точек нормального разрыва, регулирования напряжения на ЦП, выравнивание нагрузок фаз в сети 0,38кВ, оптимизация работы двухтрансформаторных подстанций, перевод неработающих генераторов в режим СК и т.д.)
- реконструкция электрических сетей (разукрупнение подстанций, ввод КУ, ввод РПН, сооружение новых линий, увеличение сечения и мощности трансформаторов и т.д.)
- совершенствование учета электроэнергии (работа ИТТ без перегрузок, установка АСКУЭ, периодические проверки и т.д.)

В условиях реформы всей российской экономики, вопросы концепции развития АСКУЭ встали достаточно остро. Она безусловно нужна как городу, так в сельских районах и фактически является технической базой реализации договорных и финансовых взаимоотношений между поставщиками и потребителя энергоресурсов, а также эффективным инструментом по реализации экономических методов управления

потреблением энергоресурсов, также позволит автоматизировать финансово-банковские операции при расчете с потребителями.

Конечно, можно осуществлять учет старыми «дедовскими» методами, однако разумнее и экономичнее использовать АСКУЭ.

В последние годы наблюдается резкое повышение интереса к комплексным системам учета энергоресурсов, связанное со структурной перестройкой экономики страны. В настоящее время АСКУЭ стала успешно применяться даже при строительстве жилых домов в крупных российских городах, и видна тенденции к тому, что скоро внедрение АСКУЭ в промышленность и жилищное строительство станет в России повсеместным.

К настоящему моменту на рынке существуют множество различных систем АСКУЭ. В основном их отличия друг от друга заключаются в следующем:

тип выходной телеметрической информации используемых приборов учета (аналоговая, импульсная, встроенный интерфейс с различным протоколом обмена);

принцип передачи накопленной информации (выделенный канал, телефонная линия, силовая линия, mini GSM или же прямой съем информации на самом объекте).

Однако опыт показал, что передача данных только по одному из указанных видов связи ненадежна, так как каждый конкретный объект имеет свои особенности.

Классификация систем учета и электросчетчиков

Обобщенная структура АСКУЭ содержит три уровня:

нижний - первичные измерительные преобразователи (ПИП) с телеметрическими выходами, осуществляющие непрерывно или с минимальным интервалом усреднения измерение параметров энергоучета потребителей (расход, мощность, давление, температура, количество энергоносителя, количество теплоты с энергоносителем) по точкам учета (фидер, труба);

средний - контроллеры (К) - специализированные измерительные системы, или многофункциональные программируемые преобразователи с встроенным программным обеспечением энергоучета, осуществляющие в заданном цикле интервала усреднения круглосуточный сбор измерительных данных с территориально распределенных ПИП, накопление, обработку и передачу этих данных на верхний уровень;

верхний - персональная ЭВМ (ПЭВМ) со специализированным программным обеспечением АСКУЭ, осуществляющая сбор информации с контроллера (или группы контроллеров) среднего уровня, итоговую обработку этой информации как по точкам учета, так и по их группам (по подразделениям и объектам предприятия), отображение и документирование данных учета в виде, удобном для анализа и принятия решений (управления) оперативным персоналом службы главного энергетика и руководством предприятия.

Вопросы для собеседования:

1. Организация эксплуатации системы электроснабжения промышленного предприятия
2. Организация службы эксплуатации системы электроснабжения предприятия
3. Оперативное управление электрохозяйством. Оперативно-диспетчерское управление при ликвидации аварий в системах электроснабжения
4. Автоматизированные системы управления электроснабжением предприятий, их назначение и правила их эксплуатации.
5. Основные пути снижения потерь электроэнергии при эксплуатации электроустановок. Автоматизированные системы коммерческого и технического учета и контроля электроэнергии (АСКУЭ).

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №2

Порядок проведения оперативных переключений

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1. Оперативные распоряжения

Работа оперативного персонала должна быть построена так, чтобы каждый работник сознательно, ясно и четко представлял последовательность проводимых операций, ремонтных и других работ в электроустановках.

Все оперативные переговоры должны вестись персоналом в ясной форме, полностью исключающей возможность неправильного истолкования оперативного распоряжения. Переговоры должны быть краткими, в основном состоящими из твердо установленных определений.

При формулировании и при повторении оперативных распоряжений должны быть четко указаны: *название станции и подстанции, соответствующий номер оборудования, напряжение, положение аппарата в схеме коммутации, назначение оборудования.*

Лица, отдающие и принимающие оперативные распоряжения и сообщения об исполнении, обязаны назвать свою должность и фамилию.

При отдаче *распоряжения на действие с защитой* должны быть названы:

- наименование оборудования или присоединения, на котором установлена защита,
- наименование защиты и объем действия с ней.

Все участники оперативных переговоров должны твердо знать фамилии лиц, имеющих право отдавать и принимать к исполнению оперативные распоряжения.

Лицу, непосредственно производящему операции, дается *только одно задание*, в объем которого входят *операции, направленные к достижению только одной цели*, например: включение или отключение линии, перевод линий с одной системы шин на другую, отключение всех присоединений с одной секции или системы шин для вывода ее в ремонт или в резерв и т.д.

В одном задании **объединять операции**, не направленные к одной цели (например, вывод из ремонта линии и включение из холодного резерва силового трансформатора и т.д.), **запрещается**.

Объем оперативного распоряжения определяется лицом, отдающим данное распоряжение, в зависимости от местных условий, квалификации дежурного персонала и от территориального расположения оборудования в схеме.

Электрооборудование электростанции и подстанции может находиться:

- **в работе** (коммутационные аппараты оборудования включены и несут нагрузки);
- **в горячем резерве** (оборудование отключено только выключателями);
- **в холодном резерве** (оборудование отключено выключателями и разъединителями);
- **в ремонте** (оборудование отключено и заземлено, установлено ограждение и повешены плакаты в соответствии с правилами техники безопасности);
- **в промежуточном состоянии** – под напряжением (оборудование включено коммутационными аппаратами только с одной стороны и не несет нагрузки).

Оперативное задание может быть **простым и сложным**, включающим ряд операций. Типовыми переключениями, на проведение которых требуется выдача **сложных заданий**, являются следующие:

- перевод оборудования в одно из основных четырех оперативных состояний (в работу, в горячий резерв, в холодный резерв, в ремонт);
- перевод присоединений с одной системы работающих шин на другую;
- перевод присоединения со своего выключателя на обходной в распределительных устройствах с обходными системами шин;

- ввод в работу резервной системы шин с переводом на нее части или всех присоединений;
- отыскание однополюсных замыканий на землю (в сетях с изолированной нейтралью).

Порядок выполнения сложных типовых заданий указывается в местных инструкциях. Если сложное переключение не типовое, то распоряжение о его выполнении выдается по-операционно.

При операциях по выводу в ремонт линий с двусторонним питанием порядок действия оперативного персонала на обоих концах определяется состоянием линии на момент выдачи задания.

2. Оперативные переключения

Переключения в распределительных устройствах электростанций и подстанций производятся по распоряжению или с ведома вышестоящего оперативного персонала.

В случаях, не терпящих отлагательства (пожар, несчастный случай с людьми, стихийное бедствие), а также при ликвидации аварии допускается производство переключений без ведома вышестоящего персонала, но с последующим его уведомлением.

Лицо, отдающее распоряжение о производстве переключений, обязано предварительно проверить по оперативной схеме последовательность предполагаемых операций. *Отдающий распоряжение может считать его выполненным только после сообщения исполнителем лично или по телефону об исполнении распоряжения.*

На электростанциях и подстанциях при наличии на установке двух и более лиц все сложные переключения (т. е. переключения, производимые более чем на одном присоединении), а также простые переключения в схемах установок, не имеющих устройств блокировки разъединителей, производятся двумя лицами.

Одно лицо непосредственно производит переключения, а второе – осуществляет контроль за правильностью и последовательностью производимых операций. Контролирующим лицом при производстве переключений является *старший по должности и квалификации.*

На электроустановках, имеющих действующие устройства блокировки разъединителей от неправильных операций, простые переключения, а также все операции на щитах и сборках напряжением 500 в и ниже разрешается выполнять персоналу единолично, имеющему квалификационную группу не ниже IV.

Наложение и снятие переносных заземлений должны производиться двумя лицами независимо от порядка оперативного обслуживания электроустановок. Отключение и включение выключателей и разъединителей со щита управления во всех случаях могут производиться единолично.

Все простые переключения в схемах электрических установок напряжением выше 1000 в, а также сложные переключения в распределительных устройствах, оборудованных полностью блокировочными устройствами от неправильных операций с разъединителями, производятся без бланков переключений.

Переключения при ликвидации аварий также производятся без бланков с последующей записью операций в оперативном журнале. **Порядок производства переключений** в распределительных устройствах устанавливается следующий: лицо, получившее распоряжение о производстве переключений, обязано повторить его, записать задание в оперативный журнал и установить порядок предстоящих операций.

При выполнении переключений двумя лицами, лицо, получившее распоряжение, обязано разъяснить второму лицу, участвующему в переключении, порядок и последовательность производства операции.

В случае возникновения сомнений в правильности производства предстоящей операции все переключения прекращаются до выяснения.

Как известно, последствия аварии, возникающей в период максимума нагрузки, бывают гораздо тяжелее, чем в период минимальных нагрузок. Анализ аварий, возникающих вследствие грубых нарушений персоналом правил техники безопасности, показывает, что большую часть их допускает персонал в конце смены. Поэтому *в период максимума нагрузки и в конце смены производство переключений при нормальных условиях эксплуатации не допускается.*

При заземлениях в цепях постоянного тока до отыскания и ликвидации заземления запрещается производить всякие операции, если они не диктуются аварийным положением.

3. Действия с разъединителями

Включение разъединителей как ручными приводами, так и штангой надлежит производить быстрым движением, но без удара в конце хода.

Производить обратный отвод ножей разъединителя при приближении их к контактам (губкам) категорически воспрещается, так как это ведет к возникновению аварий (дуговые разряды).

Отключение разъединителей следует производить медленно и осторожно. При возникновении дуги в момент отхода ножей от контактов разъединитель должен быть быстро включен обратно; операция должна быть прекращена до выявления причин появления дуги.

В отключенном положении ножи разъединителя должны быть полностью (до отказа) отведены от контактов.

4. Действия с выключателями

Включение выключателя ручным приводом следует производить быстро, доводя ход интервала или рычага до упора; при этом должна загореться сигнальная лампа «включено».

При дистанционном включении в зависимости от типа контактора нажим на кнопку «включить» или поворот ключа управления необходимо производить до момента загорания сигнальной лампы «включено».

Отключение выключателя вручную надлежит производить легким поворотом штурвала до отказа или поворотом рычажного привода, а также воздействием на защелку привода, нажатием на специальную кнопку или сердечник отключающей катушки. При этом должна загореться сигнальная лампа «отключено».

При дистанционном отключении соответствующее действие с ключом управления или кнопкой необходимо продолжать до момента загорания лампы «отключено».

Проверка положения выключателя после отключения обязательна во всех случаях, если за этим отключением предстоит операция с разъединителями, за исключением случаев, когда разъединители управляются дистанционно.

Операциям с разъединителями должно предшествовать снятие с выключателя оперативного тока, за исключением случаев перевода с одной системы шин на другую при включенном выключателе данного присоединения. Оперативный ток снимается предохранителем в цепи соленоида включения до проверки положения выключателя. Соблюдение такой последовательности при выполнении указанных операций полностью обеспечивает надежность, потому что не во всех распределительных устройствах (РУ) предохранители цепей оперативного тока расположены рядом с выключателями.

При производстве операций в РУ, где предохранители цепей оперативного тока расположены далеко от выключателя, за время от проверки положения выключателя до снятия оперативного тока с привода может произойти изменение положения выключателя (ошибочное включение выключателя, включение выключателя вследствие двойного замыкания на землю в цепи оперативного тока и пр.).

Выполнение при этом последующей операции с разъединителями при включенном выключателе может вызвать повреждение оборудования и серьезную травму персонала.

Проверка положения после включения обязательна у шиносоединительного выключателя (ШСВ) перед началом перевода присоединений с одной системы шин на другую.

Действительное положение выключателя следует проверять в основном по механическому указателю. Вспомогательными средствами могут служить сигнальные лампы и измерительные приборы данного присоединения. У воздушных выключателей с отделителями и выключателей типа ВМГ и МГГ проверка положения выключателя производится путем осмотра рабочих контактов.

5. Действия с устройствами релейной защиты и автоматики

Все операции с устройствами релейной защиты и электроавтоматики производятся только с разрешения вышестоящего оперативного персонала. При ликвидации аварии персонал может действовать самостоятельно и уведомить затем вышестоящего оперативного работника.

Нельзя оставлять без защиты оборудование, шины и линии, находящиеся под нагрузкой или под напряжением; также не должны оставаться без защиты от внутренних повреждений генераторы, синхронные компенсаторы и трансформаторы.

Перед отключением релейной защиты по заявкам оперативный персонал должен убедиться в том, что включена другая защита, обеспечивающая надежную защиту оборудования, или принять меры по замене отключенной защиты резервной, либо оборудование включается на резервную систему шин через ШСВ с соответствующей защитой.

При изменениях в схеме главной (первичной) цепи необходимо своевременно производить отключение, включение или изменение уставок устройств релейной защиты и электроавтоматики согласно местных инструкций.

В случае превышения тока нагрузки присоединений (максимально допустимое значение по условиям настройки 'релейной защиты) необходимо принять меры к его разгрузке.

При опробовании оборудования перед включением выключателя персонал должен убедиться в исправности выключателя, наличии оперативного тока на цепях защиты и на управлениях выключателя, а также в том, что на опробуемом присоединении все (в том числе быстродействующая) защиты включены и поставлены в положение, соответствующее опробованию (если это необходимо).

Действие АПВ и АВР с выключателя, которым производится опробование, нужно отключить.

При опробовании ШСВ или обходным выключателем нужно включить защиты ШСВ или обходного выключателя от всех видов коротких замыканий с уставками согласно указанию в местных инструкциях.

При автоматическом отключении или включении выключателей оперативный персонал должен:

а) по сигнализации установить и записать, какие выключатели отключились, и квити́ровать их ключи управления. При этом на выключателях, имеющих АПВ, квити́рование ключей допускается только после того, как персонал убедился в том, что устройство АПВ вернулось в исходное положение;

б) тщательно осмотреть и записать, на каких реле отпали сигнальные флажки и какое время зафиксировано указателями реле времени, затем установить флажки и указатели в нужное положение и сообщить вышестоящему оперативному персоналу (при наличии на щите управления второго лица осмотр сигнальных реле производится персоналом совместно, т. е. с контролирующим лицом);

в) деблокировать реле, имеющие самоудержание (например, на газовой защите трансформаторов), и поднять грузы выключателей с грузовыми приводами, включающимися от АПВ или АВР;

г) привести в соответствие с первичной схемой соединений устройства автоматики и релейной защиты, имеющие ключи, отключающие устройства, переключатели и рубильники, положение которых зависит от первичной схемы соединений;

д) после автоматического отключения сообщить в местную службу релейной защиты и электроавтоматики о выпавших флажках сигнальных и других реле, о показаниях указателей времени и запуске автоматических осциллографов и пр.

При резких изменениях напряжений и токов в сети, не сопровождающихся отключениями или включениями выключателей, персонал обязан осмотреть панели релейной защиты и электроавтоматики и зафиксировать действие всех сигнальных реле.

При появлении сигнала заземления в сети постоянного оперативного тока персонал должен немедленно принять меры по отысканию места нарушения изоляции и его устранению согласно местным инструкциям.

6. Последовательность производства операций

Производство основных операций с выключателями и разъединителями должно происходить в следующей последовательности.

Включение линии:

- а) включить шинные разъединители;
- б) включить линейные разъединители;
- в) включить выключатель.

Отключение линии:

- а) отключить выключатель;
- б) отключить линейные разъединители;
- в) отключить шинные разъединители.

Включение генератора:

- а) включить шинные разъединители;
- б) включить генераторные разъединители (разъединители, устанавливаемые в некоторых случаях между выводами генератора и выключателем);
- в) синхронизировать генератор и включить генераторный выключатель.

Отключение генератора:

- а) отключить генераторный выключатель;
- б) отключить генераторные разъединители;
- в) отключить шинные разъединители.

Включение трехобмоточного трансформатора:

- а) включить шинные разъединители высшего, среднего и низшего напряжения;
- б) включить трансформаторные разъединители высшего, среднего и низшего напряжения (если они есть);
- в) включить выключатели высшего, среднего и низшего напряжения.

Отключение трехобмоточного трансформатора:

- а) отключить выключатели низшего, среднего и высшего напряжения;
- б) отключить трансформаторные разъединители низшего, среднего и высшего напряжения;

в) отключить шинные разъединители низшего, среднего и высшего напряжения.

Ошибочное действие персонала при производстве оперативных переключений вызывает поражение людей током, повреждение оборудования и прекращение электроснабжения электроприемников. Последствия от ошибочного включения или отключения тока разъединителями зависят от того, какими разъединителями – шинными или линейными – производится операция. Поэтому *первыми должны включаться, а последними отключаться разъединители, неправильное действие которых может привести к более тяжелым последствиям.*

Исходя из этого ясно, что всегда следует *сначала включать шинные, затем линейные разъединители и только потом выключатель.* При отключении сначала следует отключить выключатель, затем линейные разъединители, а потом шинные.

В практике имели место случаи отключения работающего трансформатора от действия релейной защиты, когда к номинальному току работающего трансформатора накладывался намагничивающий ток включаемого трансформатора. Поэтому *включение трансформаторов следует производить со стороны высшего напряжения.*

Порядок перевода присоединений с одной системы шин на другую:

а) убедиться в том, что защита ШСВ включена с уставками, указанными в местных инструкциях по защите.(если на выключателе имеется специальная автоматика, отключить ее);

б) убедиться в том, что напряжения обеих систем шин синхронны и равны по величине;

в) включить ШСВ;

г) отключить защиту и оперативный ток с привода ШСВ;

д) по механическому указателю (или по состоянию рабочих контактов выключателя) проверить включенное положение выключателя;

е) включить шинные разъединители всех намеченных к переводу присоединений на ту систему шин, с которой намечается их питание; затем, если в этом есть надобность, перевеет питание измерительных приборов, приборов учета, защиты и сигнализации, переводимых присоединений на соответствующие цепи трансформаторов напряжения;

ж) отключить шинные разъединители переводимых присоединений от системы шин, с которой они ранее питались;

з) включить оперативный ток на привод, после чего отключить ШСВ;

и) проверить отключение ШСВ;

к) включить защиту ШСВ и специальную автоматику.

Порядок производства операций при переводе всех присоединений с рабочей системы шин на резервную при наличии шиносоединительного выключателя:

а) убеждаются по оперативной схеме, что система шин находится в резерве, и производят внешний осмотр резервной системы шин;

б) включают ШСВ с подключенной на нем защитой от коротких замыканий (с нулевой установкой по времени);

в) проверяют наличие напряжения на резервной системе шин по вольтметрам;

г) отключают оперативный ток с привода и защиты на ШСВ (рубильником, накладкой и пр.);

д) производят перевод питания цепей напряжения защиты присоединений с трансформаторов напряжения рабочей системы шин на трансформаторы напряжения резервной системы (согласно местной инструкции);

е) производят перевод разъединителей присоединений с одной системы шин на другую (согласно местной инструкции, учитывающей конструктивные особенности РУ и управления разъединителями);

- ж) проверяют качество включения разъединителей на резервную систему шин;
- з) проверяют отсутствие нагрузки на ШСВ по амперметру;
- и) включают оперативный ток на привод И отключают ШСВ.

При отсутствии ШСВ частичный перевод присоединений с одной системы шин на другую запрещается.

При полном переводе присоединений, в случае отсутствия ШСВ, включают шинные разъединители на резервную систему шин одного из мощных источников и держат их в этом состоянии до конца переключения. Это присоединение переводится последним после тщательной проверки перевода всех остальных присоединений.

При переводе присоединений особенно тщательно необходимо следить за тем, чтобы не включить разъединители присоединений, не находящихся в работе.

При переводе присоединения необходимо предусмотреть сохранение правильного питания цепей напряжения измерительных приборов релейной защиты и автоматики.

Когда ШСВ находится в резерве, его разъединители, как правило, должны быть включены на обе системы шин. Трансформатор напряжения резервной системы шин должен быть также включен.

7. Бланк переключения

Бланк переключения, составляемый для предупреждения возможных неправильных операций, является основным оперативным документом, определяющим содержание задания и последовательность производства особо опасных и сложных переключений. По бланкам переключения производятся операции в схемах электроустановок напряжением выше 1 000 в, когда РУ не оборудованы или оборудованы не полностью блокировочными устройствами от неправильных операций с разъединителями, и сложные переключения.

В бланк переключения вносятся не только операции с переключающими аппаратами, но также и другие операции, как-то:

- включение и отключение оперативного тока;
- проверка отсутствия напряжения;
- операции с защитой или спецавтоматикой;
- отключение и включение цепей питания защиты, измерительных приборов и автоматики;
- ввод и вывод АПВ, АВР, АЧР;
- наложение или снятие защитных переносных заземлений.

Бланк заполняется непосредственно перед началом переключений после получения распоряжения тем лицом, которое получило распоряжение.

Каждая операция или действие, вносимое в бланк, должно иметь порядковый номер, каждый бланк переключений проверяется и подписывается.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Оперативное распоряжение.
2. Каким образом производятся оперативные переключения?
3. Действия с разъединителями.
4. Действия с выключателями.
5. Действия с устройствами релейной защиты и электроавтоматики.
6. Последовательность производства операций.
7. Что такое «Бланк переключения»?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №3

Тепловизионное обследование электроэнергетического Оборудования

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1. Тепловидение

Тепловидение можно назвать универсальным способом получения различной информации об окружающем нас мире. Как известно, тепловое излучение имеет любое тело, температура которого отлична от абсолютного нуля. Кроме того, подавляющее большинство процессов преобразования энергии (а к ним относятся все известные процессы) протекает с выделением или поглощением тепла. Так как средняя температура на Земле не высока, большинство процессов проходят с малым удельным выделением тепла и при небольших температурах. Соответственно и максимум энергии излучения таких процессов попадает в инфракрасный микроволновый диапазон. Инфракрасное излучение невидимо для человеческого глаза, но может быть обнаружено различными приемниками теплового излучения и тем или иным способом преобразовано в видимое изображение.

Тепловидение – это научно-техническое направление, изучающее физические основы, методы и приборы (тепловизоры), обеспечивающие возможность наблюдения слабонагретых объектов.

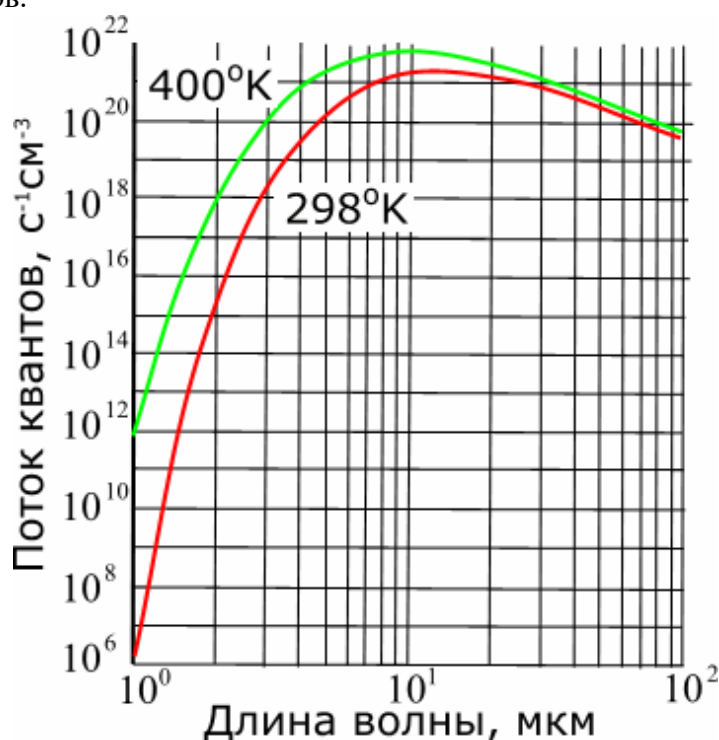


Рисунок 1 - Зависимость плотности потока квантов, испускаемых абсолютно черным телом при двух температурах, от длины волны.

Все материальные тела с температурой выше -273°C (0°K), излучают электромагнитное излучение, которое в соответствии с формулой Планка можно представить в виде, показанном на рис.1 (показаны зависимости эмиссии фотонов от длины волны при двух температурах абсолютно черного тела). При повышении температуры объектов увеличивается число испускаемых квантов излучения (ИК-излучение) при

фиксированной длине волны. Испускаемые кванты света, в том числе невидимые (инфракрасные) с длиной волны > 1 мкм могут быть зарегистрированы датчиками инфракрасных излучений (полупроводниковые фотонные датчики).

Тепловое изображение объектов формируется специальным инфракрасным объективом и регистрируется с помощью фокальной матрицы, установленной в фокальной плоскости объектива.

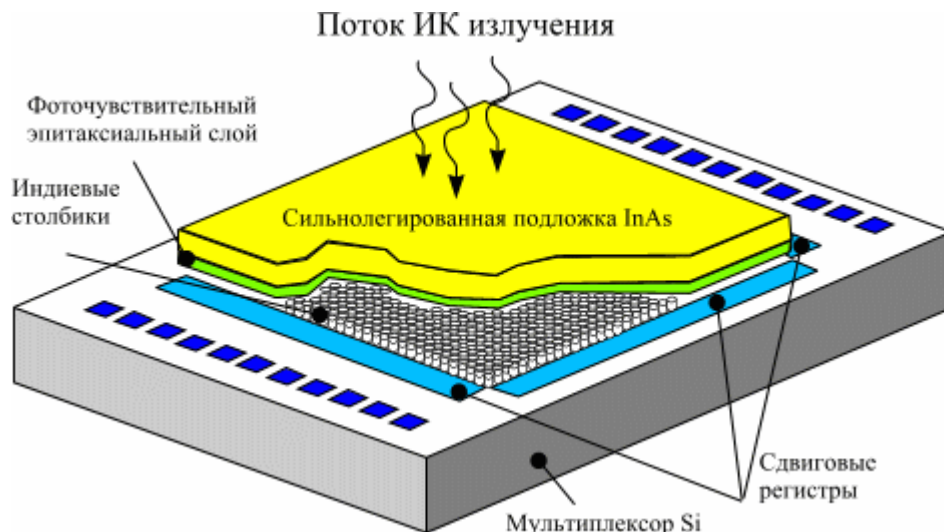


Рисунок 2 - Строение гибридной микросхемы

Спектральный диапазон предлагаемой матрицы составляет 2,65-3,05 мкм. С точки зрения разработчиков, для решения ряда термографических задач, это очень удобный спектральный диапазон. Это связано с тем, что для фотонных приемников отношение числа информационных падающих квантов излучения (например для $T=30$ °C, некоторой температуры поверхности кожи человека) и паразитных фоновых квантов (температура окружающего фона $T=25$ °C) увеличивается с уменьшением длины волны падающего излучения. Так для спектрального диапазона 8,5-12 мкм, характерного для приемников на основе соединений ртуть-кадмий-теллур отношение составляет 1,08, для диапазона 7,5-8 мкм (приемник на основе сверхрешеток AlGaAs/GaAs) - 1,1, для диапазона 4,5-5 мкм (приемники на основе InSb¹ и силицида платины) - 1,13, для диапазона 3,5-3,9 (приемники на основе InSb и силицида платины) - 1,23, для диапазона 2,65-3,05 мкм (матрица на основе InAs матрицы) - 1,3 и для диапазона 1,4-1,8 мкм - 1,6. В целом это дает возможность матрицам в коротковолновой области легче регистрировать малые температурные контрасты на объектах. Кроме того, с уменьшением длины волны падающего излучения уменьшается паразитный поток комнатного фона, что упрощает схемы считывания сигналов.

Элементы фокальной матрицы преобразуют кванты света в электрические заряды, которые считываются кремниевым мультиплексором (рис.2), усиливаются, предварительно обрабатываются электронной схемой и передаются в компьютер. После записи в памяти тепловизора информации о температурах точек объекта происходит создание изображения, в котором каждой точке с определенной температурой присваивается свой цвет: чем выше температура, тем ярче цвет. В результате на экране монитора получаем тепловизионное изображение объекта (термограмму).

¹ Антимонид Индия, полупроводник с проводимостью n-типа

2. Тепловизионный контроль электрооборудования

При тепловизионном контроле электрооборудования следует применять тепловизоры с разрешающей способностью 0,1...0,2°C. Это означает, что две точки объекта с разностью температуры 0,1..0,2°C будут отличаться цветом. Верхний предел температурного диапазона тепловизора должен быть не менее 200°C, нижний — около 0°C.

Оценка теплового состояния электрооборудования и токоведущих частей в зависимости от условий их работы и конструкции может осуществляться:

- по допустимым температурам нагрева;
- превышениям температуры;
- избыточной температуре.
- коэффициенту дефектности;
- динамике изменения температуры во времени;
- путем сравнения измеренных значений температуры объекта с другим, заведомо исправным оборудованием.

Превышение температуры - разность между измеренной температурой нагрева и температурой окружающего воздуха.

Наибольшие допустимые температуры нагрева $\Theta_{\text{доп}}$ и превышения температуры $\Delta\Theta_{\text{доп}}$ для некоторого оборудования, его токоведущих частей, контактов и контактных соединений приведены в табл. 2.1.

Избыточная температура - превышение измеренной температуры контролируемого узла над температурой аналогичных узлов других фаз, находящихся в одинаковых условиях.

Коэффициент дефектности - отношение измеренного превышения температуры контактного соединения к превышению температуры, измеренному на целом участке шины (провода), отстоящем от контактного соединения на расстоянии не менее 1 м.

Таблица 1 – Наибольшие допустимые температуры

Контролируемые узлы	$\Theta_{\text{доп}}, ^\circ\text{C}$	$\Delta\Theta_{\text{доп}}, ^\circ\text{C}$
Токоведущие неизолированные металлические части	120	80
Контакты из меди и ее сплавов	75	35
Аппаратные выводы из меди, алюминия и их сплавов	90	50
Болтовые контактные соединения	90	50
Предохранители на напряжение 3 кВ и выше	75	35
Встроенные ТТ: обмотки	-	10
магнитопровод	-	15
Жилы силовых кабелей в режиме нормальном/аварийном с изоляцией:		
-из полихлорвинила и полиэтилена	70/80	
-из сшитого полиэтилена	90/130	
-из резины	65	
-из пропитанной бумаги при напряжении, кВ:		
1 и 3	80/80	
6	65/75	
10	60	
20	55	
35	50	

Рассмотрим основные принципы тепловизионного контроля оборудования систем электроснабжения. Состояние *контактов и контактных соединений* оборудования оценивается по избыточной температуре при рабочих токах нагрузки:

$$I_{\text{раб}} = 0,3 \dots 0,6 I_{\text{ном}}$$

В качестве норматива используется значение температуры, приведенное к $0,5 I_{\text{ном}}$:

$$\Delta\Theta_{0,5} = \Delta\Theta_{\text{раб}} \left(\frac{0,5I_{\text{ном}}}{I_{\text{раб}}} \right)^2,$$

где $\Delta\Theta_{0,5}$ – избыточная температура при токе $0,5I_{\text{ном}}$

$\Delta\Theta_{\text{раб}}$ – избыточная температура при рабочем токе нагрузки.

Тепловизионный контроль при рабочих токах, меньших $0,3I_{\text{ном}}$, не способствует выявлению дефектов на ранней стадии их развития.

Степень неисправности контактов и контактных соединений оценивается следующим образом:

$\Delta\Theta_{0,5} = 5...10^{\circ}\text{C}$ - начальная степень неисправности, которую следует держать под контролем и принимать меры по ее устранению во время проведения ремонта, запланированного по графику;

$\Delta\Theta_{0,5} = 10...30^{\circ}\text{C}$ - развившийся дефект; следует принять меры по устранению неисправности при ближайшем выводе электрооборудования из работы;

$\Delta\Theta_{0,5} > 30^{\circ}\text{C}$ - аварийный дефект, требующий немедленного устранения.

Токоведущие части. При оценке теплового состояния токоведущих частей различают степени неисправности, исходя из следующих значений коэффициента дефектности:

до 1,2 - начальная степень неисправности, которую нужно держать под контролем;

1,2... 1,5 - развившийся дефект; следует принять меры по устранению неисправности при ближайшем выводе линии из работы;

более 1,5 - аварийный дефект; требуется немедленное устранение.

Силовые трансформаторы. Тепловизионный контроль трансформаторов напряжением 110 кВ и выше производится при решении вопроса о необходимости их капитального ремонта. Снимаются теплограммы поверхности бака трансформатора, элементов системы охлаждения, вводов и другие.

При анализе теплограмм:

- сравниваются между собой нагревы вводов разных фаз трансформатора;
- сравниваются нагревы исследуемого трансформатора с нагревами однотипных трансформаторов;
- проверяется динамика изменения нагревов во времени и в зависимости от нагрузки;
- определяются расположения мест локальных нагревов;
- сопоставляются места локальных нагревов с расположением элементов магнитопровода и обмоток;
- определяется эффективность работы систем охлаждения.

При тепловизионной съёмке силовых трансформаторов и АТ проверяются:

- вводы;
- баки;
- системы охлаждения (радиаторы, вентиляторы, маслонасосы);
- термосифонные фильтры (ТСФ);

- контактные соединения.

Тепловизионное обследование для силовых трансформаторов и автотрансформаторов является дополнительным видом диагностики к основным методам испытаний. Однако, достаточно легко и точно можно обнаружить следующие дефекты:

- нагревы внутренних контактных соединений обмоток НН с выводами трансформатора;
 - места болтового крепления колокола бака;
 - определить уровень масла в расширительном баке, выхлопной трубе и во вводах;
 - нарушение в работе систем охлаждения (вентиляторов, маслонасосов, циркуляции масла в радиаторах) и регенерации масла (термосифонных фильтров (ТСФ)).
- При использовании мелкозернистого силикагеля, шламообразования в фильтре, случайном закрытии шибер (затворки) на трубопроводе фильтра, при работе трансформатора в режиме холостого хода или малой нагрузки трансформатора (менее 50%) циркуляция масла в фильтре будет незначительна или отсутствовать вообще.

Наиболее распространённым дефектом, который может встретиться на практике, является образование воздушных пробок, как в самих вводах трансформатора, так и в баках встроенных трансформаторов тока, образующихся по вине ремонтного персонала при замене вводов, а так же сливе и доливке масла. При осмотре силового трансформатора, необходимо так же обращать внимание на образование аномальных зон нагрева на поверхности бака. Эти и другие возможные дефекты показаны на соответствующих термограммах.

Характерными дефектами для вводов являются увлажнение, образование проводящих отложений на внутренней поверхности фарфоровой покрышки ввода, снижение уровня масла. Развитие таких дефектов приводит к изменению $\tan \delta$ угла диэлектрических потерь основной изоляции. По мере развития дефекта появляются частичные разряды (ЧР) и в дальнейшем электрический пробой.

Маслонаполненные вводы. Состояние ввода оценивается по распределению температуры по высоте ввода. На рисунке 3 показан характер распределения температуры по высоте маслонаполненного ввода при нормальном его состоянии и некоторых дефектах.



Рисунок 3 - Характер распределения температуры по высоте маслонаполненного ввода.

нормальное распределение температуры (А); распределение температуры при наличии короткозамкнутого контура в маслорасширителе (Б); при перегреве внутренних контактных соединений (В); при понижении уровня масла (Г); при нарушении циркуляции

масла (разбухание бумажного остова на токоведущем стержне, шламообразование и т.п.) (Д).

Измерительные трансформаторы. Для оценки состояния внутренней изоляции измеряются температуры нагрева поверхностей фарфоровых покрышек, которые не должны иметь локальных нагревов, а значения температуры, измеренные в одинаковых зонах покрышек трех фаз, не должны отличаться между собой более чем на $0,3^{\circ}\text{C}$.

Аппараты защиты от перенапряжений. Признаками исправного состояния вентильного разрядника являются:

- одинаковый нагрев во всех фазах верхних элементов в местах расположения шунтирующих резисторов;
- практически одинаковое распределение температуры по элементам одной фазы разрядника; отличия температур должны находиться в пределах $0,5-5^{\circ}\text{C}$ в зависимости от количества элементов в разряднике.

Оценка состояния нелинейных ограничителей перенапряжений осуществляется путем пофазного сравнения температур, измеренных по высоте и периметру покрышки ограничителя. На покрышке не должно быть зон локального нагрева.

Конденсаторы. Температуры нагрева корпусов конденсаторов одинаковой мощности при одинаковой нагрузке не должны отличаться между собой более чем в 1,2 раза.

Силовые кабели. Температура нагрева токоведущих жил кабелей, измеренная в местах их подсоединения к аппаратам, не должна превышать допустимого значения.

Воздушные линии электропередачи. Оценка состояния контактных соединений алюминиевых и сталеалюминиевых проводов проводится по коэффициенту дефектности. Нормами устанавливаются следующие степени дефектов в зависимости от величины коэффициента дефектности:

- до 1,2 - начальная степень неисправности, которую нужно держать под контролем;
- 1,2... 1,5 - развившийся дефект; следует принять меры по устранению неисправности при ближайшем выводе линии из работы;
- более 1,5 - аварийный дефект; требуется немедленное устранение.

При проведении тепловизионного обследования, имеется возможность оценить состояние подвесной фарфоровой изоляции ЛЭП (контроль подвесной изоляции на подстанции не требуется), а так же опорных и проходных изоляторов ОРУ и ячеек КРУН подстанции.

Гирлянда подвесной линейной изоляции состоит из тарельчатых изоляторов, наибольшую температуру в которой имеют изоляторы, расположенные у фазного провода, а наименьшую - в зоне металлической заземлённой траверсы. Они могут быть - исправные, нулевые и изоляторы с изменяющимися диэлектрическими свойствами т.е у которых значение температуры зависит от поверхностных токов утечки, состояния цементной армировки, наличием механических повреждений фарфора и т.д. Пробой изолятора в гирлянде приводит к увеличению напряжения на исправных изоляторах, что ведёт к повышению их температуры, а на пробитых температура снижается до температуры окружающей среды т.к напряжение равно нулю (пробитые изоляторы выглядят более тёмными на термограммах). Кроме того, повышенные нагревы изоляторов в гирлянде могут быть вызваны их загрязнением выбросами промышленных предприятий. При малом числе

изоляторов в гирлянде или большом числе пробитых эффективность тепловизионного контроля существенно возрастает.

У проходных изоляторов, при появлении дефекта, через него начинает протекать ток, что вызывает нагрев. У опорных изоляторов разъединителей и шинных мостов основным дефектом является нарушение технологии запечки изоляторов, приводящее к продольным трещинам и пробою. На практике можно встретить увлажнение цементной армировки изолятора. В результате увеличивается ток утечки, протекающего через неё и "разогрев" армировки с повышением температуры. При исправном изоляторе, температуры фланца и фарфора почти одинаковы и превышают температуру окружающего воздуха не более чем на 0,5-0,7 град. Перегрев загрязнённого изолятора может достигать 2 град. Чаще всего повреждения изоляторов происходит в межсезонье, когда в течение суток могут наблюдаться значительные перепады температуры с плюса на минус.

3. Преимущества использования ИК – контроля

В заключение следует отметить основные преимущества тепловизионного контроля перед традиционными методами оценки состояния оборудования.

Тепловизионный контроль производится в рабочем состоянии оборудования, то есть под нагрузкой и напряжением. Результаты обследования в таком состоянии являются более достоверными, чем результаты обследований после снятия нагрузки или напряжения. Так, например, для гирлянды изоляторов нагрузкой является не только напряжение, но и тяжение провода. Замеченное тепловизором повреждение изолятора гирлянды может оказаться незамеченным при осмотре гирлянды после снятия с опоры.

Тепловизионный контроль проводится без отключения оборудования и в любое время. Поэтому тепловизионное обследование оборудования не мешает предприятию выполнять свою основную задачу по передаче и распределению электроэнергии.

Поскольку повреждения выявляются на работающем оборудовании, то имеется запас времени для подготовки вывода дефектного оборудования в ремонт, не отключая электроустановку и сокращая время ремонта до минимума.

Наряду с другими видами современной диагностики, в частности с хроматографическим анализом трансформаторного масла, тепловизионный контроль позволяет:

- предупредить возникновение аварийных ситуаций в электрооборудовании и тем самым повысить надёжность электроснабжения потребителей;
- значительно снизить затраты на ремонты, поскольку повреждения выявляются на ранних стадиях;
- оценить действительное состояние электрооборудования с определением запаса его работоспособности, что особенно актуально для оборудования, отработавшего 15 лет и более.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Что такое тепловидение?
2. Каким образом проводится тепловизионный контроль электрооборудования?
3. Основные преимущества тепловизионного контроля.

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

8.1. Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

8.1.1. Перечень основной литературы:

1. Зарандия, Ж.А. Основные вопросы технической эксплуатации электрооборудования : учебное пособие / Ж.А. Зарандия, Е.А. Иванов ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тамбовский государственный технический университет». - Тамбов : Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. - 129 с. : ил.,табл., схем. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-8265-1386-6 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=445120>

8.1.2. Перечень дополнительной литературы:

- 1 Привалов, Е.Е. Эксплуатация линий электропередач систем электроснабжения: учебное пособие / Е.Е. Привалов. – 2-е изд., стер. – М.; Берлин: Директ-Медиа, 2017. – 214 с. Режим доступа: http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=481650

8.2. Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

1. Методические рекомендации для подготовки к практическим работам.
2. Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов.
3. Методические рекомендации по выполнению контрольной работы.

8.3. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

1. <http://www.biblioclub.ru> -ЭБС "Университетская библиотека онлайн"
2. <http://www.iprbookshop.ru/> - Электронно- библиотечная система IPRbooks

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания
по выполнению контрольной работы
по дисциплине «ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ» для
студентов направления подготовки
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Пятигорск 2026 г.

№ п/п	Содержание	Стр.
	Введение	
1.	Цель и задачи изучения дисциплины	
2.	Оборудование и материалы	
3.	Наименование контрольных работ	
4.	Список контрольных работ	
5.1	Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины	

Введение

Контрольная работа создаёт оптимальные дидактические условия для деятельностного освоения студентами содержания и методологии изучаемой дисциплины «Эксплуатация электроэнергетических систем». Контрольные работы проводятся с целью выработки практических умений и приобретения навыков в решении задач, отработки упражнений, выполнении чертежей, производстве расчётов и т.п.

Целью контрольных работ является формирование практических умений – профессиональных (выполнять определённые действия, операции, необходимые в последующем в профессиональной деятельности) или учебных, необходимых в последующей учебной деятельности по общепрофессиональным и профессиональным дисциплинам.

Библиографический список содержит сведения о справочной литературе и дополнительных изданиях, необходимых для углубленного изучения отдельных вопросов.

3.МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Написание контрольной работы - это своеобразный итог овладения теорией.

Предлагается 10 вариантов контрольных работ, в которых предусмотрены как теоретические задания, так и практические. Вопросы сформулированы таким образом, что требуют мыслительного поиска ответов в литературе и в реальной жизни. От студента требуется раскрытие наиболее важных теоретических положений.

Практическое задание предполагает решение конкретных задач на основе изученного по всему курсу, умения применять теоретические знания на практике.

Вариант, по которому студент должен написать контрольную работу, определяется в соответствии с начальной буквой фамилии студента.

Начальная буква фамилии студента	Номера вариантов	Начальная буква фамилии студента	Номера вариантов
А Р Ц Я Ю	1, 7	Ж Н Щ Е К	4, 10
Б П Х У З	2, 8	Э Л О С У	5, 9
В М Ф Ш	3, 9	Г Д И Т Ч	6,8

Контрольная работа выполняется на листах А4 с титульным листом и представляется ведущему преподавателю данной дисциплины.

Задание на контрольную работу
Теоретические вопросы к контрольной работе

Вариант № 1

1. Что такое стрела провеса провода?
2. Назвать относительные и абсолютные методы отыскания повреждений.
3. Какова периодичность осмотра трансформаторов?
4. Какова периодичность осмотров РУ?

Вариант № 2

1. Как выполняются соединения проводов ВЛ?
2. Какова периодичность осмотра КЛ?
3. Назвать и охарактеризовать основные режимы работы трансформаторов.
4. Можно ли проводить ремонтные работы в схеме, отключенной силовым выключателем?

Вариант № 3

1. Как выполняются соединения изолированных проводов?
2. Каково назначение концевой муфты?
3. По какому значению тока (мощности) производится преобразование реального графика нагрузки в эквивалентный по тепловому воздействию двухступенчатый график?
4. Какой коммутационный аппарат служит для создания видимого разрыва электрической цепи при выполнении ремонтных работ?

Вариант № 4

1. Что такое охранная зона ВЛ?
2. Какой прибор нужен для определения характера повреждения кабеля?
3. Какая изоляция сушится в трансформаторе после его ремонта, способы сушки изоляции?
4. Какое допускается переходное сопротивление разборных контактных соединений шин РУ?

Вариант № 5

1. Какова периодичность осмотра ВЛ?
2. Какое сопротивление изоляции кабеля на напряжение до 1 кВ считается нормальным?
3. Какую роль в трансформаторе выполняют термосифонный фильтр, азотная и пленочная защиты масла?
4. Какой прибор наиболее удобен для измерения температуры контактных соединений?

Вариант №6

1. При какой температуре на проводах ВЛ происходит гололедообразование?
2. Что такое разделка кабеля?
3. Какая допускается температура наиболее нагретой точки обмотки при систематической и аварийной перегрузках трансформаторов?
4. Допускается ли размыкание вторичной обмотки ТТ под нагрузкой?

Вариант № 7

1. В чем опасность гололеда и каковы меры борьбы с ним?
2. Какие методы применяются для отыскания повреждений в кабелях?
3. Какая допускается температура масла при систематической и аварийной перегрузках трансформаторов?
4. Изоляция какого оборудования испытывается выпрямленным напряжением?

Вариант № 8

1. Как отыскивается место повреждения в сети с большими токами замыкания на землю?

2. Какая допускается перегрузка кабелей с различной изоляцией, различного напряжения на период ликвидации аварии?
3. В каких единицах измеряется износ изоляции трансформатора?
4. С какой целью заземляются вторичные обмотки измерительных трансформаторов?

Вариант № 9

1. Как отыскивается место повреждения в разветвленной распределительной сети?
2. Охарактеризовать основные способы прокладки кабелей.
3. Как и каким прибором определяется коэффициент абсорбции изоляции?
4. Какое допускается переходное сопротивление болтовых контактов ЗУ?

Вариант № 10

1. Как отыскивается место замыкания на землю в сети с изолированной нейтралью?
2. Какие муфты применяются для соединения кабелей?
3. Привести схему испытания изоляции повышенным напряжением.
4. Что такое теплограмма объекта?

Перед решением каждой задачи необходимо проработать соответствующий теоретический материал и методические указания к решению задачи.

Студенты допускаются к экзамену после выполнения контрольной работы, ее рецензирования, исправления замечаний и защиты.

Задача 1. Воздушная линия электропередачи (ВЛ) длиной L , выполненная сталеалюминевыми проводами сечением F , проходит в районе интенсивного гололедообразования. Плавка гололеда на проводах ВЛ может осуществляться от шин низкого напряжения 6... 10 кВ питающей линию крупной узловой подстанции.

Рассчитать мощность S и напряжение U , требуемые для плавки гололеда переменным и выпрямленным током. Рекомендовать для своего варианта ВЛ конкретный способ плавки гололеда.

Варианты заданий принять по табл. 1.1 в соответствии с последней цифрой шифра.

Таблица 1.1

Вариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
L , км	40	30	30	25	25	55	55	60	70	65
F , мм ²	70	70	95	95	120	150	185	240	300	400

Методические указания к решению задачи. Принципиальные схемы плавки гололеда переменным и выпрямленным током приведены на рис. 1.1. При плавке гололеда переменным током (рис. 1.1,а) ВЛ подключается к шинам 6... 10 кВ непосредственно. При плавке гололеда выпрямленным током (рис. 1.1,б) ВЛ подключается к шинам 6... 10 кВ через выпрямитель UZ . В обоих случаях на другом конце провода ВЛ замыкаются накоротко.

Ток плавки $I_{дл}$ рекомендуется принимать равным $1,0 \dots 2,0 I_{доп}$. Величина допустимого длительного тока $I_{доп}$ и удельных сопротивлений r_0 и JS_0 для проводов различных сечений приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.2

F , мм ²	70	95	120	150	185	240	300	400
r_0 , Ом/км	0,43	0,31	0,25	0,2	0,16	0,12	0,1	0,07
$I_{доп}$, А	265	330	390	450	510	610	690	825

Примечание: Для проводов всех сечений принять $x_0=0,4$ Ом/км

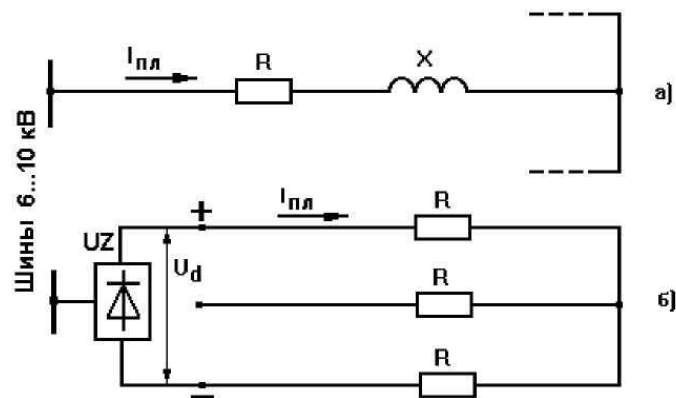


Рисунок 1.1 - Принципиальные схемы плавки гололеда переменным (а) и постоянным (б) током

Плавка гололеда переменным током (рис. 1.1, а).

1. Принять определенную величину тока плавки гололеда $I_{пл}$.
2. Определить сопротивления проводов ВЛ (R , X и Z).
3. По величине тока $I_{пл}$ и полному сопротивлению Z вычислить линейное напряжение источника питания U ; принять ближайшее номинальное напряжение.
4. По величинам $I_{пл}$ и U определить полную трехфазную мощность S , требуемую для плавки гололеда.

Плавка гололеда выпрямленным током (рис. 1.1, б).

1. Принять такую же величину тока плавки гололеда $I_{пл}$.
2. Определить активное сопротивление проводов R .
3. По принятой величине тока $I_{пл}$ и сопротивлению R вычислить напряжение на выходе выпрямителя U_d .
4. По величинам $I_{пл}$ и U_d рассчитать мощность на выходе выпрямителя P_d .
5. При определении мощности и линейного напряжения на входе выпрямителя использовать следующие приближенные выражения: $S \equiv P_d$, $U \equiv U_d \sqrt{2}$; принять ближайшее номинальное напряжение.

Исходя из величины мощности S , требуемой для плавки гололеда, рекомендовать для своего варианта конкретный способ плавки.

Задача 2. От главной понижающей подстанции промышленного предприятия к распределительному пункту (РП) проложена T лет назад кабельная линия напряжением $U = 10$ кВ, состоящая из n параллельных кабелей с алюминиевыми жилами сечением F . В настоящее время расчетная нагрузка РП составляет S_p .

Оценить допустимость перегрузки кабелей в нормальном режиме и при аварийном отключении одного из кабелей. При недопустимой перегрузке кабелей дать обоснованные расчетом рекомендации по увеличению количества кабелей.

Варианты заданий принять по табл. 2.1 и 2.2 в соответствии с последней и предпоследней цифрой шифра соответственно.

Таблица 2.1

Вариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
S_p , МВА	7	9	12	11	13	17	8	12	14	14
F , мм ²	70	95	120	150	185	240	70	95	120	150
n , шт.	4	4	4	3	3	3	5	5	5	4

Таблица 2.2

Вариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
T , лет	5	10	16	19	8	12	6	18	17	20
Изоляция	БМ	П	В	Р	Пв	П	Пв	Р	БМ	В
Способ прокладки	Тр.	Откр.	Тр.	Откр.	Откр.	Тр.	Откр.	Откр.	Тр.	Тр.

Примечание. Изоляция: Б - бумага, пропитанная маслोकанифольным составом; В - поливинилхлорид; П - полиэтилен; Пв - сшитый полиэтилен; Р - резина. Способ прокладки: тр. - в земляной траншее; откр. - открыто.

Методические указания к решению задачи.

По расчетной нагрузке S_p и напряжению U определяется расчетный ток I_p . По табл. 2.3 определяется допустимый длительный ток одиночного кабеля $I_{доп}$ в соответствии с его изоляцией и способом прокладки.

Таблица 2.3

F, мм ²	70	95	120	150	185	240
БМ	<u>130</u>	<u>155</u>	<u>185</u>	<u>210</u>	<u>235</u>	<u>270</u>
	165	205	240	275	310	355
П, В, Р	<u>140</u>	<u>170</u>	<u>200</u>	<u>235</u>	<u>270</u>	<u>320</u>
	210	255	295	335	385	430
Пв	<u>235</u>	<u>285</u>	<u>330</u>	<u>370</u>	<u>425</u>	<u>505</u>
	210	250	280	320	360	415

Примечание. В числителе указан $I_{доп}$ при открытой прокладке кабелей, в знаменателе - при прокладке в земляной траншее.

При параллельной прокладке кабелей на величину $I_{доп}$ вводится поправочный коэффициент k_n , учитывающий количество n кабелей (табл. 2.4).

Таблица 2.4.

n, шт	1	2	3	4	5	6
k_n , о.е.	<u>1</u>	<u>0,98</u>	<u>0,96</u>	<u>0,95</u>	<u>0,94</u>	<u>0,93</u>
	1	0,9	0,85	0,8	0,78	0,75

Примечание. В числителе указан k_n при открытой прокладке кабелей, в знаменателе - при прокладке в земляной траншее. При открытой прокладке параллельных кабелей в количестве более шести принимать $k_n = 0,92$.

Проверка допустимости нагрузки кабелей в нормальном режиме работы выполняется по условию

$$n k_n I_{доп} \geq I_p. \quad (2.1)$$

При невыполнении этого условия дать рекомендации по увеличению количества кабелей. Для нового количества кабелей и повторить проверку. Необходимо иметь в виду, что при прокладке кабелей в траншее дополнительные кабели будут проложены в новой траншее.

При отключении одного из кабелей допускаются следующие аварийные перегрузки $k_{пер}$ оставшихся в работе кабелей:

$k_{пер} = 1,3$ - для кабелей с бумажной пропитанной изоляцией;

$k_{пер} = 1,23$ (1,27) - для кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена при прокладке в земле (воздухе);

$k_{пер} = 1,18$ - для кабелей с резиновой изоляцией;

$k_{пер} = 1,15$ - для кабелей с изоляцией из поливинилхлорида и полиэтилена.

Для кабелей с любой изоляцией, находящихся в эксплуатации более 15 лет, допустимая перегрузка должна быть снижена до 10% ($k_{пер} = 1,1$).

Допустимость перегрузки кабелей в аварийном режиме проверяется по условию

$$(n-1) k_{n-1} k_{пер} I_{доп} \geq I_p. \quad (2.2)$$

Поправочный коэффициент k_{n-1} определяется по табл. 2.4 для количества кабелей $n-1$. При невыполнении условия (2.2) дать рекомендации по увеличению количества кабелей. Для нового количества кабелей и повторить проверку.

В качестве аварийного следует принимать наиболее тяжелый режим. Если по условиям (2.1) и (2.2) количество кабелей следует увеличить, то в качестве аварийного режима принимать отключение дополнительно проложенного нового кабеля.

Задача 3. Для двухступенчатого суточного графика нагрузки трансформатора (рис. 3.1,а) требуется:

- рассчитать переходный тепловой режим трансформатора;
- оценить допустимость систематической перегрузки;
- оценить относительный износ витковой изоляции за сутки.

Варианты заданий принять по табл. 3.1 и 3.2 в соответствии с последней и предпоследней цифрой шифра соответственно.

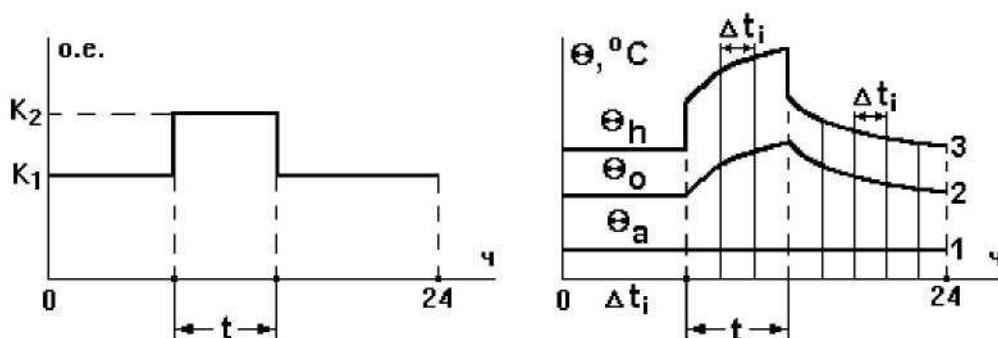


Рисунок 3.1 - Двухступенчатый суточный график нагрузки (а) и переходный тепловой режим в трансформаторе (б)

Таблица 3.1

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$K_{1, \text{о.е.}}$	0,95	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6	0,55	0,5
$K_{2, \text{о.е.}}$	1,5	1,45	1,4	1,35	1,3	1,3	1,35	1,4	1,45	1,5
$t, \text{ч}$	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6

Таблица 3.2

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Гр-тор	ТМН	ТДН	ТМН	ТДН	ТМН	ТДН	ТМН	ТДН	ТМН	ТДН
Условия	Зима	Лето	Год	Зима	Лето	Год	Зима	Лето	Год	Зима

Методические указания к решению задачи. На рис. 3.1, б показан переходный тепловой режим в трансформаторе при его работе по заданному двухступенчатому графику нагрузки (рис. 3.1,а).

Температура воздуха Θ_a в течение суток принимается неизменной и равной эквивалентной температуре (прямая 1). Изменение температуры масла Θ_o на выходе из обмотки иллюстрируется зависимостью 2; изменение температуры наиболее нагретой точки обмотки Θ_h - зависимостью 3.

Значения эквивалентных годовых, зимних и летних температур для городов Северо-Западного региона приведены в табл. 3.3. Студент выбирает температуру в соответствии с местом проживания и заданием (год, зима, лето).

В установившемся тепловом режиме с нагрузкой K превышение температуры масла на выходе из обмотки над температурой воздуха определяется по выражению

$$\Delta\Theta_{\text{oa}(K)} = \Delta\Theta_{\text{oar}}[(1+RK_2)/(1+R)]^x. \quad (3.1)$$

Таблица 3.3

Населенный пункт	Эквивалентная температура воздуха Θ_a , °C		
	годовая	зимняя	летняя
Архангельск	5,8	-11,4	14,0
Вологда	7,4	-10,8	15,5
Воркута	0,5	-19,4	9,4
Калининград	9,9	-2,4	16,5
Кандалакша	4,5	-10,6	12,5
Кировск	2,9	-11,3	10,9
Мурманск	3,4	-9,5	10,7
Нарьян-Мар	2,0	-15,7	10,3
Новгород	8,3	-7,6	16,0
Петрозаводск	7,1	-8,8	15,1
Псков	8,8	-6,5	16,3
Санкт-Петербург	8,6	-6,8	16,4
Сыктывкар	6,5	-14,1	15,0
Тверь	8,1	-9,1	15,9
Череповец	7,7	-10,2	15,8

По этому выражению вычисляются значения $\Delta\Theta_{oa(K1)}$ и $\Delta\Theta_{oa(K2)}$, соответствующие установившемуся тепловому режиму трансформатора, работающего с нагрузкой K1 или K2. Необходимые числовые данные приведены в табл. 3.4.

Изменение превышения температуры масла на выходе из обмотки над температурой воздуха в переходном тепловом режиме при изменении нагрузки от значения K до значения K2 определяется экспоненциальной зависимостью

$$\Delta\Theta_{oa}(t) = \Delta\Theta_{oa(K1)} + [\Delta\Theta_{oa(K2)} - \Delta\Theta_{oa(K1)}][1 - \exp(-t/\tau_o)]. \quad (3.2)$$

Для значений $t = 1, 2, 3 \dots t$ по этому выражению строится зависимость $\Delta\Theta_{oa}(t)$ на интервале перегрузки t , определяется превышение температуры масла на выходе из обмотки над температурой воздуха к концу интервала перегрузки $\Delta\Theta_{oat}$ и температура масла на выходе из обмотки к концу интервала перегрузки

$$\Theta_{ot} = \Theta_a + \Delta\Theta_{oat}. \quad (3.3)$$

Изменение превышения температуры масла на выходе из обмотки над температурой воздуха в интервале после перегрузки определяется экспоненциальной зависимостью

$$\Delta\Theta_{oa}(t) = \Delta\Theta_{oa(K1)} + [\Delta\Theta_{oat} - \Delta\Theta_{oa(K1)}][\exp(-t/\tau_o)]. \quad (3.4)$$

Для значений $t = 1, 2, 3 \dots 3\tau_o$ по этому выражению строится зависимость $\Theta_{oa}(t)$ на интервале после перегрузки. Считается, что через время, равное $3\tau_o$, переходный тепловой процесс полностью затухает.

При изменении нагрузки изменение температуры обмотки происходит намного быстрее, чем изменение температуры масла, поскольку тепловая постоянная времени обмоток значительно меньше τ_o . С некоторым приближением можно считать, что при скачкообразном изменении нагрузки изменение температуры наиболее нагретой точки обмотки происходит мгновенно.

В установившемся тепловом режиме с нагрузкой K1 превышение температуры наиболее нагретой точки обмотки над температурой масла на выходе из обмотки определяется по выражению

$$\Delta\Theta_{ho(K1)} = \Delta\Theta_{hor} K_1^y. \quad (3.5)$$

По аналогичному выражению вычисляется значение $\Delta\Theta_{ho(K2)}$, соответствующее нагрузке K2.

Таблица 3.4

Название показателя	Обозн.	ТМН	ТДН
Показатель степени масла	x	0,8	0,9
Показатель степени обмотки	y	1,6	1,6
Отношение $\Delta P_{K3}/\Delta P_{XX}$	R	5	6
Тепловая постоянная времени масла	τ_o , ч	3	2,5
Превышение температуры масла на выходе из обмотки над температурой воздуха	$\Delta\Theta_{oar}$, °C	55	52
Превышение температуры наиболее нагретой точки в верхней части обмотки над температурой масла на выходе из обмотки	$\Delta\Theta_{hor}$, °C	23	26
Предельная температура масла на выходе из обмотки	Θ_{omax} , °C	105	105
Предельная температура наиболее нагретой точки обмотки	Θ_{hmax} , °C	140	140
Температура наиболее нагретой точки обмотки, при которой относительный износ изоляции равен единице	°C	98	98

Примечание. Индексы h, o и a соответствуют верхней (high) части обмотки, маслу (oil) и воздуху (air) соответственно. Индекс г соответствует номинальному (rated) значению параметра.

Дальнейшее изменение температуры наиболее нагретой точки обмотки в интервале перегрузки t определяется изменением температуры масла. Экспоненты увеличения температуры наиболее нагретой точки обмотки Θ_h и масла Θ_o идут параллельно (рис. 3.1,6). Температура наиболее нагретой точки обмотки к концу интервала перегрузки составит

$$\Theta_{ht} = \Theta_{ot} + \Delta\Theta_{ho(K2)}. \quad (3.6)$$

При скачкообразном уменьшении нагрузки до значения K_1 температура наиболее нагретой точки обмотки мгновенно уменьшается на величину $\Delta\Theta_{ho(K1)}$ и в дальнейшем экспоненты уменьшения температуры наиболее нагретой точки обмотки и масла идут параллельно (рис. 3.1,6).

Допустимость систематической перегрузки трансформатора оценивается сопоставлением рассчитанных к концу интервала перегрузки температур наиболее нагретой точки обмотки Θ_{ht} и масла на выходе из обмотки Θ_{ot} с предельными значениями этих температур (табл. 3.4).

Для определения термического износа изоляции следует участки изменения температуры наиболее нагретой точки обмотки Θ_h разбить на интервалы Δt_i , в которых изменение температуры Θ_h можно считать линейным (рис. 3.1,6). На каждом из таких интервалов изменение Θ_h заменяется средним значением Θ_{hi} . Участок с неизменной температурой Θ_h , предшествующий перегрузке, считается одним интервалом Δt_i .

Износ изоляции за сутки определяется в соответствии с 6-градусным правилом старения изоляции по выражению

$$V = \frac{1}{24} \sum_i \Delta t_i 2^{(\Theta_{hi} - 98)/6}. \quad (3.7)$$

Размерность износа изоляции - «нормальные» сутки. Одни «нормальные» сутки соответствуют износу изоляции за сутки при работе трансформатора с таким постоянным графиком нагрузки, при котором температура наиболее нагретой точки обмотки $\Theta_h = 98^\circ\text{C}$.

Пример расчета Тепловые режимы и нагрузочная способность трансформаторов

2.1. Превышение температуры и масла в установившемся состоянии

Стандартом 14209-85 установлены следующие температуры и превышения температуры частей трансформатора при номинальных условиях.

Превышение температуры масла в верхних слоях над температурой охлаждающей среды для трансформаторов с системой охлаждения М и Д составляет $\theta = 60(55)^{\circ}\text{C}$; для систем охлаждения Ц и ДЦ - $\theta = 40^{\circ}\text{C}$;

Номинальная температура охлаждающей среды $\vartheta_{охл} = +20^{\circ}\text{C}$.

Для указанных условий определяются превышения температуры обмотки в наиболее нагретой точке над температурой масла для трансформаторов с системами охлаждения $M_p D$ - $\theta_{мнтв} = 18(23)$; а для трансформаторов с системами охлаждения $Ц_p ДЦ$ - $\theta_{мнтв} = 38^{\circ}\text{C}$.

Условная температура обмотки в наиболее нагретой точке, при которой износ изоляции класса А равен 1, что соответствует номинальному сроку службы трансформатора, $\vartheta_{ннт}^{ном} = 98^{\circ}\text{C}$.

Температура в наиболее нагретой точке:

$$\vartheta_{ннт} = \vartheta_{охл} + \theta_m + \theta_{ннт.м.} \quad (2.1)$$

Для установившегося режима работы превышение температуры масла над температурой охлаждающей среды может быть определено выражением [3]:

$$\theta_m = \theta_{м.ном} \left(\frac{1 + dK^2}{1 + d} \right)^x, \quad (2.2)$$

где $d = P_{K3} / P_{XX}$ – отношение потерь XX к потерям КЗ при номинальной нагрузке;

$K = S / S_{ном}$ – относительная нагрузка трансформатора.

Превышение температуры обмотки в наиболее нагретой точке над температурой масла в верхних слоях при относительной нагрузке K в установившемся режиме может быть определено из выражения

$$\theta_{ннт.м.} = \theta_{ннт.м.ном} K^y. \quad (2.3)$$

Значения показателей x и y в выражениях 2.2 и 2.3 зависят от системы охлаждения (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Система охлаждения	М и Д	Ц и ДЦ
x	0,9	1,0
y	1,6	1,8

Пример 2.1. Определить температуру обмотки трансформатора в наиболее нагретой точке для следующих исходных данных:

температура окружающей среды $\vartheta_0 = 25^{\circ}\text{C}$, коэффициент загрузки трансформатора $K = 0,8$. Система охлаждения Д.

Решение. Из выражения (2.2)

$$\theta_m = 55 \left(\frac{1 + 5 \times 0,8^2}{1 + 5} \right)^{0,9} = 39,9.$$

По формуле 2.3:

$$\theta_{ннтм} = 23 \cdot 0,8^{1,6} = 16,1;$$

$$\vartheta_{ннт} = \vartheta_0 + \theta_{\text{м}} + \theta_{ннтм} = 25 + 39,9 + 16,1 = 81^{\circ}\text{C}.$$

2.2 Превышение температуры масла и обмотки трансформатора в переходном режиме

Практически нагрузка трансформаторов не остается неизменной. Суточный график нагрузки может быть представлен ступенчатым, с нагрузками K_i и продолжительностью ступеней Δt_i . Количество ступеней выбирается в зависимости от требуемой точности расчета и особенностей фактического графика нагрузки.

При известном значении начального превышения температуры масла θ_0 (в начале первой ступени), можно определить конечные значения $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n$ для каждой ступени из следующих выражений:

$$\left. \begin{aligned} \theta_1 &= \theta_0 + (\theta_{y1} - \theta_0) \left(1 - e^{-\frac{\Delta t_1}{T}}\right); \\ \theta_2 &= \theta_1 + (\theta_{y2} - \theta_1) \left(1 - e^{-\frac{\Delta t_2}{T}}\right); \\ &\dots \\ \theta_n &= \theta_{n-1} + (\theta_{yn} - \theta_{n-1}) \left(1 - e^{-\frac{\Delta t_n}{T}}\right), \end{aligned} \right\} \quad (2.4)$$

где $\theta_{y1}, \theta_{y2}, \dots, \theta_{yn}$ - превышение температуры масла над температурой охлаждающей среды в установившемся режиме при нагрузках $K_1, K_2, \dots, K_n$;

T – тепловая постоянная времени трансформатора. При отсутствии данных завода-изготовителя для трансформаторов, выпущенных после 1975г., следует принимать: $T = 3$ ч для трансформаторов с системами охлаждения Ц и ДЦ.

Тепловая постоянная времени обмотки $T_{об}$ значительно меньше приведенных выше значений постоянных времени трансформатора T . Согласно ГОСТ 14209-85 рекомендуется в расчетах по определению температуры наиболее нагретой точки обмотки при продолжительности ступени нагрузки более 0,5 ч принимать, что превышение температуры наиболее нагретой точки обмотки над температурой масла $\theta_{ннтм}$ устанавливается мгновенно.

Пример 2.2. Определить максимальную температуру наиболее нагретой точки обмотки трансформатора для графика нагрузки приведенного на рис. 2.1. Температура окружающей среды $\vartheta_{окр} = 20^{\circ}\text{C}$, а начальное превышение температуры масла составляет $\theta_{нач} = 15^{\circ}\text{C}$. Исходное превышение температуры наиболее нагретой точки трансформатора $\theta_{ннт} = 3,2^{\circ}\text{C}$. Система охлаждения трансформатора Д.

Решение. По формуле 2.2: $\theta_{\text{м}y1} = 55 \left(\frac{1 + 5 \cdot 0,4^2}{1 + 5} \right)^{0,9} = 18,6^{\circ}\text{C};$

$$\theta_{\text{м}y2} = 27,9^{\circ}\text{C}; \quad \theta_{\text{м}y3} = 37,9^{\circ}\text{C}.$$

По формуле 2.3: $\theta_{\text{ннт}1} = 23 \cdot 0,4^{1,6} = 5,3^{\circ}\text{C}; \quad \theta_{\text{ннт}2} = 10,2^{\circ}\text{C};$

$$\theta_{\text{ннт}3} = 16,1^{\circ}\text{C}.$$

Из выражений 2.4:

$$\theta_{м1}=15+(18,6-15)(1-e^{-\frac{2}{3}})=16,75^{\circ}C;$$

$$\theta_{м2}=16,75+(27,9-16,75)(1-e^{-\frac{4}{3}})=25^{\circ}C;$$

$$\theta_{м3}=25+(37,9-25)(1-e^{-\frac{2}{3}})=25+7,25=31,27^{\circ}C.$$

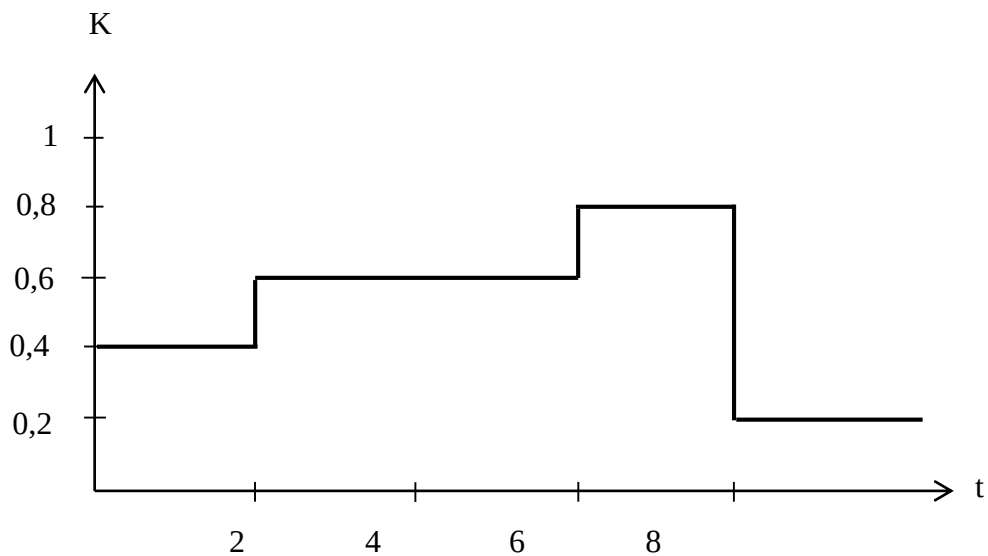


Рис. 2.1. График нагрузки трансформатора

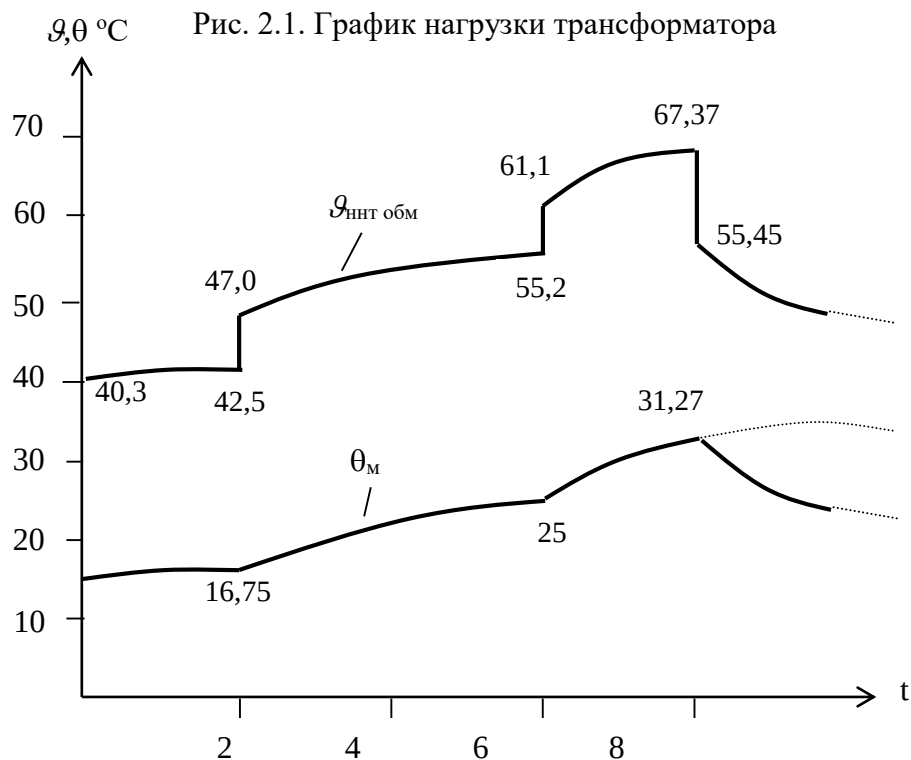


Рис. 2.2. Изменение температуры наиболее нагретой точки обмотки трансформатора
Максимальная температура наиболее нагретой точки в конце третьей ступени нагрузки $\theta_{ннт\ max} = 20+31,27+16,1 = 67,37^{\circ}C$.

2.3. Тепловое старение изоляции, аварийные и систематические перегрузки трансформаторов

2.3.1. Тепловое старение изоляции трансформаторов

При повышении температуры изоляции в соответствии с законом Аррениуса ускоряются химические реакции (главным образом окислительные). Зависимость среднего срока службы изоляции класса А от температуры при изменении последней в пределах от 80 до 140°C может быть представлена следующей функцией

$$V = Ae^{-a\vartheta_{\text{ннт}}}, \quad (2.6)$$

где A и a – постоянные, зависящие от вида изоляции;

ϑ - температура в наиболее нагретой точке.

Относительный срок службы изоляции:

$$V_* = \frac{V}{V_{\text{ном}}} = e^{-a(\vartheta - \vartheta_{\text{ном}})}. \quad (2.7)$$

Величина, обратная относительному сроку службы, называется относительным износом изоляции:

$$F_* = e^{a(\vartheta - \vartheta_{\text{ном}})} = 2^{a(\vartheta - \vartheta_{\text{ном}})/0,693} = 2^{(\vartheta - \vartheta_{\text{ном}})/\Delta}; \quad (2.8)$$

где $1/0,693 = \ln e / \ln 2$; $\Delta = 0,693 / a$.

При оценке процессов старения изоляции применяют шестиградусное правило. Это означает, что при изменении температуры на каждые 6°C относительный износ и соответственно срок службы изоляции изменяются в два раза.

Постоянная Δ применяется равной 6°C.

$$\Delta = 0,693 / a = 0,693/0,1155 = 6^\circ\text{C}.$$

При температуре изоляции $\vartheta_{\text{ном}} = 98^\circ\text{C}$ относительный износ изоляции равен единице.

Износ изоляции при температуре ϑ за время t может быть определен:

$$F = F_* t. \quad (2.9)$$

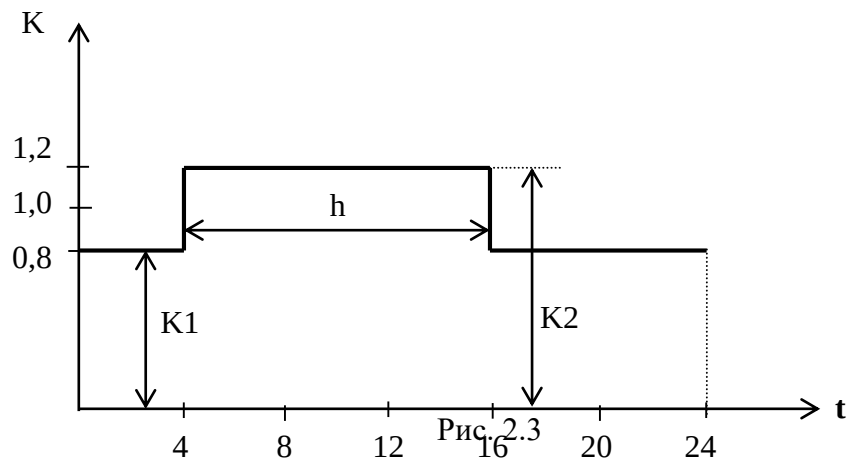
Суточный износ изоляции при известном графике изменения температуры можно определить, как сумму износов на участках, в пределах которых температуру можно считать неизменной:

$$F_{\text{сум}} = \sum_{i=1}^n F_* t_i. \quad (2.10)$$

Износом изоляции на участках, где температура обмотки меньше 80°C можно пренебрегать.

Пример 2.3.

Определить изменение температуры наиболее нагретой точки обмотки трансформатора и суточный износ изоляции, для приведенного на рис. 2.3. двухступенчатого графика нагрузки. Система охлаждения трансформатора ДЦ. Температура окружающей среды $\vartheta = 30^\circ\text{C}$. Постоянная времени $T = 2$ ч.



Решение:

По формуле 2.2: $\theta_{my1} = 40 \left(\frac{1 + 5 \cdot 0,8^2}{1 + 5} \right) = 28^\circ C;$

$$\theta_{my2} = 40 \left(\frac{1 + 5 \cdot 1,2^2}{1 + 5} \right) = 54,7^\circ C;$$

Установившийся температурный перепад наиболее нагретой точки обмотки определяется по выражению 2.3:

$$\theta_{унт1} = 38 \times 0,8^{1,8} = 25,4^\circ C; \theta_{унт2} = 52,8^\circ C.$$

Полагая, что в начале ступени нагрузки $K_2 = 1,2$ превышение температуры масла составляло $\theta_{my1} = 28^\circ C$, определим изменения температуры обмотки в течение последующих часовых интервалов времени. Превышение температуры масла для первого часового интервала после увеличения нагрузки определяется в соответствии с выражением 2.4:

$$\theta_{м1}^1 = 28 + (54,7 - 28) \left(1 - e^{-\frac{1}{2}} \right) = 38,5^\circ C.$$

Последующие значения приведены в таблице 2.2. В начале тринадцатого часового интервала произошел спад нагрузки $K=0,8$ и, соответственно происходит уменьшение превышения температуры масла:

$$\theta_{м2}^{13} = 54,7 + (33,6 - 54,7) \left(1 - e^{-\frac{1}{2}} \right) = 46,5^\circ C.$$

Аналогично определяются значения, для последующих периодов времени (табл. 2.2).

Таблица 2.2

Расчет относительного износа изоляции трансформатора

Время Параметр	1	2	3	4	5	6	12	13	14	15	16	17	18	19	24
$\theta_m, ^\circ C$	38,5	44,9	48,7	51,1	52,5	53,4	54,6	44,1	37,8	33,9	31,6	30,2	29,3	28,8	28,1
$\theta_{нит}, ^\circ C$	52,8	52,8	52,8	52,8	52,8	52,8	52,8	25,4	25,4	25,4	25,4	25,4	25,4	25,4	25,4
$\vartheta_{нит\ ср} ^\circ C$	116,1	124,5	129,6	132,7	134,6	135,8	136,8	104,8	96,4	91,3	88,2	86,3	85,2	84,5	83,8
$F_*, о.е.$	8,1	21,4	38,5	55,1	68,6	78,8	88,4	2,2	0,83	0,46	0,32	0,26	0,23	0,21	0,2

Изменение температуры наиболее нагретой точки обмотки определяется в соответствии с выражением 2.1: $\vartheta_{ннт1}^0 = 30 + 33,6 + 52,8 = 116,4^\circ \text{C}$; $\vartheta_{ннт1}^1 = 124,6^\circ \text{C}$ и т.д. (табл. 2.2).

Относительный износ изоляции за рассматриваемый интервал времени по выражению 2,8:

$$F_{*1} = 2^{(120,5-98)/6} = 13,45.$$

В соответствии с результатами расчетов приведенными в табл. 2.2 эквивалентный износ изоляции за расчетные сутки составил:

$$F_{\Sigma} = 858 \text{ ч} = 35,8 \text{ сут.}$$

Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

Перечень основной литературы:

1. Поликарпова, Т.И. Экономика и организация электроэнергетического производства [Электронный ресурс]: учебное пособие / Т.И. Поликарпова, В.А. Финоченко; Министерство образования и науки Российской Федерации, Сибирский Федеральный университет. - Красноярск: СФУ, 2017. - 88 с. : Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=497453>.
2. Гусева, Н. В. Экономика энергетики [Электронный ресурс] : учебное пособие / Н. В. Гусева, С. В. Новичков. — Электрон. текстовые данные. — Саратов : Ай Пи Ар Медиа, 2019. — 198 с. Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/82568.html>.

Перечень дополнительной литературы:

- 1 Электрические машины [Электронный ресурс] : сборник задач / В. И. Парамонова. — Электрон. текстовые данные. — М. : Московская государственная академия водного транспорта, 2015. — 72 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/46905.html>

Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

1. Методические рекомендации для подготовки к практическим работам.
2. Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов.

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

1. <http://www.biblioclub.ru> -ЭБС "Университетская библиотека онлайн"
2. <http://www.iprbookshop.ru/> - Электронно- библиотечная система IPRbooks

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания
по организации и проведению самостоятельной работы обучающихся
по дисциплине «ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ»
для студентов направления подготовки
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Пятигорск 2026 г.

Содержание

Введение

- 1 Общая характеристика самостоятельной работы обучающегося при изучении дисциплины «ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ»
- 2 План-график выполнения самостоятельной работы
- 3 Контрольные точки и виды отчетности по ним
- 4 Методические рекомендации по изучению теоретического материала
- 5 Список рекомендуемой литературы.

Введение

Самостоятельная работа – планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное (аудиторное) время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия (при частичном непосредственном участии преподавателя, оставляющем ведущую роль за работой студентов).

Самостоятельная работа студентов в ВУЗе является важным видом учебной и научной деятельности студента.

Ведущая цель организации и осуществления СРС должна совпадать с целью обучения студента – подготовкой бакалавра с высшим образованием. При организации СРС важным и необходимым условием становятся формирование умения самостоятельной работы для приобретения знаний, навыков и возможности организации учебной и научной деятельности.

Целью самостоятельной работы студентов является овладение фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю, опытом творческой, исследовательской деятельности. Самостоятельная работа студентов способствует развитию самостоятельности, ответственности и организованности, творческого подхода к решению проблем учебного и профессионального уровня.

Общая характеристика самостоятельной работы обучающегося при изучении дисциплины «Эксплуатация электроэнергетических систем»

Самостоятельная работа - планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное (аудиторное) время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия (при частичном непосредственном участии преподавателя, оставляющем ведущую роль за работой студентов).

Самостоятельная работа студентов в ВУЗе является важным видом учебной и научной деятельности студента. Самостоятельная работа студентов играет значительную роль в рейтинговой технологии обучения. В связи с этим, обучение в ВУЗе включает в себя две, практически одинаковые по объему и взаимовлиянию части – процесса обучения и процесса самообучения. Поэтому СРС должна стать эффективной и целенаправленной работой студента.

К современному специалисту общество предъявляет достаточно широкий перечень требований, среди которых немаловажное значение имеет наличие у выпускников определенных способностей и умения самостоятельно добывать знания из различных источников, систематизировать полученную информацию, давать оценку конкретной финансовой ситуации. Формирование такого умения происходит в течение всего периода обучения через участие студентов в практических занятиях, выполнение контрольных заданий и тестов, написание курсовых и выпускных квалификационных работ. При этом самостоятельная работа студентов играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Ведущая цель организации и осуществления СРС должна совпадать с целью обучения студента – подготовкой специалиста и бакалавра с высшим образованием. При организации СРС важным и необходимым условием становятся формирование умения самостоятельной работы для приобретения знаний, навыков и возможности организации учебной и научной деятельности.

Формы самостоятельной работы студентов разнообразны. В соответствии с рабочей программой дисциплины предусмотрены следующие виды самостоятельной работы студента:

- самостоятельное изучение литературы;
- самостоятельное решение задач.

Цель самостоятельного изучения литературы – самостоятельное овладение знаниями, опытом исследовательской деятельности.

Задачами самостоятельного изучения литературы являются:

- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов.

Цель самостоятельного решения задач - овладение профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю будущей деятельности.

Задачами самостоятельного решения задач являются:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений.

Целью самостоятельного выполнения контрольной работы по дисциплине является овладение фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю, опытом творческой, исследовательской деятельности.

Задачами данного вида самостоятельной работы студента являются:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений;
- использование материала, собранного и полученного в ходе самостоятельных занятий на семинарах, на практических и лабораторных занятиях, при написании контрольной работы.

В результате освоения дисциплины формируются следующий перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы:

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
ПК-1 Способен участвовать в проектировании систем электроснабжения.	ИД-ЗПК-1 Обосновывает выбор параметров электрооборудования систем электроснабжения, учитывая технические ограничения.	Знает: физические процессы, возникающие в электроустановке в процессе эксплуатации. Умеет: определять оптимальные режимы эксплуатации электроэнергетических систем. Владеет: навыками обеспечения безаварийных условий электроэнергетических систем.

План-график выполнения самостоятельной работы

Коды реализуемых компетенций, индикатора(ов)	Вид деятельности студентов	Средства и технологии оценки	Объем часов, в том числе		
			СРС	Контактная работа с преподавателем	Всего
7 семестр ОФО					
ПК-1 ИД-3 ПК-1	Самостоятельное изучение литературы по темам №1-18	Собеседование	43,11	4,79	47,9
	Подготовка к лекциям	Собеседование	3,24	0,36	3,6
	Подготовка к практическим работам	Собеседование	6,48	0,72	7,2
	Подготовка к контрольной работе	Собеседование	11,97	1,33	13,3
Итого:			64,8	7,2	72
7 семестр ЗФО					
ПК-1 ИД-3 ПК-1	Самостоятельное изучение литературы по темам №1-18	Собеседование	105,21	11,69	116,9
	Подготовка к лекциям	Собеседование	0,54	0,06	0,6
	Подготовка к практическим работам	Собеседование	1,08	0,12	1,2
	Подготовка к контрольной работе	Собеседование	11,97	1,33	13,3
Итого:			118,8	13,2	132

Контрольные точки и виды отчетности по ним

№ п/п	Вид деятельности студентов	Сроки выполнения	Количество баллов
7 семестр			
1.	Практическое занятие № 1	6 неделя	25
2.	Практическое занятие № 5	10 неделя	15
3.	Практическое занятие № 8	20 неделя	15
	Итого		55

Максимально возможный балл за весь текущий контроль Максимально возможный балл за весь текущий контроль устанавливается равным 55. Текущее контрольное мероприятие считается сданным, если студент получил за него не менее 60% от установленного для этого контроля максимального балла. Рейтинговый балл, выставляемый студенту за текущее контрольное мероприятие, сданное студентом в установленные графиком контрольных мероприятий сроки, определяется следующим образом:

Уровень выполнения контрольного задания	Рейтинговый балл (в % от максимального балла за контрольное задание)
Отличный	100
Хороший	80
Удовлетворительный	60
Неудовлетворительный	0

Методические рекомендации по изучению теоретического материала

Самостоятельная работа студента начинается с внимательного ознакомления с содержанием учебного курса.

Изучение каждой темы следует начинать с внимательного ознакомления с набором вопросов. Они ориентируют студента, показывают, что он должен знать по данной теме. Вопросы темы как бы накладываются на соответствующую главу избранного учебника или учебного пособия. В итоге должно быть ясным, какие вопросы темы учебного курса и с какой глубиной раскрыты в конкретном учебном материале, а какие вообще опущены. Требуется творческое отношение и к самому содержанию дисциплины.

Вопросы, составляющие ее содержание, обладают разной степенью важности. Есть вопросы, выполняющие функцию логической связки содержания темы и всего курса, имеются вопросы описательного или разъяснительного характера, а также исторического экскурса в область изучаемой дисциплины. Все эти вопросы не составляют сути понятийного, концептуального содержания темы, но необходимы для целостного восприятия изучаемых проблем.

Изучаемая дисциплина имеет свой категориально-понятийный аппарат. Научные понятия — это та база, на которой строится каждая наука. Понятия — узловые, опорные пункты как научного, так и учебного познания, логические ступени движения в учебе от простого к сложному, от явления к сущности. Без ясного понимания понятий учеба крайне затрудняется, а содержание приобретенных знаний становится тусклым, расплывчатым.

Студент должен понимать, что самостоятельное овладение знаниями является главным, определяющим. Высшая школа создает для этого необходимые условия, помогает будущему высококвалифицированному специалисту овладеть технологией самостоятельного производства знаний.

В самостоятельной работе студентам приходится использовать литературу различных видов: первоисточники, монографии, научные сборники, хрестоматии, учебники, учебные пособия, журналы и др. Изучение курса предполагает знакомство студентов с большим объемом научной и учебной литературы, что, в свою очередь, порождает необходимость выработки у них рационально-критического подхода к изучаемым источникам.

Чтобы не «утонуть» в огромном объеме рекомендованных ему для изучения источников, студент, прежде всего, должен научиться правильно их читать. Правильное

чтение рекомендованных источников предполагает следование нескольким несложным, но весьма полезным правилам.

Предварительный просмотр книги включает ознакомление с титульным листом книги, аннотацией, предисловием, оглавлением. При ознакомлении с оглавлением необходимо выделить разделы, главы, параграфы, представляющие для вас интерес, бегло их просмотреть, найти места, относящиеся к теме (абзацы, страницы, параграфы), и познакомиться с ними в общих чертах.

Научные издания сопровождаются различными вспомогательными материалами — научным аппаратом, поэтому важно знать, из каких основных элементов он состоит, каковы его функции.

Знакомство с книгой лучше всего начинать с изучения аннотации — краткой характеристики книги, раскрывающей ее содержание, идейную, тематическую и жанровую направленность, сведения об авторе, назначение и другие особенности. Аннотация помогает составить предварительное мнение о книге.

Глубже понять содержание книги позволяют вступительная статья, в которой дается оценка содержания книги, затрагиваемой в ней проблематики, содержится информация о жизненной и творческой биографии автора, высказываются полемические замечания, разъясняются отдельные положения книги, даются комментарии и т.д. Вот почему знакомство с вступительной статьей представляется очень важным: оно помогает студенту сориентироваться в тексте работы, обратить внимание на ее наиболее ценные и важные разделы.

Той же цели содействует знакомство с оглавлением, предисловием, послесловием. Весьма полезными элементами научного аппарата являются сноски, комментарии, таблицы, графики, списки литературы. Они не только иллюстрируют отдельные положения книги или статьи, но и сами по себе являются дополнительным источником информации для читателя.

Если читателя заинтересовала какая-то высказанная автором мысль, не нашедшая подробного освещения в данном источнике, он может обратиться к тексту источника, упоминаемого в сноске, либо к источнику, который он может найти в списке литературы, рекомендованной автором для самостоятельного изучения.

Существует несколько форм ведения записей:

— план (простой и развернутый) — наиболее краткая форма записи прочитанного, представляющая собой перечень вопросов, рассматриваемых в книге или статье. Развернутый план представляет собой более подробную запись прочитанного, с

детализацией отдельных положений и выводов, с выпиской цитат, статистических данных и т.д. Развернутый план — неоценимый помощник при выступлении с докладом на конкретную тему на семинаре, конференции;

— тезисы — кратко сформулированные положения, основные положения книги, статьи. Как правило, тезисы составляются после предварительного знакомства с текстом источника, при его повторном прочтении. Они помогают запомнить и систематизировать информацию.

Составление конспектов

Большую роль в усвоении и повторении пройденного материала играет хороший конспект, содержащий основные идеи прочитанного в учебнике и услышанного в лекции. Конспект — это, по существу, набросок, развернутый план связного рассказа по основным вопросам темы.

В какой-то мере конспект рассчитан (в зависимости от индивидуальных особенностей студента) не только на интеллектуальную и эмоциональную, но и на зрительную память, причем текст конспекта нередко ассоциируется еще и с текстом учебника или записью лекции. Поэтому легче запоминается содержание конспектов, написанных разборчиво, с подчеркиванием или выделением разрядкой ключевых слов и фраз.

Самостоятельно изученные темы предоставляются преподавателю в форме конспекта, по которому происходит собеседование. Теоретические темы курса (отдельные вопросы), выносимые на самостоятельное изучение, представлены ниже.

Список рекомендуемой литературы

Перечень основной литературы:

2. Зарандия, Ж.А. Основные вопросы технической эксплуатации электрооборудования : учебное пособие / Ж.А. Зарандия, Е.А. Иванов ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тамбовский государственный технический университет». - Тамбов : Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. - 129 с. : ил.,табл., схем. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-8265-1386-6 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=445120>

Перечень дополнительной литературы:

1. Привалов, Е.Е. Эксплуатация линий электропередач систем электроснабжения: учебное пособие / Е.Е. Привалов. – 2-е изд., стер. – М.; Берлин: Директ-Медиа, 2017. – 214 с. Режим доступа: http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=481650

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. <http://www.biblioclub.ru> -ЭБС "Университетская библиотека онлайн"
2. <http://www.iprbookshop.ru/> - Электронно- библиотечная система IPRbooks