

**11/18/3**

**Одобрено кафедрой  
«Электрификация  
и электроснабжение»**

## **ОСНОВЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ**

**Задание на контрольную работу  
с методическими указаниями  
для студентов V курса**

**специальности  
190401.65 ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ЖЕЛЕЗНЫХ  
ДОРОГ (ЭЛ)**

**РОАТ  
Москва — 2011**

Составитель — д-р техн. наук, проф. Л.А.Герман

Рецензент — д-р техн. наук, проф. А.С. Серебряков

# ВВЕДЕНИЕ

## В1. Основные термины и определения

Под *технической диагностикой* понимается область знания, охватывающая теорию, методы и средства определения технического состояния объекта. Техническое состояние характеризуется в определенный момент времени при заданных условиях внешней среды значениями параметров, установленных технической документацией на объект [1, 2].

Техническая диагностика [3] является составной частью технического обслуживания устройств электроснабжения, которое объединяет комплекс технических, экономических и организационных мероприятий, обеспечивающих поддержание оборудования систем электроснабжения в работоспособном состоянии при рациональных затратах материальных и трудовых ресурсов с учетом имеющихся ограничений.

В процессе эксплуатации технического объекта необходимо контролировать его *работоспособность*. При возникновении отказов объект теряет способность выполнять свои основные функции. В этом случае требуется зафиксировать факт отказа, определить место его возникновения и осуществить замену неисправного элемента.

В процессе эксплуатации возникают также проблемы *предсказания состояния объекта в будущем* (проблема прогноза) и определение *состояния объекта в прошлом* (проблема генезиса). В первом случае за счет фиксации предотказных состояний прогнозируется возможность отказа объекта и осуществляются мероприятия по его предотвращению.

Определение состояния объекта в прошлом требуется при анализе надежности и качества эксплуатации объекта, при сборе статистических данных, а также при разборе возникших инцидентов и происшествий [3, 4].

При эксплуатации устройств электроснабжения решение проблем технического диагностирования имеет первостепенное значение, поскольку эти устройства являются *обслуживаемыми и восстанавливаемыми*. При их отказе может произойти задержка поездов и в худшем случае нарушение безопасности движения. Перед эксплуатационным персоналом стоят задачи контроля и поддержания исправного состояния устройств, а в случае возникновения отказов – быстрого их обнаружения и устранения. Решение этих задач усложняют особенности эксплуатации таких устройств: непрерывный характер работы; длительный срок службы (25 лет и более); широкое распространение по всей стране; сложные климатические, динамические и электромагнитные условия работы.

## **В2. Задачи технической диагностики**

Поддержание объектов системы электроснабжения в процессе их эксплуатации в работоспособном состоянии в условиях ограниченных ресурсов может быть решено с использованием теории технического обслуживания. Значительный эффект способен дать переход от обслуживания по нормам к техническому обслуживанию по состоянию. Этот метод можно применить при *использовании теории технической диагностики и широком внедрении средств диагностики*.

Задачи технической диагностики решаются с учетом всех этапов жизненного цикла технического объекта – проектирования, изготовления, монтажа и эксплуатации.

На этапе эксплуатации обычно решаются частные задачи: проверка исправности, проверка работоспособности, проверка правильности функционирования, поиск неисправности [3, 4].

*Проверка исправности* необходима для объектов, не имеющих мгновенной индикации об отказе на этапе эксплуатации, она позволяет определить, что в объекте отсутствуют какие-либо неисправности.

*Проверка работоспособности* может применяться в тех же случаях, но является менее глубокой и служит для проверки воз-

возможности объекта выполнять все функции рабочего алгоритма. При этом могут оставаться не обнаруженными неисправности, не препятствующие применению объекта по назначению. Например, проверка гирлянды изоляторов на работоспособность по электрической нагрузке может не выявить один отказавший изолятор, если вся гирлянда выдерживает приложенное напряжение.

**Проверка правильности функционирования** еще менее полная. Она позволяет убедиться лишь в том, что объект правильно функционирует в данном режиме в данный момент времени. В таком объекте могут быть неисправности, которые не позволяют ему правильно функционировать в других режимах.

Если объект неисправен, но работоспособен или правильно функционирует, или же находится в состоянии отказа, то важной задачей становится поиск неисправностей. Поиск неисправностей предусматривает обнаружение конкретных элементов или связей между ними, которые находятся в состоянии отказа.

Основной задачей технической диагностики является **распознавание состояния технической системы** обычно в условиях ограниченной информации. Например, после аварийного отключения фидера контактной сети следует распознать состояние контактной сети (короткое замыкание осталось или исчезло) перед тем, как выполнить повторное включение фидера.

Многие годы в стране действовала система планово-предупредительных ремонтов (ППР), предусматривающая жесткие однозначные нормы на все виды электротехнического ремонта. В новых нормативных документах [5, 6] предусматривают, что техническое обслуживание и ремонт можно производить по результатам технической диагностики, при функционировании у потребителя системы технической диагностики. Другими словами, сроки ремонта электрооборудования определяются его реальным состоянием.

В [5] задан примерный порядок технического диагностирования электроустановок потребителей. Согласно ему следует отдельно для основных видов электроустановок составить документ, определяющий задачи, условия, показатели и характе-

ристики технического диагностирования. Для создания нужных условий следует задать показатели и характеристики, разработать соответствующее обеспечение, включая приспособленность электроустановки к техническому диагностированию.

Каждому объекту (элементу) системы электроснабжения присущи определенные признаки, содержащие информацию о его техническом состоянии. Их можно разделить на группы:

- рабочие параметры объекта, которые определяют его работоспособность (напряжение, ток, сопротивление, размеры, сечение и т.д.), контроль этих параметров дает ответ на вопрос о работоспособности объекта;
- основные диагностические признаки: повреждения, износ, коррозия, контроль этих признаков более трудоемок;
- косвенные диагностические признаки: симптомы, функционально связанные с рабочими параметрами (например, степень загрязнения масла в трансформаторах, выключателях и т.д.).

Номенклатура диагностических параметров должна удовлетворять требованиям полноты, информативности и доступности измерения при наименьших затратах времени и стоимости реализации. Совершенно ясно, что не стоит применять диагностирование объекта, когда стоимость диагностирования будет превышать стоимость замены объекта.

В настоящее время существует богатая номенклатура диагностической и измерительной аппаратуры для технического диагностирования. Назовем основные из них: тепловизоры, пирометры, течеискатели и трассоискатели, ультразвуковые дефектоскопы и толщиномеры, эндоскопы и твердомеры, приборы для измерения физических величин, ультразвуковые расходомеры и тензиометры, вибродиагностическое оборудование, портативные хроматографы и различные электроизмерительные приборы.

Специальная аппаратура применяется для диагностирования объектов тягового электроснабжения [ 3 ]. Задача эксплуатационного персонала – эффективное использование указанной аппаратуры.

### В3. Цель и объем контрольной работы

Целью контрольной работы является развитие навыков в исследовании моделей эксплуатации, старения и диагностирования основного оборудования систем электроснабжения электрических железных дорог для принятия решения по повышению надежности его работы.

На примерах исследуемых задач студент должен освоить методы и средства для диагностирования оборудования тягового электроснабжения.

Задачи № 1 и 2, посвященные диагностированию оборудования путем контроля степени износа силовых трансформаторов тяговой подстанции и конденсаторов в установках продольной емкостной компенсации, показывают, как можно прогнозировать срок службы указанного оборудования. Задача № 3 связана с методами диагностирования контактной сети специализированным вагоном-лабораторией (вагон испытания контактной сети – ВИКС). При этом контролируются параметры взаимодействия системы «контактная сеть – токоприемник». Результаты диагностирования выражаются в баллах содержания контактной сети.

В зависимости от шифра студент решает только две задачи (табл. 1).

Перед началом выполнения контрольной работы, а также перед ее защитой целесообразно ознакомиться с общими вопросами стратегии технического обслуживания и методами диагностики по учебнику [3].

Таблица 1

Номера задач для решения

Номер задачи	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	+	–	–	–	+	–	+	+	+	–
2	–	+	+	+	–	+	–	–	–	+
3	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

# 1. ЗАДАНИЕ НА КОНТРОЛЬНУЮ РАБОТУ

## **Задача 1. Расчет остаточного ресурса трансформатора тяговой подстанции**

*В задаче требуется:*

1. Определить относительную степень износа трансформатора.
2. Определить остаточный ресурс трансформатора.
3. Составить структурную схему устройства для контроля износа трансформатора.

*Исходные данные:*

- среднечасовые нагрузки наиболее загруженной фазы трансформатора (табл. 2);
- средняя температура охлаждающей среды (табл. 3);
- номинальная мощность трансформатора (табл. 4).

## **Задача 2. Расчет ресурса конденсаторов в установке продольной емкостной компенсации электрифицированных железных дорог переменного тока**

*В задаче требуется:*

1. Определить ресурс конденсаторов при заданных параметрах устройств продольной емкостной компенсации (УПК).
2. Рассчитать число параллельно соединенных конденсаторов для их оптимального срока службы  $T=20$  лет.
3. Составить структурную схему аппаратуры для контроля износа конденсаторов.

*Исходные данные:*

- среднечасовые нагрузки УПК (табл. 2);
- средняя температура охлаждающей среды (табл. 3);
- число параллельно соединенных конденсаторов в УПК (табл. 4)





	Интервалы измерений												Предпоследняя пифра шифра			Последняя пифра шифра		
	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	19-20	19-20	20-21	21-22	22-23	23-24						
Нагрузка осенне-зимнего периода	0,8	0,7	0,3	0,9	0,2	1,1	0	0,5	0,3	0,1	1,2	0,7	9					
Нагрузка весенне-летнего периода	0,7	0,6	0,2	0,8	0,3	1,2	0,1	0	0	1,2	0,3	0,6	8					
	0,6	0,5	0,1	0,7	0	1,3	0,2	0,3	1,5	0,1	0,2	0,3	7					
	0,7	0,6	0,2	0,8	0,1	1,4	0,3	1,5	0,8	0,2	0,7	0,5	6					
	1,4	0	0,2	0,5	0,6	1,3	1,5	0,7	0,6	0,5	0,4	0,2	5					
	0,5	1,1	0,1	0,4	0,5	1,2	0,7	1,5	0,5	0,4	0,3	0,1	4					
	0,4	0,2	1,3	0,4	0,6	1,5	0,9	0,7	1,2	0,1	0,3	0,2	3					
	0,3	0,2	0,5	1,0	0,7	1,5	0,3	0,2	0,5	1,4	0,3	0,2	2					
	0,4	0,6	0,4	0,8	1,5	1,3	0,4	0,1	0,3	0,5	1,5	0,6	1					
	0,2	0,3	0,8	0,7	0,6	1,0	0,2	0,3	0,5	0,4	0,1	0,3	0					

Таблица 3

**Эквивалентная температура осенне-зимнего  
и весенне-летнего периода**

Период	Предпоследняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Осенне–зимний	–10	–5	0	5	10	5	0	–5	–10	–5
Весенне-летний	10	15	20	15	20	15	20	15	10	15

Таблица 4

**Число параллельно соединенных конденсаторов  
КЭКП-0,66-80 и мощность трансформатора**

Последняя цифра учебного шифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	<i>N</i>	6	8	10	8	6	8	10	8	6
Тип и мощность трансформатора	ТДТНЭ-40000/110	ТДТН-25000/110-66	ТДТН-16000/110-66	ТДТН-40000/110-67	ТДТН-16000/110-66	ТДТН-25000/110-66	ТДТН-40000/110-16У1	ТДТН-40000/110-67	ТДТН-25000/110-66	ТДТНЭ-25000/110-69

### Задача 3. Расчет балльной системы оценки состояния контактной сети

*В задаче требуется:*

1. Для заданного участка контактной сети составить таблицу отступлений параметров контактной сети от нормативов с указанием количества штрафных баллов.
2. Рассчитать количество штрафных баллов, приходящихся в среднем на 1 км проверенного участка, и дать оценку состояния контактной сети по действующим нормативам.

*Исходные данные:*

- значения зигзагов контактного провода в точках фиксации и выноса в середине пролета кривого участка пути, а также значения высоты контактного провода (табл. 5).

Таблица 5

#### Параметры контактного провода, мм

№ опоры	Последняя цифра учебного шифра								
	0 и 1			2 и 3			4 и 5		
	Зигзаг	Вынос	Высота	Зигзаг	Вынос	Высота	Зигзаг	Вынос	Высота
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	+350		6600**	+300		5900	+400		6200
3	−300		6500	−300		5800	−300		6100
5	+300		6300	+400		5700	+300		6300
7	−400		6200	−200		5800	−300		6400
9	+250		6100	−100		5900	+300		6300
11	+100		6100	+300		6000	+100		6200
13	−300		6000	0		6300	−300		6100
15	+350		6100	−300		6200	+300		6400
17	−300		6200	+300		6000	−300		6400
19	+300		6000	−300		5900	+200*	−200	6500
21	−300		6300	+400		6000***	+300	−100	6700
23	+400		6200	−300		6300	+400	−200	6500
25	−200		6000	+300		6300	+400		6300
27	+300*	0	6100	−300		6300	+400	−200	6200
29	+200	−100	6100	+280		6300	+300	−100	6100

Продолжение табл. 5

№ опоры	Последняя цифра учебного шифра								
	0 и 1			2 и 3			4 и 5		
	Зигзаг	Вынос	Высота	Зигзаг	Вынос	Высота	Зигзаг	Вынос	Высота
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
31	+300	-200	6100	-350		6300	+100*	-100	6100
33	+400	-200	6200	+300		6100	-300		6100
35	+400	0	6300	-300		5900	+300		6100
37	+300	-200	6200	+250		5800	-300		6200
39	+400*		6200	-100		5800	+300		6200
41	+200		6200	+300		5700	-250		6200
43	-300		6300	-300		5800	+150		6300
45	+300		6400	+300*	100	5900	-300		6100
47	-300		6500	+400	-100	6000	+350		6200
49	+200		6500	+200		6100	-300		6300
51	-400		6600	-400	-200	6200	+350		6300
53	+300		6500	+200	-200	6200	-350		6300
55	-300		6400	+300	-100	6500	+150		6300
57	+300		6300	+400	-100	6400	-300		6700
59	-400		6300	+100	-100	6400	+300		6800
61	+200		6000	-300		6300	-300		6700
63	-350		6000	+300		6300	+300		6700
65	+350		6100	-300		6200	-300		6500
67	-300		6100***	+300		6200	+350		6500***
69	-100		6200	-300		6100	-280		6500
71	+300		6200	+350		6300	+320		6500
73	-300		6200	-250		6400	-300		6500
75	+300		6300	+300		6200	+320		6300
77	-300		6300	-250		6700	-300		6300
79	+400	6200		+300		6300	+300		6100
1	+300		5900	-300		5800			
3	-300		6000	+200		5800			
5	+400		6100	-300		5800			
7	-300		6200	+300		6000			
9	+350		6200	-280		6200			

Продолжение табл. 5

№ опоры	Последняя цифра учебного шифра					
	6 и 7			8 и 9		
	Зигзаг	Вынос	Высота	Зигзаг	Вынос	Высота
1	2	3	4	5	6	7
11	-290		6300	+300		6300
13	+300		6400	-250		6200
15	+100		6400	+300		6300
17	-300		6400	-250		6400
19	+300		6200	+300		6400
21	+50		6200***	-200		6500
23	-300		6000	-300		6400
25	+300		5800	-300		6000
27	-250		5600	-400		6100
29	+300		5900	-300		6200
31	-280		5900	-400		6200***
33	+300		6000	-200		6000
35	-300		6100	+300		5900
37	+400		6200	-300		5900
39	-400		6300	+300		5700
41	+200		6200	-300		5700
43	-300		6300	+300		5900
45	+400		6300	-250*	+200	5800
47	-200		6400	-280	+150	5900
49	+300		6400	-300	+100	6000
51	-300		6300	-300	+200	6000
53	+300		6200	-300	+250	6000
55	-400		6000	-280*		6100
57	-100		6200	+300		6200
59	-300*		6200	-250		6200
61	-300	+100	6200	+250		6300
63	-200	+150	6100	-350		6300
65	-300	+200	6000	+280		6200

№ опоры	Последняя цифра учебного шифра					
	6 и 7			8 и 9		
	Зигзаг	Вынос	Высота	Зигзаг	Вынос	Высота
1	2	3	4	5	6	7
67	-350	-350	6000	-350		6200
69	-300	+200	6200	+300		6300
71	-300*	+250	6100	-300		6200
73	-300		6300	+300		6100
75	+300		6300	-300		6100
77	-280		6300	+300		6200
79	+300		6300	-300		6200

\* Граница кривой.

\*\* Высота указана только в точках фиксации контактного провода.

\*\*\* Место искусственного сооружения.

## 2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

### 2.1. Общие требования по оформлению контрольной работы

1. Все расчеты должны сопровождаться краткими пояснениями.

2. При использовании формул и математических соотношений необходимо указать источник, из которого эти данные заимствованы.

3. Обратит внимание на оформление контрольной работы [18]. В частности, в расчетах по формулам: вначале записывается формула в общем виде (с буквенными и обозначениями), затем подставляются числовые значения каждой величины в том же порядке и в той же форме записи, как и в общей формуле, и только после этого можно приводить готовый результат расчета.

4. В связи с выполнением большого объема однотипных расчетов целесообразно использовать ЭВМ, при этом следует производить округление результатов для получения точности порядка 1 %.

5. В связи с ограниченным объемом контрольной работы допущен ряд упрощений, в основном по исходным данным. Детальное рассмотрение указанных вопросов при более полном наборе исходных данных предусмотрено при дипломном проектировании.

## 2.2. Методические указания к задаче 1

Тепло, выделяемое при работе трансформатора, вызывает необратимые процессы в материале изоляции обмотки, происходит, так называемое старение изоляции [7–11]. При работе в среде масла старение изоляции зависит от целого ряда факторов: температуры, электрического поля, воды, кислорода, продуктов окисления масла и др. Но решающим фактором является температура.

В самом общем случае температура наиболее нагретой точки обмотки трансформатора  $\theta_{\text{ннт}}$  определяется [8, 9] по формуле

$$\theta_{\text{ннт}} = V_{\text{ннт м}} + V_{\text{м}} + \theta_{\text{охл}}, \quad (1)$$

где  $V_{\text{ннт м}}$  — превышение температуры наиболее нагретой точки обмотки над маслом;

$V_{\text{м}}$  — превышение температуры верхних слоев масла над охлаждающей средой;

$\theta_{\text{охл}}$  — температура охлаждающей среды, °С.

При номинальной нагрузке трансформатора значения  $V_{\text{ннт м ном}}$  и  $V_{\text{м ном}}$  в соответствии с ГОСТ 14209-97 и 11677-85 равны соответственно 23°С и 55°С, а температура наиболее нагретой точки обмотки составляет 98°С и называется базовой температурой обмотки  $\theta_{\text{ннт б}}$ . Если температура обмотки будет постоянно равна  $\theta_{\text{ннт б}} = 98^\circ\text{С}$ , то получим оптимальный срок службы трансформатора, который в настоящее время принят



равным 25 годам [7]. Под оптимальным сроком службы трансформатора понимают его срок службы, по истечении которого дальнейшая эксплуатация трансформатора экономически невыгодна. Причина этого в том, что прогресс в трансформаторостроении за указанный период настолько значителен, что работающий трансформатор экономически выгодно заменить другим такой же мощности, но более совершенным как с точки зрения конструкции, так и с точки зрения использования более прогрессивных активных материалов.

Время, в течение которого изоляция обмотки практически теряет механическую прочность, называется продолжительностью жизни изоляции и определяется эмпирической формулой [7, 8, 9]

$$L = A \cdot \exp(-\alpha \theta_{\text{ннт}}),$$

где  $L$  — продолжительность жизни изоляции, годы;  
 $A$  — постоянная, определяемая видом изоляции;  
 $\alpha$  — коэффициент, характеризующий интенсивность старения изоляции;  
 $\theta_{\text{ннт}}$  — температура наиболее нагретой точки обмотки.

В соответствии с шестиградусным правилом старения изоляции [7,8], согласно которому при изменении температуры изоляции на  $6^\circ\text{C}$  срок службы ее изменяется вдвое (сокращается при повышении температуры и увеличивается при ее понижении), коэффициент  $\alpha = 0,115$ .

Степень старения изоляции, другими словами, ее износ, пропорциональна времени эксплуатации. За время  $t$  при температуре  $\theta_{\text{ннт}}$  степень старения изоляции

$$\xi = t / L = t \cdot \exp(\alpha \theta_{\text{ннт}}) / A.$$

При базовой температуре  $\theta_{\text{ннт } \sigma}$  степень старения изоляции будем считать нормальной, т.е.

$$\xi_{\text{нр}} = t \cdot \exp(\alpha \theta_{\text{ннт } \sigma}).$$

Тогда отношение действительной степени старения изоляции к нормальной будет представлять относительную степень старения (или относительного износа) изоляции

$$F = \xi / \xi_{\text{нр}} = \exp[\alpha (\theta_{\text{ннт}} - \theta_{\text{ннт } \sigma})] . \quad (2)$$

По ГОСТ 14209-97 формула (2) записывается в ином виде

$$F = 2^{(\theta_{\text{ннт}} - \theta_{\text{ннт } \sigma}) / \Delta} , \quad (3)$$

где  $\Delta = 6^{\circ}\text{C}$ .

Относительный износ показывает, во сколько раз действительное старение изоляции отличается от старения изоляции при номинальной температуре обмотки. Если в течение года непрерывной работы трансформатора относительный износ окажется равным 2, то это значит, что время, «отжитое» изоляцией в течение года, равно 2 годам. При дальнейшей работе трансформатора в таком режиме нагрузки действительный срок его службы составит не 25, а 12,5 лет.

При значении  $F = 0,5$  действительный срок службы трансформатора составит 50 лет, так как время, «отжитое» изоляцией в течение года, равно 0,5 года.

Рассмотрим график относительной нагрузки  $K$  трансформатора, представленный в виде ступенчатой кривой (рис. 1, *a*). Под относительной нагрузкой  $K$  трансформатора понимают отношение действительной нагрузки трансформатора к его номинальному току. Для данного графика необходимо оценить характер изменения температуры наиболее нагретой точки обмотки  $\theta_{\text{ннт}}$  над охлаждающей средой (рис. 1, *b*) и относительный износ изоляции трансформатора  $F_i$  (рис. 1, *в*). Для  $i$ -го интервала прямоугольного графика нагрузки

$$F_i = (t_i / T) 2^{(\theta_{\text{ннт } i} - \theta_{\text{ннт } \sigma}) / \Delta} , \quad (4)$$

где  $\theta_{\text{ннт } i}$  — среднее значение  $\theta_{\text{ннт}}$  на интервале  $i$ ;  $\Delta = 6^{\circ}\text{C}$ .

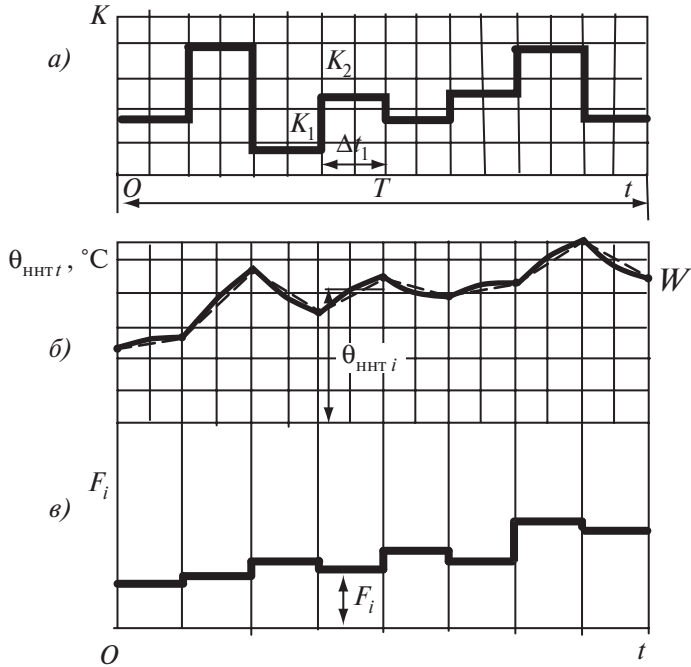


Рис. 1

За весь период  $T$  относительный износ

$$F = \sum_{i=1}^m F_i, \quad (5)$$

где суммирование происходит по всем интервалам  $i$  нагрузки (от 1 до  $m$  – число интервалов).

Для расчета  $F$  предварительно определяется температура наиболее нагретой точки обмотки в установившемся тепловом режиме (при относительных нагрузках  $K_1$  и  $K_2$ ) в соответствии с [8]

$$\theta_{\text{ннт}} = \theta_{\text{охл}} + V_{\text{МК}} + V_{\text{ннт МК}}, \quad (6)$$

$$V_{\text{МК}} = V_{\text{М ном}} \left[ \frac{(1 + \alpha K^2)}{(1 + \alpha)} \right]^X, \quad (7)$$

$$V_{\text{ННТ МК}} = V_{\text{ННТК НОМ}} K^Y, \quad (8)$$

где  $V_{\text{МК}}$  – превышение температуры масла в верхних слоях над температурой охлаждающей среды при относительной нагрузке  $K$ ;

$V_{\text{М НОМ}}$  – то же при номинальной нагрузке;

$V_{\text{ННТ МК}}$  – превышение температуры наиболее нагретой точки обмотки над температурой масла в верхних слоях при относительной нагрузке  $K$ ;

$V_{\text{ННТК НОМ}}$  – то же при номинальной нагрузке;

$\alpha$  – отношение потерь короткого замыкания к потерям холостого хода.

Показатели степени  $X$  и  $Y$  определяются:

– для трансформаторов с видами охлаждения

М и Д –  $X=0,9$  и  $Y=1,6$ ;

– для трансформаторов с видами охлаждения

ДЦ и Ц –  $X=1$  и  $Y=1,8$ .

В задаче принять вид охлаждения – Д.

По формулам (6), (7), (8) расчет производится для относительной нагрузке  $K=K_1$ , а затем для  $K=K_2$ .

Для расчета  $V_{\text{МК}}$  и  $V_{\text{ННТ МК}}$  вместо формул (6)–(8) можно использовать более простые, аппроксимирующие их формулы [8]:

$$V_{\text{МК}} = 39,7 K^2 + 15,3; \quad (7^*)$$

$$V_{\text{ННТ МК}} = 17,7 K^2 + 5,3. \quad (8^*)$$

Температура наиболее нагретой точки обмотки в переходном тепловом режиме снижения температуры при длительности снижения, превышающей  $t \geq 4\tau_{\text{об}}$  (где  $\tau_{\text{об}}$  – тепловая постоянная нагрева обмотки), в соответствии с [8]

$$\theta_{\text{ННТ } t} = \theta_{\text{охл}} + V_{\text{М}t} + V_{\text{ННТ МК } t}, \quad (9)$$

$$V_{\text{М}t} = V_{\text{МК1}} + (V_{\text{М}h} - V_{\text{МК1}}) \exp(-t/\tau), \quad (10)$$

$$V_{\text{ННТ МК1}} = V_{\text{ННТ М НОМ}} K_1^Y. \quad (11)$$

Формулы (9)–(10) пригодны для режима снижения и повышения температуры.

Принятые в формулах (6)–(11) обозначения пояснены на рис. 2, где представлены изменения температуры масла и обмотки, соответствующие двухступенчатому прямоугольному графику нагрузки трансформатора, и расшифровываются следующим образом:

$K_1 = I_1 / I_{\text{ном}}$  – начальная нагрузка, предшествующая нагрузке или перегрузке  $K_2$  или нагрузка после снижения  $K_2$  в долях номинального тока;

$K_2 = I_2 / I_{\text{н}}$  – нагрузка или перегрузка, следующая за начальной нагрузкой  $K_1$  в долях номинального тока;

$\theta_{\text{ннт к1}}, \theta_{\text{ннт к2}}$  – температура наиболее нагретой точки обмотки в установившемся тепловом режиме при нагрузках  $K_1$  и  $K_2$ , °С;

$\theta_{\text{ннт h}}$  – температура наиболее нагретой точки обмотки в конце периода  $h$  при нагрузке  $K_2$ , °С;

$\theta_{\text{мк1}}, \theta_{\text{мк2}}$  – температура масла в установившемся тепловом режиме при нагрузках  $K_1$  и  $K_2$ , °С;

$\theta_{\text{охл}}$  – температура охлаждающей среды, °С;

$V_{\text{ннт мк1}}, V_{\text{ннт мк2}}$  – превышение температуры наиболее нагретой точки обмотки над температурой масла в верхних слоях при нагрузках  $K_1$  и  $K_2$ , °С;

$V_{\text{мк}}, V_{\text{м(t)}}$  – превышение температуры масла в верхних слоях над температурой охлаждающей среды соответственно в установившемся тепловом режиме при нагрузке  $K_1$  и в момент времени  $t$  при нагрузке  $K_2$ , °С;

$\tau$  – тепловая постоянная времени трансформатора, ч; принять тепловую постоянную времени трансформатора при дутьевом охлаждении равной  $\tau = 2,5$  ч.

Как следует из рис. 2, (участок  $t_3$ )  $V_{\text{mh}}$  – превышение температуры масла в начале рассматриваемого интервала (или в конце предыдущего интервала). Для начала первого интервала (интервал изменения см. в табл. 2) принять

$$V_{\text{mh}} = 55^\circ\text{С}, V_{\text{ннт мк}} = 23^\circ\text{С}, \theta_{\text{ннт t}} = \theta_{\text{охл}} + 78^\circ\text{С}.$$

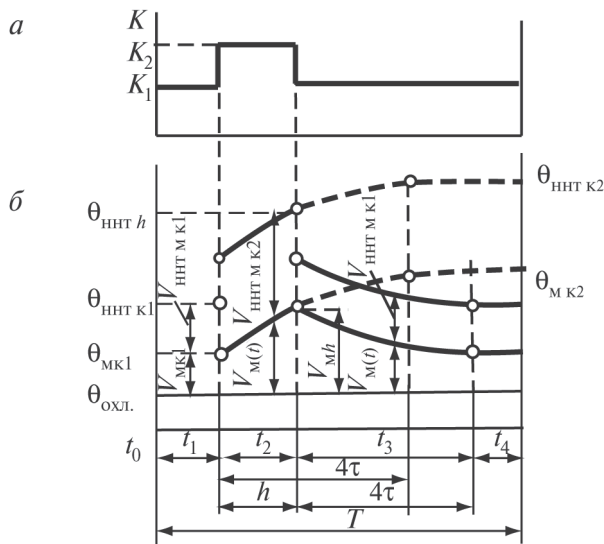


Рис. 2

Температура охлаждающей среды изменяется в течение года, сезона, месяца, суток. При изменении температуры охлаждающей среды, превышающей  $12^{\circ}\text{C}$ , или при отрицательных значениях температуры охлаждающего воздуха в соответствии с ГОСТ 14209-97 необходимо использовать эквивалентное значение температуры. Под ним понимают неизменное значение температуры охлаждающей среды, при котором имеет место такой же износ изоляции трансформатора, несущего неизменную нагрузку, как и при переменной температуре охлаждающей среды. Рекомендации при оценке данной температуре приведены в вышеуказанном ГОСТе.

Для упрощения расчетов в контрольной работе эквивалентные температуры осенне-зимнего и весенне-летнего периодов приведены в исходных данных (см. табл. 3).

В результате расчета строится график  $\theta_{\text{HHT } t}$ , (см. рис. 1).

Относительный износ витковой изоляции необходимо рассчитать по каждому из  $m$  интервалов нагрузки, каждый продол-

жительностью  $\Delta t_i$  (в задаче  $\Delta t_i = 1$  ч). Затем по каждому интервалу  $\Delta t_i$  следует рассчитать  $\theta_{\text{ннт } t}$  по формулам (9) – (11), где  $h$  и  $t$  заменить значениями времени на интервале  $\Delta t_i$ .

Следует указать, что в задании предлагается многоступенчатый равноинтервальный график тяговой нагрузки (см. табл. 2), который является результатом преобразования реального графика тяговой нагрузки методом, изложенным в [7, 8]. Кроме того, график дан для наиболее загруженной фазы, так как в соответствии с [8] расчет выполняется для этой фазы.

Расчет относительного износа производится для суток осенне-зимнего ( $F_3$ ) и весенне-летнего ( $F_{\text{л}}$ ) периодов с использованием соответствующих токовых нагрузок и эквивалентных температур охлаждающей среды (см. табл. 2 и 3).

Тогда относительный износ за год равен

$$F_{\text{г}} = (F_3 + F_{\text{л}}) / 2. \quad (12)$$

В контрольной работе принимается неизменный график нагрузки трансформатора с момента включения его в работу. Тогда относительный износ за прошедшее время работы трансформатора  $T_{\text{р}}$ , лет

$$F_{\text{г}} = F_{\text{г}} T_{\text{р}}.$$

Если  $F_{\text{г}} \geq 1$ , то это означает, что ресурс трансформатора исчерпан.

Если  $F_{\text{г}} < 1$ , то остаточный ресурс составит

$$T_{\text{ост}} = L_{\text{г}}(1 - F_{\text{г}}), \quad (13)$$

где  $L_{\text{г}}$  – срок службы трансформатора при работе в номинальном режиме ( $L_{\text{г}} = 25$  лет).

В контрольной работе для расчета  $T_{\text{ост}}$  принять  $T_{\text{р}} = 5$  лет.

Рекомендуется такая последовательность расчета ресурса трансформатора:

1. По формулам (9), (10), (11) определяется  $\theta_{\text{ннт}}$  в конце каждого интервала весенне-летнего графика нагрузки и строится график  $\theta_{\text{ннт } t}$ . Внутри каждого интервала принять линейное

изменение  $\theta_{\text{HHT}}$ . Для первого интервала принять:  $V_{\text{MK1}} = 55^\circ\text{C}$ ,  $V_{\text{HHT MK1}} = 23^\circ\text{C}$ ,  $K_1 = 1$ .

2. В каждом интервале нагрузки определяется среднее значение  $\theta_{\text{HHT } t}$ .

3. Определить относительный износ на каждом интервале графика нагрузки по формуле (4) и построить его график (см. рис. 2, б).

4. Определить относительный износ изоляции за рассматриваемые сутки по формуле (5).

5. Повторить пункты 1, 2, 3 для осенне-зимнего графика нагрузки.

6. Определить относительный износ изоляции за год по формуле (12).

7. Определить остаточный ресурс трансформатора по формуле (13).

Для составления структурной схемы устройства контроля износа трансформатора укажите с учетом взаимосвязи блок датчиков, расчетный блок и блок управления и сигнализации. Покажите связь блока датчиков и выходного блока с силовой схемой трансформатора и его коммутационной и измерительной аппаратурой [12].

Непосредственный контроль температуры обмотки трансформатора с помощью датчика, расположенного под высоким потенциалом, представляет определенные трудности. Поэтому на практике применяют косвенный контроль температуры обмотки, измеряя температуру охлаждающей среды или масла и ток обмотки, с последующим расчетом температуры обмоток.

В расчетном блоке следует указать последовательность расчета температуры обмоток и износа трансформатора [12].

Для расчетного блока необходимо применить микропроцессор.

### *Контрольные вопросы к задаче 1*

1. Расскажите о цели и задачах диагностирования трансформатора тяговых подстанций.



2. Какие средства диагностирования трансформатора Вы знаете?
3. Как применить 6-градусное правило для контроля износа трансформатора?
4. Как определить остаточный ресурс трансформатора?
5. Как определить относительный износ трансформатора за год?
6. Как определить температуру наиболее нагретой точки обмотки трансформатора?
7. Чему равен оптимальный срок службы трансформатора?

### 2.3. Методические указания к задаче 2

Старение диэлектриков в конденсаторе определяется следующими факторами: тепловым, ионизационным (влияние частичных разрядов в изоляции) и электрохимическим (связанным с разложением углеводородных соединений в изоляции) состоянием. Процесс старения изоляции зависит от качества и свойств элементов изоляции; технологии изготовления; температурного и электрического режима [13, 14].

Исследования, проведенные на мощных конденсаторах, применяемых в электроэнергетике в установках продольной и поперечной емкостной компенсации, показали, что зависимость срока службы (ресурса) конденсаторов в сравнительно узком интервале рабочих температур (80–120°C) от напряжения и температуры может быть представлена в следующем виде

$$L = [A / (E\theta)]^a, \quad (14)$$

где  $A$  – постоянный коэффициент, определяемый конструкцией конденсатора;

$E$  – рабочая напряженность поля;

$\theta$  – температура диэлектрика;

$a$  – показатель степени, зависящий от характера воздействующего напряжения, равный  $a = 5 \dots 8$  [13].

Для конденсаторов, применяемых в отечественных установках продольной емкостной компенсации (УПК) предлагается  $a = 7,7$  [13, 14].

Согласно формуле (14), зная долговечность  $L_2$  при некоторых условиях ( $E_2, \theta_2$ ), можно вычислить долговечность  $L$  в других условиях ( $E, \theta$ ), не определяя коэффициент  $A$ .

$$L = L_2 [E_2 \theta_2 / (E\theta)]^a. \quad (15)$$

В формуле (14) принято, что напряженность поля в конденсаторах УПК не превышает значений, вызывающих критические частичные разряды, поэтому показатель степени 7,7 будет оставаться величиной постоянной при всех режимах работы УПК в тяговой сети.

Относительную степень старения (износа) диэлектрика  $F_i$  для рабочего режима  $i$  определим из (15), учитывая, что  $E / E_2 = I / I_2$  и принимая для номинального режима

$$I_2 = I_n, \theta_2 = \theta_n;$$

$$F_i = L_n / L_i = [I_i \theta_i / (I_n \theta_n)]^{7,7}, \quad (16)$$

где  $I_i, \theta_i$  — средние значения тока через конденсатор и температуры диэлектрика в рабочем режиме  $i$ ;

$I_n$  — номинальный ток конденсатора.

Так как конденсаторы УПК работают практически при синусоидальном напряжении, но при несинусоидальном токе, в расчете принимается, что исходные данные по табл. 2 даны для действующих значений токов, учитывающих высшие гармоники токов.

Наибольшая допустимая рабочая температура диэлектрика конденсатора, работающего на промышленной частоте, обеспечивающая экономически оптимальный ресурс, составляет  $\theta_n = 95^\circ\text{C}$ .

Оптимальный износ показывает, во сколько раз действительное старение диэлектрика больше старения изоляции при номинальном режиме. При кратностях перегрузок более 1,2 — 1,3 износ резко возрастает и превышает нормальный в 5 — 2,5 раз и более.

Конденсаторы УПК при изменяющейся тяговой нагрузке работают в нестационарном тепловом режиме. Выделяемое

в конденсаторе тепло  $P_K$  частично расходуется на повышение внутренней температуры конденсатора (увеличение перегрева), частично рассеивается в окружающую среду. Если происходит ступенчатое изменение нагрузки от одного стационарного значения  $P_{K1}$ , которому соответствует установившееся над охлаждающей средой превышение температуры диэлектрика  $V_{K1}$  до другого стационарного значения  $P_{K2}$  и, соответственно  $V_{K2}$ , то закон изменения температуры диэлектрика во времени имеет вид

$$\theta = \theta_{\text{охл}} + V_{K2} + (V_{K1} - V_{K2}) \exp(-t/\tau_T), \quad (17)$$

где  $\theta_{\text{охл}}$  — температура охлаждающей среды;

$\tau_T$  — тепловая постоянная конденсатора (принять  $\tau_T = 3$  ч).

Уравнение, определяющее установившееся превышение температуры над температурой охлаждающей среды, имеет вид

$$V_K = \theta_K - \theta_{\text{охл}} = P_K R_T,$$

где  $\theta_K$  — установившаяся температура внутри конденсатора при мощности тепловыделения  $P_K$ ;

$R_T$  — тепловое сопротивление конденсатора (для конденсаторов КЭКП-0,66-80  $R_T = 45^\circ\text{C}/\text{Вт}$ );

$P_{K_i}$  — мощность тепловыделения в конденсаторе на  $i$ -м интервале;

$$P_{K_i} = I_i^2 X_C \operatorname{tg} \delta,$$

здесь  $\operatorname{tg} \delta$  — тангенс угла диэлектрических потерь;

$X_C$  — емкостное сопротивление конденсатора КЭКП-0,66-80,  $X_C = 5,45 \text{ Ом}$  [15].

При расчетах принимаем, что  $R_T$  не зависит от тепловыделения  $P_K$ , а  $\operatorname{tg} \delta$  является величиной постоянной, не зависящей от температуры ( $\operatorname{tg} \delta = 0,003$ ).

Средняя интенсивность износа  $F_{cp}$  за определенный период времени  $T$  (рис. 3):

$$F_{cp} = (1/T) \sum_{i=1}^m F_i \Delta t, \quad (18)$$

где  $F_i$  — относительный износ диэлектрика конденсатора при воздействии нагрузки  $I_i$  на конденсатор на  $i$ -м интервале графика нагрузки, определяемый по формуле (16). Суммирование выполнить от  $i=1$  до  $i=m$ , где  $m$  — количество интервалов нагрузки.

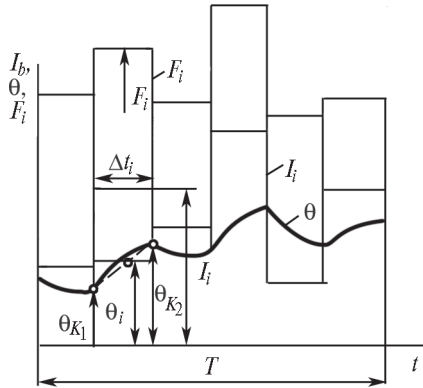


Рис. 3

Ток конденсатора

$$I_i = I_{упк\ i} / N,$$

где  $I_{упк\ i}$  — ток, проходящий через УПК на  $i$ -м интервале графика нагрузки;

$N$  — число параллельно соединенных конденсаторов в УПК.

Номинальный ток УПК

$$I_{упк\ н} = I_n N,$$

где  $I_H$  – номинальный ток конденсатора (для КЭКП-0,66-80  $I_H = 121,2$  А).

Тогда с учетом  $K_i = I_{\text{упк } i} / I_{\text{упк } H}$  ток конденсатора на  $i$ -м интервале

$$I_i = K_i I_H.$$

Значения  $K_i$  даны в табл. 2.

С помощью приведенных формул по графику тяговой нагрузки, замеренной на действующем электрифицированном участке, или смоделированному на ЭВМ, производится машинный расчет УПК при различных  $N$  и затем выбирается оптимальное  $N_0$  из условия нормального износа конденсаторов, при котором  $F_{\text{ср}} = 1$ , и не превышения максимальной температуры диэлектрика. Преимущество такого машинного метода расчета состоит в том, что, во-первых, учитываются все возможные режимы работы участка и, во-вторых, учитывается последовательность возникновения той или иной нагрузки.

В контрольной работе студенту предлагается упрощенный график нагрузки (осенне-зимний и весенне-летний) в ограниченном временном интервале ( $T = 24$  ч). Условно принимается, что указанные графики распределяются на весь период – соответственно осенне-зимний и весенне-летний.

Расчет относительного износа надлежит произвести для суток осенне-зимнего ( $F_3$ ) и весенне-летнего ( $F_L$ ) периодов с использованием соответствующих токовых нагрузок и эквивалентных температур охлаждающей среды (см. табл. 2 и 3).

Относительный износ за год определяется по формуле (12). Тогда ресурс конденсаторов равен

$$L = F^{-1} L_H, \quad (19)$$

где  $L_H$  – срок службы конденсатора при его номинальной нагрузке.

При  $F$ , отличающемся от единицы в 2 раза и более, следует уменьшить (при  $F \leq 0,5$ ) или увеличить (при  $F \geq 2$ ) число параллельно соединенных конденсаторов и повторить расчеты.

Следует учесть, что изменение числа  $N$  параллельно включенных конденсаторов на 10...15% приводит к изменению  $F$  примерно в 3...5 раз. При изменении  $N$  до  $N_{\text{п}}$  ток конденсаторов рассчитывают по формуле

$$I = K_i \cdot I_{\text{н}} \cdot (N/N_{\text{п}}).$$

При выполнении п. 2 задания следует принять, что расчеты производятся сразу после включения УПК в постоянную эксплуатацию. Для составления структурной схемы устройства контроля износа конденсаторов укажите с учетом взаимосвязи блок датчиков, расчетный блок и выходной блок управления и сигнализации. Покажите связь блока датчика и выходного блока с силовой схемой УПК и ее коммутационной и измерительной аппаратурой [6].

Непосредственный контроль температуры диэлектрика конденсатора с помощью датчика, расположенного под высоким потенциалом, представляет определенные трудности. Поэтому на практике применяют косвенный контроль температуры диэлектрика, измеряя температуру охлаждающей среды, а также нагрузки конденсатора с последующим расчетом температуры диэлектрика конденсатора. В расчетном блоке следует указать последовательность расчета температуры диэлектрика и износа конденсаторов. Для расчетного блока целесообразно применить микропроцессор.

Предлагается такая последовательность расчета.

1. В начале первого интервала принимается  $\theta_{K1} = 95^\circ\text{C}$  и определяется  $V_{K1} = 95 - \theta_{\text{охл}}$ , где  $\theta_{\text{охл}}$  для весенне-летнего периода дано в табл. 3.

2. Определяется по формуле (17)  $\theta_{K2}$  в конце первого интервала, при этом  $t = \Delta t_1 = 1$  ч.

3. Принимая линейное изменение температуры в интервале  $\Delta t_1$  определяется

$$\theta_i = (\theta_{K1} + \theta_{K2}) / 2. \quad (20)$$

4. Расчет продолжается для второго интервала. При этом принимается  $V_{K1}$  второго интервала равным  $(\theta_{K2} - \theta_{\text{охл}})$  первого интервала. Затем вычисляется  $\theta_i$  для этого интервала.

5. Аналогичные расчеты повторяются для всех  $m$  интервалов.
6. Расчеты повторяются для осенне-зимнего периода и определяется относительный износ за год по формуле (12).
7. Допускается с целью уменьшения объема вычислений расчет вести только для весенне-летнего периода, тогда вместо (12) принять  $F_r = F_d$ .
8. Производится перерасчет относительного износа при  $F \leq 0,5$  или  $F \geq 2$ .
9. Определяется ресурс конденсаторов по формуле (19).
10. Составляется структурная схема устройства контроля износа конденсатора [16].

### *Контрольные вопросы к задаче 2*

1. Основные диагностируемые параметры конденсаторов УПК.
2. Основные факторы, влияющие на старение конденсаторов.
3. Напишите формулу старения конденсаторов, по которой выполняется расчет в контрольной работе.
4. Как рассчитать относительный износ конденсаторов за год?
5. Как определить превышение температуры конденсатора над температурой окружающей среды?
6. Расскажите о назначении элементов в схеме устройства контроля износа конденсаторов.

## **2.3. Методические указания к задаче 3**

### **2.3.1. Общие положения по диагностированию системы «контактная сеть – токоприемник» вагоном-лабораторией**

В настоящее время при диагностировании контактной сети считают целесообразным контролировать следующие параметры системы «контактная сеть – токоприемник» [3]:

- износ контактных проводов;
- нагрев проводов и токоведущих зажимов;
- высота контактных проводов над уровнем головки рельса;
- зигзаги и выносы контактных проводов;
- отрывы токоприемников;
- подбои (удары);
- углы наклона фиксатора;
- разница в высотах подхватываемых проводов на сопряжениях и стрелках;
- статистическое и динамическое нажатие полоза токоприемника;
- наличие местного отжига контактно провода;
- состояние изоляторов;
- состояние искровых промежутков.

Часть указанных параметров контролируется аппаратурой специализированных вагон-лабораторий (вагон испытания контактной сети – ВИКС), другая – портативными устройствами диагностики.

В соответствии с Правилами устройства и технической эксплуатации контактной сети электрифицированных железных дорог (ПУТЭКС) [6] результаты диагностирования контактной сети вагоном ВИКС оценивается по балльной системе, являющаяся комплексным показателем, отражающим состояние контактной сети.

Структура построения балльной оценки такова, что отклонения параметров, влияющие на безопасность движения поездов и на экономические показатели процесса взаимодействия контактной сети и токоприемников, оцениваются предупредительными баллами (от 10 до 200 баллов). Отклонения от нормируемых параметров, угрожающие безопасности движения поездов и надежности процесса токосъема токоприемников, которые должны устраняться незамедлительно, оцениваются 400 баллами.

Балльная оценка состояния контактной сети определяется на основании инспекционных объездов электрифицированных участков вагоном-лабораторией с автоматической записью основных параметров и визуальной оценкой отдельных параметров контактной сети.



В ГОСТ Р 53685-2009 [2] дано определение: «Балльная оценка состояния контактной сети железной дороги: показатель содержания контактной сети железной дороги, выраженный в штрафных баллах за отступление от установленных параметров регулирования контактной подвески железной дорог».

Вагон-лаборатория ВИКС (производство ООО НИИЭФА – Энерго, г. Санкт-Петербург) оснащен электронно-вычислительной техникой, телевизионной дальнометрической системой для контроля состояния контактной сети, что позволяет расширить перечень измеряемых параметров и значительно повысить точность диагностических измерений.

Вагон-лаборатория производит проверку условий прохода токоприемника по величине зигзагов, выносов и высот контактного провода. Кроме того, при объезде с вагон-лабораторией начальник дистанции электроснабжения (или его заместитель) из смотровой кабины осматривает состояние отдельных узлов, особенно наиболее ответственных фиксаторов, сопряжений, компенсаторов и т.д. Сравнивая результаты фактических данных измерений с параметрами, установленными нормативным журналом основных параметров контактной сети, дают оценку состояния контактной сети. Отступления от нормативов оценивают штрафными баллами по специальной шкале.

Нормативный журнал содержания контактной сети по балльной системе утверждаются для каждой дистанции контактной сети начальником службы электрификации и электроснабжения железной дороги в соответствии с ПУТЭКС [6].

Кроме того, оценивают штрафными баллами и отступления, обнаруженные визуально: неправильная установка фиксатора, разбитый изолятор и т.д. Учитывают также случаи допущенного брака в работе и повреждений, приведшим к задержкам поездов.

Нормативы оценки состояния контактной сети по балльной системе приведены в табл. 6 [17]. В табл. 6 учтены изменения по техническому указанию № К-119/95 о внесении дополнений в Методику балльной оценки контактной сети. Балльная оценка формируется по трем разделам: регистрируемые показатели, визуальные показатели и учитываемые показатели.

### Нормативы оценки состояния контактной сети по балльной оценке

№ п/п	Нормируемый показатель	Зарегистрированное значение нормируемого показателя	Штрафной балл
<b>Раздел № 1. Регистрируемые показатели</b>			
1.1	Отклонение от нормируемого в ПУТЕКС зигзага контактного провода в точках фиксации и в точке наибольшего отклонения от оси токоприемника на воздушных стрелках и сопряжениях, мм	От 160 до 200 Более 200	50 100
1.2	Зигзаг контактного провода, мм	Более 500	400
1.3	Вынос контактного провода , абсолютное значение, мм	Более 450	400
1.4	Ненагруженный фиксатор на прямом участке	Наличие	50
1.5	Абсолютное значение разности величин зигзага при одностороннем зигзаге контактного провода на прямом участке пути у смежных опор, мм	Менее 150	50
1.6	Превышение уклона контактного провода, указанного в ПУТЭКС, %	От 0 до 25 Более 25	50 150
1.7	Отклонение высоты контактного провода в любой точке пролета от нормируемого в ПУТЭКС при минимальной высоте 5750 мм, мм Для контактной сети постоянного тока напряжением 3 кВ  Для контактной сети переменного тока 25 кВ	От 0 до 50 От 50 до 100 Более 100 От 0 до 50 Более 50	50 100 200 100 200

Продолжение табл. 6

№ п/п	Нормируемый показатель	Зарегистрированное значение нормируемого показателя	Штрафной балл
1.8	<p>Уменьшение высоты контактного провода в любой точке пролета от нормируемого в ПУТЭС, мм:                      Для контактной сети постоянного тока напряжением 3 кВ при минимальной высоте 5550 мм                      Для контактной сети переменного тока напряжением 25 кВ при минимальной высоте 5675 мм</p>	<p>Более 10                      Более 10</p>	<p>400                      400</p>
1.9	<p>Высота контактного провода над УГР менее 6000 мм на переезде</p>	<p>Пролет</p>	<p>400</p>
1.10	<p>Абсолютное значение стрелы провеса контактного провода, штрафуется однократно на пролете, мм</p>	<p>От 150 до 250                      Более 250</p>	<p>100                      150</p>
1.11	<p>Отклонение по высоте контактного провода на воздушных стрелках главного и бокового пути в зоне подхвата, мм, при движении:                      — по главному пути при скорости движения до 120 км/ч                      — по главному пути при скорости движения свыше 120 км/ч                      — по боковому пути</p>	<p>От +40 до +80                      Более +80                      Более +40                      Более +80</p>	<p>100                      200                      200                      200</p>
1.12	<p>Уменьшение расстояния по высоте от рабочего контактного провода до отходящей или пересекающей анкерной ветви, фиксирующего троса, основного стержня фиксатора, оттяжки и других пересекающих проводов, мм</p>	<p>80 и менее</p>	<p>400</p>

№ п/п	Нормируемый показатель	Зарегистрированное значение нормируемого показателя	Штрафной балл
1.13	Уменьшение расстояния по высоте от рабочего контактного провода до элементов дополнительного фиксатора, мм — при зигзаге менее 300 мм — при зигзаге более 300 мм	80 и менее 80 и менее	200 50
1.14	Превышения контактного нажатия над расчетным, нормируемым для установленной максимальной скорости движения поезда, Н  Снижение контактного нажатия от расчетного, нормируемого для установленной максимальной скорости движения поезда, Н	От 50 до 100 От 100 до 150 Более 150 От 60 до 100 Более 100	10 50 100 50 100
1.15	Удар по полозу токоприемника или отрыв полоза токоприемника	Регистрация	100
<b>Раздел № 2. Визуальные показатели</b>			
2.1	Наличие зажимов в зоне подхвата воздушной стрелки, защемление контактного провода в ограничительной накладке, отсутствие поперечных соединителей	Стрелка	150
2.2	Несоответствие температуре воздуха расстоения грузов компенсаторов от земли до ролика	Грузы	100
2.3	Наличие оборванных жил в несущем тросе, многожильных тросах компенсации и средней анкеровки	Обрыв	200
2.4	Разбитый изолятор контактной сети, ВЛ	Изолятор	50

Продолжение табл. 6

№ п/п	Нормируемый показатель	Зарегистрированное значение нормируемого показателя	Штрафной балл
2.5	Наклон опоры контактной сети, не соответствующему нормативному	Опора	50
2.6	Отсутствие заземления опоры	Заземление	50
2.7	Разрегулировка или отсутствие разрядника	Разрядник	50
2.8	Отсутствие или неудовлетворительное состояние нумерации опор	Перегон	100
2.9	Отсутствие специальных указателей и отличительной окраски опор на изолирующем воздушном промежутке и нейтральной вставке	Сопряжение	200
2.10	Провисание ветви средней анкеровки ниже уровня контактного провода	Анкеровка	400
2.11	Оборванная струна	Струна	20
2.12	Отсутствие электрического соединения на сопряжении , воздушной стрелке, наличие электрического соединителя несоответствующего требованиям	Пролет	50
2.13	Приближение проводов контактной сети к заземленным частям менее 150 мм на постоянном токе и менее 300 мм на переменном токе	Приближение	150
2.14	Несоответствие техническим нормам стыковки несущего троса, усиливающего , питающего провода	Стыковка	150
2.15	Наличие птичьих гнезд	Гнезда	50

№ п/п	Нормируемый показатель	Зарегистрированное значение нормируемого показателя	Штрафной балл
2.16	Наличие нагретого узла (элемента) контактной сети	Нагрев	*
<b>Раздел № 3 Учитываемые показатели</b>			
3.1	Падение опоры или жесткой поперечины контактной сети	Падение	800
3.2	Случай брака в работе эксплуатационного персонала дистанции электроснабжения, прошедший к задержке поездов, кроме учтенного в пункте 3.1.	Брак	600
3.3	Повреждения контактной сети по вине персонала дистанции электроснабжения, приведшие к задержке поездов, кроме учтенного в пункте 3.1.	Повреждение	200

\* Считать опасным местом, подлежащим незамедлительному устранению, штрафной балл не зачисляется.

Результаты от деления общего числа штрафных баллов по району контактной сети на количество проверенных километров, т.е. количество баллов, приходящихся в среднем на 1 км, определяют оценку состояния контактной сети. Состояние контактной сети по району считается отличным, если число баллов на 1 км не превышает 50, хорошим – от 51 до 100, удовлетворительным – от 101 до 150 и неудовлетворительным, когда число баллов превышает 150.

### **2.3.2. Методика выполнения расчетов балльной оценки**

В рассматриваемой задаче предлагается рассчитать балльную оценку по данным измерений на участке нечетного пути в 2 км. Отступления измеренных параметров контактной сети от нормативов представить в таблице. Как пример, показана подобная табл. 7.

В задаче учитывать отклонения только по разделу № 1 — Регистрируемые показатели (табл. 6).

Упрощенно принимается, что фактические нормативы параметров контактной сети соответствуют следующим значениям:

Зигзаг на прямом участке пути — 300 мм;

То же на кривом участке пути — 400 мм;

Вынос в середине пролета на кривой — 200 мм

Односторонний зигзаг отсутствует.

Кроме того, принять длину пролетов между опорами контактной сети — 60 м, максимальный уклон 0,004, а максимальная и минимальная высота контактного провода — соответственно 6800 и 5750 мм.

Сравнивая фактические данные измерения с нормативами (табл. 6) студент заполняет табл. 7 и рассчитывает среднюю балльность на заданном участке в 2 км. При этом в контрольной работе визуальные и учитываемые показатели по табл. 6 (раздел 2 и 3) в контрольной работе не рассматриваются.

В частности, на участке в 2 км по расчетам табл. 7 средний балл равен  $350/2 = 175$  баллов.

**Пример заполнения для контактной сети системы 25 кВ**

Номер опоры	Отклонение от нормативов, мм			Количество штрафных баллов
	зигзага	выноса	высоты	
1	2	3	4	5
3	+180		5700	50 + 50 = 100
7	-70			50
11	+210			100
17 - 19		+220		100
и т.д.				
<b>Итого</b>				<b>350</b>

***Контрольные вопросы к задаче 3***

1. Назовите технические средства диагностирования контактной сети.
2. Как диагностировать изоляторы, нагрев деталей и износ контактной сети ?
3. Расскажите о диагностировании подземной части опор контактной сети.
4. Параметры диагностирования контактной сети вагоном ВИКС.
5. Расскажите, как вагон ВИКС измеряет параметры контактной подвески.
6. Как определить балльную оценку контактной сети.
7. Приведите примеры регистрируемых, визуальных и учитываемых показателей в общей балльной оценке контактной сети.
8. Приведите пример расчета балльной оценки.

**ЛИТЕРАТУРА**

- 1.ГОСТ 20911-89. Техническая диагностика. Термины и определения. — М.: Стандарты, 1990.
- 2.ГОСТ Р 53685-2009 Электрификация и электроснабжение. Термины и определения. — М.: Стандарты, 2010.



3. Ефимов А. В., Галкин А. Г. Надежность и диагностика систем электроснабжения железных дорог. Учебник для вузов ж.-д. транспорта. — М.: УМК МПС России, 2000 — 512 с.

4. Сапожников В. В., Сапожников Вл. В. Основы технической диагностики: Учебное пособие для студентов вузов ж.-д. транспорта. — М.: Маршрут, 2004. — 318 с.

5. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Обязательны для всех потребителей электроэнергии независимо от их ведомственной принадлежности и форм собственности: М-во энергетики РФ. — М.: НЦ ЭНАС, 2003. — 304 с.

6. Правила устройств и технической эксплуатации контактной сети электрифицированных железных дорог (ЦЭ-868). — М.: Трансиздат, 2002.

7. Силовые трансформаторы. Справочная книга./ Под ред. С.Д.Лизунова, А.К. Лоханина. — М.: Энергоиздат, 2004. — 616 с.

8. Марквардт К.Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог. — М.: Транспорт, 1982.

9. Справочник по электроснабжению железных дорог. Т.1/ Под ред. К.Г. Марквардта. — М.: Транспорт, 1980. — 256 с.

10. Баркан Я.Д. Эксплуатация электрических систем. — М.: Высшая школа. 1990. — 304 с.

11. Быстрицкий Г. Ф., Кудрин Б. И. Выбор и эксплуатация силовых трансформаторов. — М.: Издательский дом «Академия», 2003. — 176 с.

12. Коптелов В. Б. Аппаратурный контроль остаточного ресурса трансформатора тяговых подстанций // Сб. «Совершенствование устройств и методов расчета систем электроснабжения». Вып. № 107. — М.: ВЗИИТ, 1983. С. 69 — 73.

13. Кучинский Г. С. и др. Силовые электрические конденсаторы. — М.: Энергия 1975, — 248 с.

14. Бородулин Б. М., Герман Л. А., Николаев Г. А. Конденсаторные установки электрифицированных железных дорог. — М.: Транспорт. 1983. — 183 с.

15. Силовое оборудование тяговых подстанций железных дорог (сборник справочных материалов) ОАО «РЖД». — М.: ТРАНСИЗДАТ, 2004. — 384 с.

16. Герман Л.А., Сеницына Л.А., Петренко В.Г. Контроль износа изоляции конденсаторов // Электрическая и тепловозная тяга, 1983. №12. С. 32–33.

17. Методика балльной оценки состояния контактной сети, утверждена МПС России 31.01.2002. М-73у. — М., 2002.

18. Герман Л.А., Дмитриенко А.В., Гирина Е.С. Дипломные и курсовые работы. Методические указания/ Под ред. проф. В.А. Бугреева. — М.: МИИТ, 2009.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
В1. Основные термины и определения .....	3
В2. Задачи технической диагностики .....	4
В3. Цель и объем контрольной работы.....	7
1. ЗАДАНИЕ НА КОНТРОЛЬНУЮ РАБОТУ .....	8
Задача 1. Расчет остаточного ресурса трансформатора тяговой подстанции .....	8
Задача 2. Расчет ресурса конденсаторов в установке продольной емкостной компенсации электрифици- рованных железных дорог переменного тока.....	8
Задача 3. Расчет балльной системы оценки состояния контактной сети .....	12
2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ .....	15
2.1. Общие требования по оформлению контрольной работы .....	15
2.2. Методические указания к задаче 1 .....	16
2.3. Методические указания к задаче 2 .....	25
2.3. Методические указания к задаче 3 .....	31
2.3.1. Общие положения по диагностированию системы «контактная сеть – токоприемник» вагоном-лабораторией .....	31
2.3.2. Методика выполнения расчетов балльной оценки .....	39
ЛИТЕРАТУРА .....	40

## ОСНОВЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

*Задание на контрольную работу  
с методическими указаниями*

Редактор *В.К. Тихоньчева*  
Корректурa *Г.В. Тимченко*  
Компьютерная верстка *Г.Д. Волкова*

---

Тип.зак. 27

Подписано в печать 16.11.11

Усл.печ.л 2,75

Изд.зак. 111

Гарнитура Newton

Тираж 300 экз.

Формат 60 × 90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>

---

Редакционный отдел  
Информационно-методического управления РОАТ,  
125993, Москва, Часовая ул., 22/2

Участок оперативной печати  
Информационно-методического управления РОАТ,  
125993, Москва, Часовая ул., 22/2