

1. Тема: Эксплуатация оборудования электрических сетей. Вариант Б, Задача № 1

2. Задание: Определить по температурному полю, измеренному тепловизором состояние термосифонного фильтра силового трансформатора.

3. Теория вопроса по теме: Определение работоспособности устройств системы охлаждения трансформаторов

Снятие термограмм устройств системы охлаждения трансформаторов (дутьевые вентиляторы, маслонасосы, фильтры, радиаторы трансформаторов с естественной циркуляцией масла и т.п.) позволяет оценить их работоспособность и при необходимости принять оперативные меры к устранению неполадок.

4. Температурное поле снимается тепловизором и представлено на Рис. 1, Фото. 1. Термосифонные фильтры

При ИК - контроле можно судить о работоспособности термосифонных фильтров (ТФ) трансформаторов. Как известно, ТФ предназначен для непрерывной регенерации масла в процессе работы трансформатора. Движение масла через фильтр с адсорбентом происходит под действием тех же сил, которые обеспечивают движение масла через охлаждающие радиаторы, т.е. разностей плотности горячего и холодного масла. ТФ подсоединён параллельно трубам радиатора системы охлаждения, поэтому у работающего фильтра температуры на входе и выходе, если трансформатор нагружен, должны различаться между собой. В налаженном фильтре будет иметь место плавное повышение температуры по его высоте. При использовании мелкозернистого силикагеля, шламообразования в фильтре, случайном закрытии задвижки на трубопроводе фильтра, при работе трансформатора в режиме х. х. циркуляция масла в фильтре будет незначительна или отсутствовать вообще. В этих случаях температура на входе и выходе фильтра будет практически одинакова.

5. Решение возникшей проблемы:

Трансформатор установлен на пристанционном узле, диспетчерское наименование 21Т. Нагрузка 21т 85% $P_n$ . Температура термосифонного фильтра в области  $P1 = +31,0^{\circ}\text{C}$ , а в области  $P2 = +21,7^{\circ}\text{C}$ . Не смотря на то, что перепад температур на входе и выходе ТФ различаются между собой на  $(+31,0^{\circ}\text{C}) - (+21,7^{\circ}\text{C}) = 9,3^{\circ}\text{C}$ , плавное повышение температуры по высоте ТФ отсутствует (см. Рис. 1). Это свидетельствует о не прохождении трансформаторного масла по всему сечению термосифонного фильтра. При этом происходит недостаточный объем циркуляции масла через ТФ трансформатора (не происходит непрерывная регенерация масла и удаление из масла продуктов старения). Наиболее вероятной причиной может быть шламообразование, заправка мелкозернистым силикагелем.

Трансформатор установлен на пристанционном узле, диспетчерское наименование 21Т.

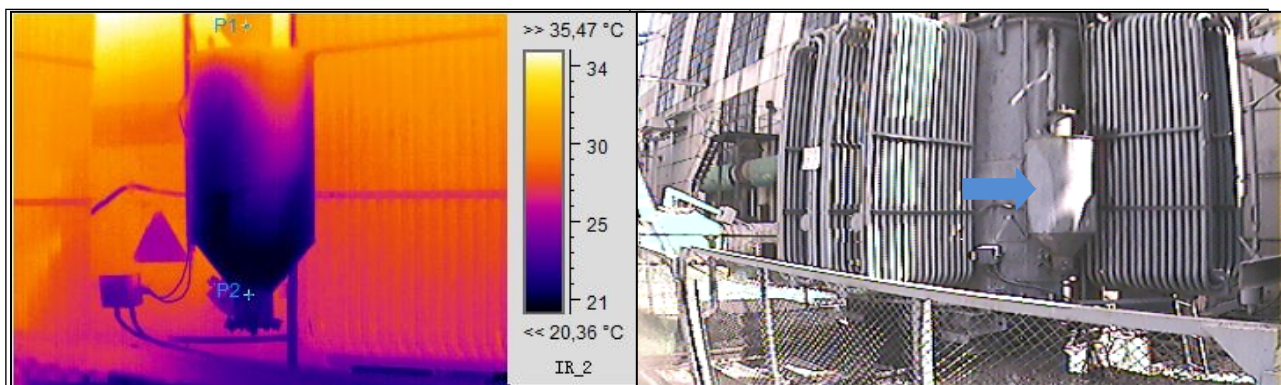


Рис.1. Температурное поле термосифонного фильтра силового трансформатора

Фото 1. Силовой трансформатор

Заключение: Рекомендуется чистка термосифонного фильтра (ТФ) от отложений (предварительно проверить положение запорной арматуры).

#### 6. Вопросы охраны труда.

Подготовка рабочего места и допуск командированного персонала к работам в электроустановках проводятся в соответствии с Правилами ... и осуществляются работниками организации, в электроустановках которой производятся работы. Командированным персоналом работы проводятся в действующих электроустановках по нарядам и распоряжениям, а в случае если командированному персоналу предоставляются права оперативно-ремонтного персонала, работы могут проводиться и в порядке текущей эксплуатации в соответствии с главой VIII Правил.

7. Заключение: Рекомендуется чистка термосифонного фильтра (ТФ) от отложений (предварительно проверить положение запорной арматуры).

5. Тема: Эксплуатация оборудования электрических сетей. Вариант Б, Задача № 2

6. **Задание:** Определить по температурному полю, измеренному тепловизором состояние термосифонного фильтра силового трансформатора.

7. Теория вопроса по теме: Определение работоспособности устройств системы охлаждения трансформаторов.

Снятие термограмм устройств системы охлаждения трансформаторов (дутьевые вентиляторы, маслонасосы, термосифонные фильтры, радиаторы трансформаторов с естественной циркуляцией масла и т.п.) позволяет оценить их работоспособность и при необходимости принять оперативные меры к устранению неполадок. Температурное поле снимается тепловизором и представлено на Рис. 1, Фото. 1.

#### 4. Термосифонные фильтры

При выполнении ИК – контроля термосифонных фильтров (ТФ) можно дать оценку о работоспособности ТФ силовых трансформаторов. Как известно, ТФ предназначен для непрерывной регенерации масла в процессе работы трансформатора. Движение масла через фильтр с адсорбентом происходит под действием тех же сил, которые обеспечивают движение масла через охлаждающие радиаторы, т.е. разностей плотности горячего и холодного масла. ТФ подсоединён параллельно трубам радиатора системы охлаждения, поэтому у работающего фильтра температуры на входе в ТФ и выходе, если трансформатор нагружен, должны различаться между собой. В налаженном фильтре будет иметь место плавное повышение температуры по его высоте. При использовании мелкозернистого силикагеля, шламообразования в фильтре, случайном закрытии задвижки на трубопроводе фильтра, при работе трансформатора в режиме х. х. циркуляция масла в фильтре будет незначительна или отсутствовать вообще. В этих случаях температура на входе и выходе фильтра будет практически одинакова.

#### 5. Решение возникшей проблемы:

Трансформатор установлен на ПС-110 кВ Кожухово, диспетчерское наименование Т6. Нагрузка составляет 80%  $P_n$ . Температура термосифонного фильтра в области P1=+6,93°C, а в области P2=+6,81°C. Перепад температур на входе и выходе ТФ различаются между собой на  $(+6,93^\circ\text{C}) - (+6,81^\circ\text{C}) = 0,12^\circ\text{C}$ , отсутствует циркуляция масла через термосифонный фильтр трансформатора Т-6, в результате чего не происходит непрерывная регенерация масла и удаление из масла продуктов старения и влаги. Наиболее вероятной причиной может быть шламообразование, заправка мелкозернистым силикагелем, закрытие одного из вентиляй.

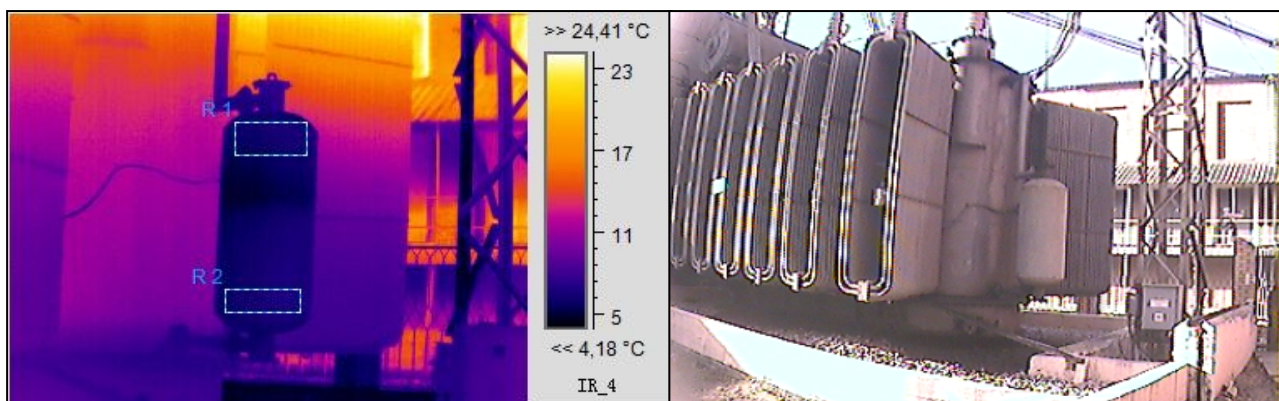


Рис.1. Температурное поле термосифонного трансформатора

Фото 1. Силовой трансформатор фильтра силового

#### 6. Вопросы охраны труда.

Подготовка рабочего места и допуск командированного персонала к работам в электроустановках проводятся в соответствии с Правилами и осуществляются работниками организации, в электроустановках которой производятся работы. Командированным персоналом работы проводятся в действующих электроустановках по нарядам и распоряжениям, а в случае если командированному персоналу предоставляются права оперативно-ремонтного персонала, работы могут проводиться и в порядке текущей эксплуатации в соответствии с главой VIII Правил.

7.Заключение: ПС 110/35/6 кВ Кожухово ОРУ-110 кВ. Отсутствует циркуляция масла через термосифонный фильтр трансформатора Т-6. Рекомендуются чистка от отложений и влаги, замена мелкозернистого силикагеля на силикагель со стандартными гранулами (предварительно проверить положение запорной арматуры).

8. Тема: Эксплуатация оборудования электрических сетей. Вариант Б, Задача № 1

9. **Задание:** Определить по температурному полю, измеренному тепловизором состояние термосифонного фильтра силового трансформатора.

10. Теория вопроса по теме: Определение работоспособности устройств системы охлаждения трансформатора.

Снятие термограмм устройств системы охлаждения трансформаторов (дутьевые вентиляторы, маслонасосы, фильтры, радиаторы трансформаторов с естественной циркуляцией масла и т.п.) позволяет оценить их работоспособность и при необходимости принять оперативные меры к устранению неполадок.

4. Температурное поле снимается тепловизором и представлено на Рис. 1, Фото. 1. Термосифонные фильтры

При выполнении ИК – контроля термосифонных фильтров (ТФ) можно дать оценку о работоспособности ТФ силовых трансформаторов. Как известно, ТФ предназначен для непрерывной регенерации масла в процессе работы трансформатора. Движение масла через фильтр с адсорбентом происходит под действием тех же сил, которые обеспечивают движение масла через охлаждающие радиаторы, т.е. разностей плотности горячего и холодного масла. ТФ подсоединён параллельно трубам радиатора системы охлаждения, поэтому у работающего фильтра температуры на входе в ТФ и выходе, если трансформатор нагружен, должны различаться между собой. В налаженном фильтре будет иметь место плавное повышение температуры по его высоте. При использовании мелкозернистого силикагеля, шламообразования в фильтре, случайном закрытии задвижки на трубопроводе фильтра, при работе трансформатора в режиме х. х. циркуляция масла в фильтре будет незначительна или отсутствовать вообще. В этих случаях температура на входе и выходе фильтра будет практически одинакова.

5. Решение возникшей проблемы:

Трансформатор установлен на ПС-110 кВ Кожухово, диспетчерское наименование Т5. Нагрузка составляет 70%  $P_n$ . Температура термосифонного фильтра в области P1= +5,22°C, а в области P2= +4,68,7°C. Перепад температур на входе и выходе ТФ различаются между собой на (+5,22°C) – (4,68+°C) = 0,54°C, Практически отсутствует циркуляция масла через термосифонный фильтр трансформатора Т-5, в результате чего не происходит непрерывная регенерация масла и удаление из масла продуктов старения и влаги. Наиболее вероятной причиной может быть шламообразование, заправка мелкозернистым силикагелем, прикрытие одного из вентиляей.

ПС 110/35/6 кВ Кожухово ОРУ-110 кВ. Отсутствует циркуляция масла через термосифонный фильтр трансформатора Т-5.

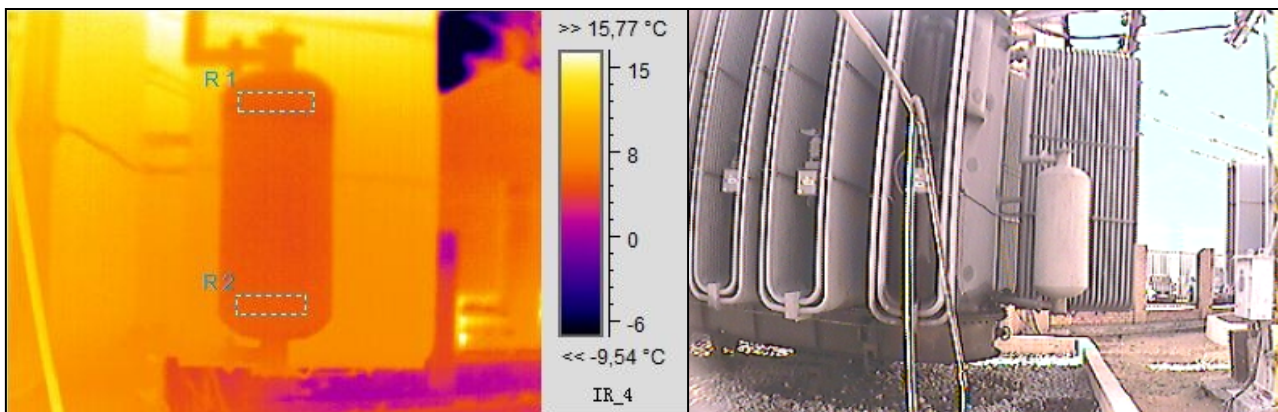


Рис.1. Температурное поле термосифонного  
фильтра силового трансформатора

Фото 1. Силовой трансформатор

#### 6. Вопросы охраны труда.

Подготовка рабочего места и допуск командированного персонала к работам в электроустановках проводятся в соответствии с Правилами и осуществляются работниками организации, в электроустановках которой производятся работы. Командированным персоналом работы проводятся в действующих электроустановках по нарядам и распоряжениям, а в случае если командированному персоналу предоставляются права оперативно-ремонтного персонала, работы могут проводиться и в порядке текущей эксплуатации в соответствии с главой VIII Правил.

7. Заключение: ПС 110/35/6 кВ Кожухово ОРУ-110 кВ. Отсутствует циркуляция масла через термосифонный фильтр трансформатора Т-5.

Рекомендуется чистка термосифонного фильтра (ТФ) от отложений и влаги, замена мелкозернистого силикагеля на силикагель со стандартными гранулами (предварительно проверить положение запорной арматуры).

11. Тема: Эксплуатация оборудования электрических сетей. Вариант Б, Задача № 4

12. **Задание:** Определить по температурному полю, измеренному тепловизором состояние маслонаполненных вводов силового трансформатора.

13. Теория вопроса по теме: Определение работоспособности маслонаполненных вводов силового трансформатора

Снятие термограмм маслонаполненных вводов трансформаторов позволяет оценить их работоспособность и при необходимости принять оперативные меры к устранению неполадок.

4. Температурные поля снимаются тепловизором и представлены на Рис.1 , 2. Маслонаполненные вводы.

При проведении ИК - диагностики можно выявлять следующие виды неисправностей во вводах:

- нагревы в местах подсоединений внешних проводников к зажимам вводов;
- образование короткозамкнутых контуров в расширителях герметичных вводов;
- нагревы внутренних контактных соединений вводов;
- понижение уровня масла во вводах.

При не выявлении утечки масла через нижнее уплотнение герметичного ввода по манометру, критерием подобной неисправности может служить характер изменения температурных градиентов по высоте ввода. При наличии во вводе полного объёма масла имеет место плавное снижение температурных градиентов\* от бака трансформатора к расширителю ввода.

На рис.1 представлен характер распределения температуры по высоте маслонаполненного ввода при: А - наличии к. з. контура в маслорасширителе; Б - нагреве внутренних контактных соединений; В - пониженном уровне масла во вводе; Г - оголенном токоведущем стержне в верхней части ввода; Д - нарушении циркуляции масла во вводе (разбухание бумажной оплётки, шламообразование и т.п.); Е - нанесении бумажной изоляции по всей высоте токоведущего стержня; Ж - увлажнении верхней части изоляционного остова и повышенных диэлектрических потерях.

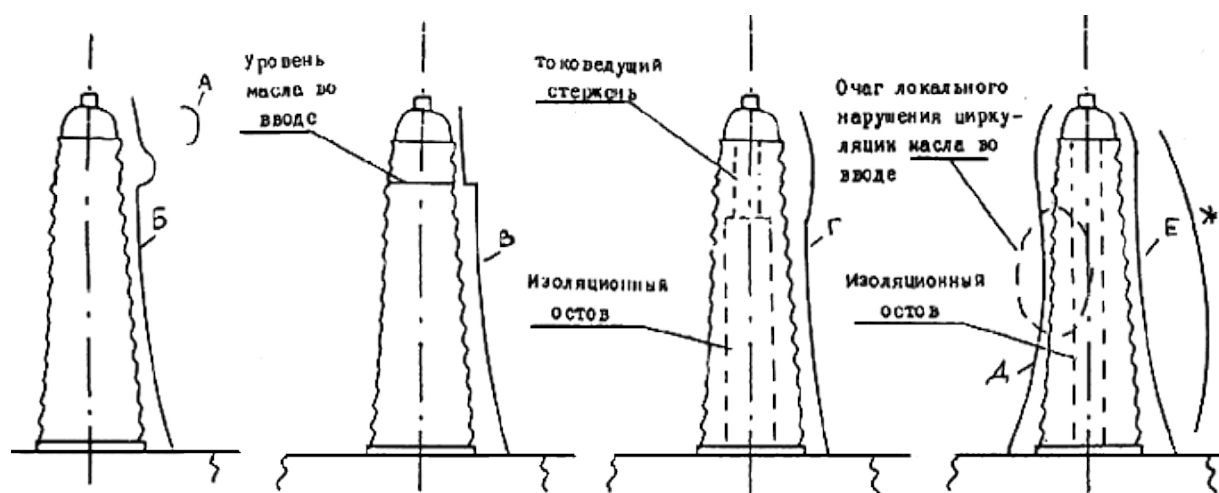


Рис.1 Характер распределения температуры по высоте маслонаполненного ввода.

- При пониженном уровне масла во вводе зависимость  $T = f(h)$  резко изменяется на уровне столба масла во вводе.
- Увлажнение верхней части остова ввода.
- При нарушении герметизации элементов маслорасширителя негерметичного ввода внутрь последнего может проникнуть влага, которая в последующем вызовет увлажнение верхней части бумажного остова ввода с протеканием тока утечки, образованием проводящих "дорожек", их нагревом и т.п. На определённом этапе развития этого процесса можно выявить очаг возникновения частичного разряда внутри ввода по характеру аномального нагрева на поверхности фарфоровой покрывки.



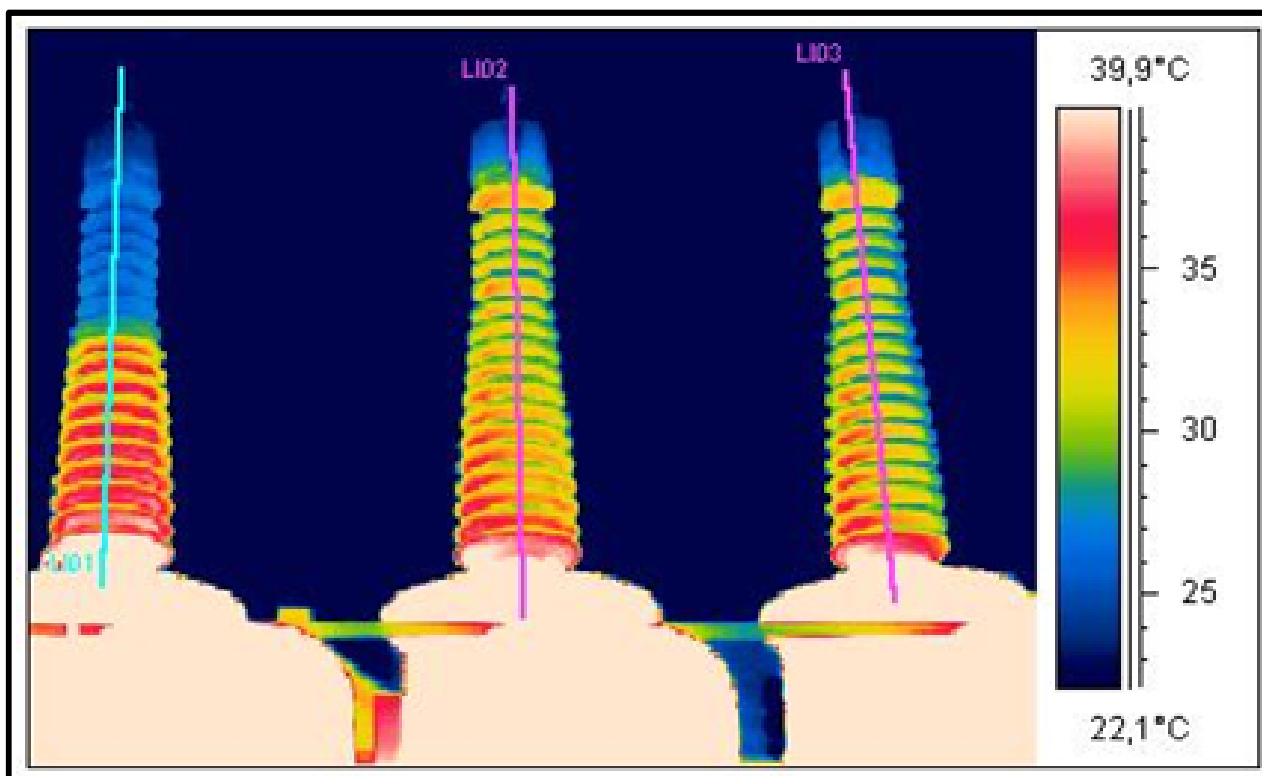


Рис.2 Термограмма дефектных трансформаторных маслонаполненных вводов 110 кВ.

Правые два ввода - нагревы в местах подсоединений внешних проводников к зажимам вводов, нагревы внутренних контактных соединений вводов.  
Левый ввод – понижение уровня масла во вводе.

На рис.3 представлена термограмма маслонаполненных высоковольтных вводов 220кВ и 500кВ.

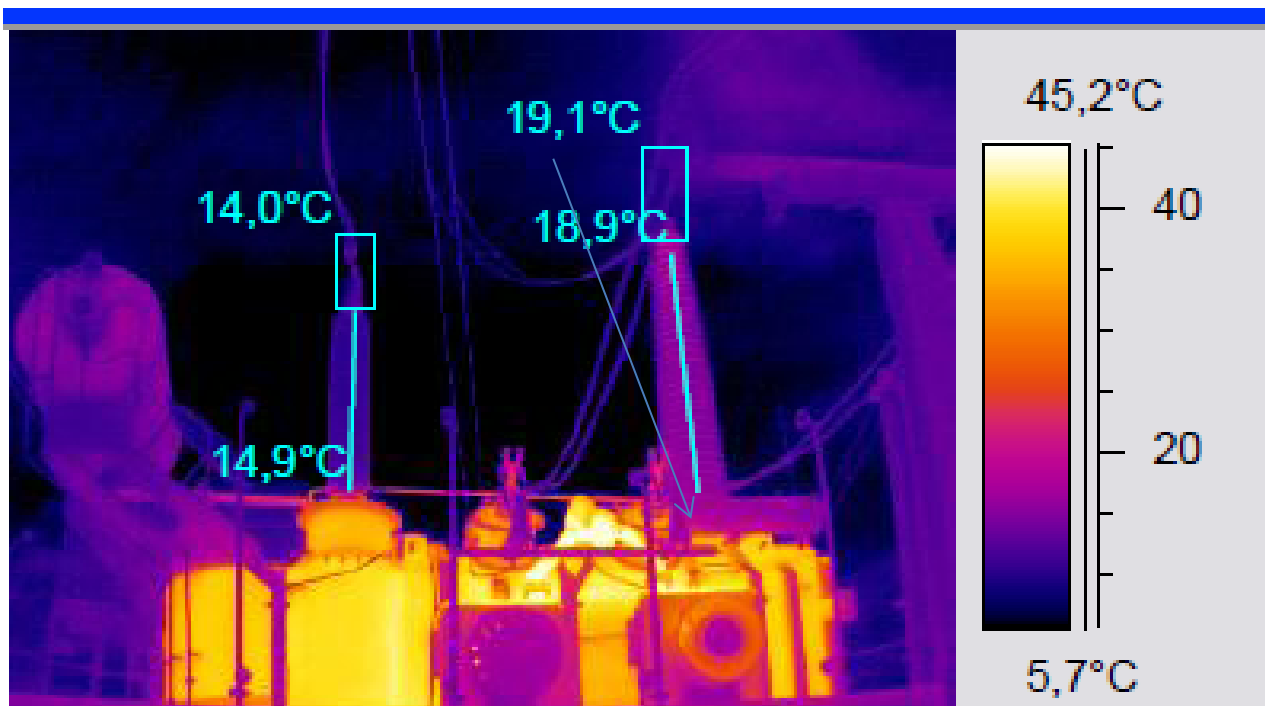


Рис.3 Термограмма высоковольтных вводов 220 кВ (слева) и 500 кВ (справа) автотрансформатора типа АОДЦН-167000/500/220, температура окружающего воздуха, +12°C.

Распределение температуры по поверхности ввода		Максимальная температура нагрева контактных соединений
500 кВ		19,1°C
220 кВ		14,0°C

Рабочий ток присоединения сторона 500 кВ – 350 А. Номинальный ток присоединения 500 кВ – 1600А, рабочий ток присоединения стороны 220 кВ – 100 А. Номинальный ток присоединения 220 кВ – 2000 А.

Температура нагрева контактных соединений и поверхности вводов в норме. Замечаний нет.

##### 5. Решение возникших проблем:

Рис. 2. Термограмма дефектных трансформаторных маслонаполненных вводов 110 кВ.

Правые два ввода - нагревы в местах подсоединений внешних проводников к зажимам вводов, нагревы внутренних контактных соединений вводов (нагрев в пределах 37-38<sup>0</sup>С).

Левый ввод – понижение уровня масла во вводе (резко изменяется температура на уровне столба масла во вводе). Изменение температуры  $T = f(h)$  с 34<sup>0</sup>С до 27<sup>0</sup>С.

Рис.3 Термограмма высоковольтных вводов 220 кВ (слева) и 500 кВ (справа) автотрансформатора типа АОДЦТН-167000/500/220, температура окружающего воздуха, +12<sup>0</sup>С. Перепад температуры по высоте вводов не превышает на вводе 220 кВ 0,9<sup>0</sup>С и на 500 кВ 0,2<sup>0</sup>С. Распределение температуры по высоте ввода плавное.

##### 6. Вопросы охраны труда.

Подготовка рабочего места и допуск командированного персонала к работам в электроустановках проводятся в соответствии с Правилами и осуществляются работниками организации, в электроустановках которой производятся работы. Командированным персоналом работы проводятся в действующих электроустановках по нарядам и распоряжениям, а в случае если командированному персоналу предоставляются права оперативно-ремонтного персонала, работы могут проводиться и в порядке текущей эксплуатации в соответствии с главой VIII Правил.

##### 7. Заключение:

Вводы 110 кВ: правые два – устранить дефекты подсоединений внешних проводников к зажимам вводов, левый ввод – требует замены (устранение течи масла можно произвести только в заводских условиях).

Вводы 220 и 500 кВ: по результатам теплового контроля вводы исправны, рекомендуется измерить тангенс дельта вводов.

Примечание\* градиент а, м. gradient m., лат. gradients. Мера возрастания или убывания в пространстве какой, либо физической величины при перемещении на единицу длины.

14. Тема: Эксплуатация оборудования электрических сетей. Вариант Б, Задача № 5

15. Задание: Определить по температурному полю, измеренному тепловизором состояние радиаторов силового трансформатора

16. Теория вопроса по теме:

17. Определение развивающегося дефекта радиаторов силового трансформатора по температурному полю.

Снятие термограмм устройств системы охлаждения трансформаторов (дутьевые вентиляторы, маслонасосы, фильтры, радиаторы трансформаторов с естественной циркуляцией масла и т.п.) позволяет оценить их работоспособность и при необходимости принять оперативные меры к устранению неполадок.

4. Температурное поле снимается тепловизором и представлено на Рис. 1, радиаторы. Неисправность плоского крана радиатора или ошибочное его закрытие приведёт к перекрытию потока масла через радиатор. В этом случае температура труб радиаторов будет существенно ниже, нежели у работающего радиатора. С течением времени в эксплуатации поверхности труб радиаторов подвергаются воздействию ржавчины, на них оседают продукты разложения масла и бумаги, что порой приводит к уменьшению сечения для потока масла или полному его прекращению. Трубы с подобными отклонениями будут "холоднее" остальных. Движение масла через радиаторы происходит под действием разностей плотности горячего и холодного масла. Температура труб радиаторов системы охлаждения, работающего силового трансформатора, на входе и выходе, если трансформатор нагружен, должны различаться между собой. В налаженном охлаждении радиатор будет иметь плавное повышение температуры по его высоте (верхняя часть труб радиаторов имеет более высокую температуру).

5. Решение возникшей проблемы:

На Рис. 1 изображена термограмма радиаторов силового трансформатора. Температурное поле колеблется от  $+47^{\circ}\text{C}$  до  $+34^{\circ}\text{C}$ . Трубы радиаторов подвергаются воздействию ржавчины, на них оседают продукты разложения масла и бумаги, что порой приводит к уменьшению сечения для потока масла или полному его прекращению. Трубы с подобными отклонениями будут "холоднее" остальных. Перед снятием термограммы обязательно необходимо промыть радиаторы с внешней стороны водой для достоверности определения дефекта. Более холодные части радиаторов отмечают с внешней стороны для анализа теплового поля.

Термограмма радиаторов силового трансформатора.

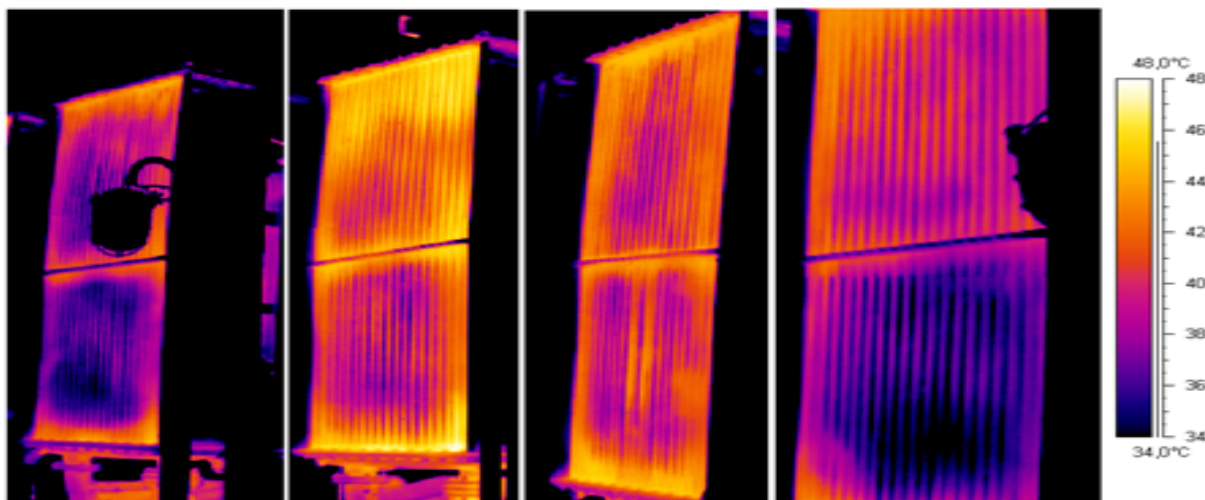


Рис. 1. Термограмма радиаторов силового трансформатора

## 6. Вопросы охраны труда.

Подготовка рабочего места и допуск командированного персонала к работам в электроустановках проводятся в соответствии с Правилами ... и осуществляются работниками организации, в электроустановках которой производятся работы. Командированным персоналом работы проводятся в действующих электроустановках по нарядам и распоряжениям, а в случае если командированному персоналу предоставляются права оперативно-ремонтного персонала, работы могут проводиться и в порядке текущей эксплуатации в соответствии с главой VIII Правил.

7.Заключение: Рекомендуется очистка радиаторов от внутренних отложений (предварительно проверить положение запорной арматуры)

Контроль технологических функций охлаждения и очистки трансформаторного масла Вариант Б. Задача №...:

Задача Т – 1;

Задача Т – 2;

Задача Т – 3;

Задача Т – 4;

Задача Т – 5.

При выполнении контрольных работ берутся следующие сочетания задач:

№ в журнале	№ задач	Задачи выполняются в указанном порядке
1	1,2	-
2	2,3	-
3	3,4	-
4	4,5	-
5	5,1	-
6	1,3	-
7	3,4	-
8	3,2	-
9	1,4	-
10	1,5	-

### Задачи Варианты № 1-13

#### 1. Определить остаточный ресурс силового трансформатора.

#### 2. Задание по определению остаточного ресурса силового трансформатора.

Определить остаточный ресурс силового трансформатора на основе изменения степени полимеризации ( $СП_i$ ) бумажной изоляции, средней температуры эксплуатации и окисляемости масла силового трансформатора. Заданные величины представлены жирным шрифтом.

Вариант	$СП_k$ конец службы	$СП_i$ на момент выполнения расчётов	$K$ старения $10^{-8}$	$T^{\circ}C$ изоляции масла	$L_{ост}$ часов	$L_{ост}$ лет $\approx$	Состояние масла.
1	<b>200</b>	<b>800</b>		<b>90</b>			о. м.
2	<b>250</b>	<b>700</b>		<b>95</b>			о. м.
3	<b>250</b>	<b>900</b>		<b>80</b>			о. м.
4	<b>200</b>	<b>1100</b>		<b>85</b>			с. м.
5	<b>200</b>	<b>1200</b>		<b>100</b>			с.м.
6	<b>250</b>	<b>1100</b>		<b>75</b>			с.м.
7	<b>200</b>	<b>600</b>		<b>70</b>			о.м.
8	<b>210</b>	<b>850</b>		<b>90</b>			о.м.
9	<b>250</b>	<b>400</b>		<b>90</b>			о.м.
10	<b>200</b>	<b>500</b>		<b>80</b>			о.м.
11	<b>250</b>	<b>550</b>		<b>95</b>			о. м.
12	<b>200</b>	<b>700</b>		<b>80</b>			с.м.
13	<b>200</b>	<b>300</b>		<b>70</b>			с.м.

Примечание:

о. м. – окисленное масло,  
с. м. – свежее сухое масло.

В 1 году часов  $24 \cdot 365 = 8760$  час

При выполнении расчётов необходимо учитывать, что бумажная изоляция пропитана окисленным маслом (о. м.) или свежим сухим (с. м.). Для трансформатора, находившегося в эксплуатации, значение  $СП_i$  образца изоляции определяется в таблице, по рис.1 определяется  $K_i$ , а температура масла задаётся в таблице.

Срок службы трансформатора определяют, согласно рекомендациям СИГРЭ, по формуле

$$L = 1/K \cdot (1/СП_k - 1/СП_0),$$

где  $L$  - срок службы, ч;

$K$  - коэффициент старения, зависящий от температуры и состояния бумажной изоляции;

$СП_0$  - степень полимеризации бумажной изоляции неработавшего трансформатора;



$СП_k$  - степень полимеризации бумажной изоляции в конце срока службы трансформатора.

Оценку остаточного ресурса производят исходя из снижения СП к концу срока службы трансформатора до 200-250.  $СП_0$  - степень полимеризации бумажной изоляции неработавшего трансформатора - 1200

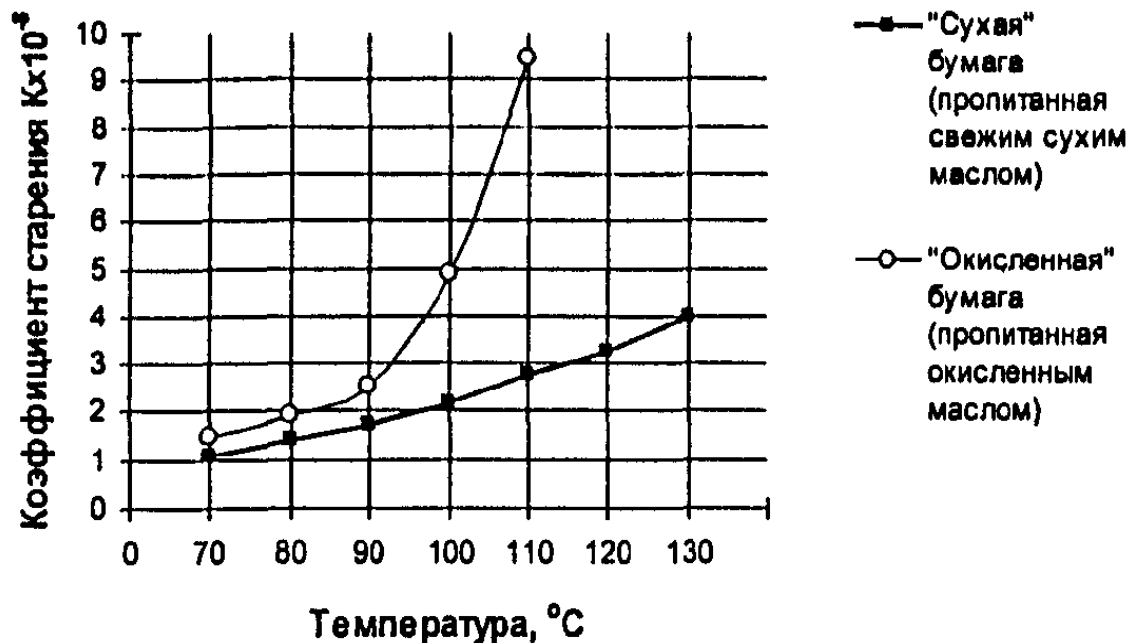


Рисунок 1 - Зависимость коэффициента старения от температуры и состояния бумажной изоляции.

Необходимо выполнить:

3. Решение задачи. (по № варианта).
4. Заключение. (Оценка остаточного ресурса силового трансформатора)

Техническая литература.

1. Методические указания по оценке состояния бумажной изоляции обмоток силовых трансформаторов и шунтирующих реакторов по степени полимеризации. ЗАО «Энергетические технологии» Москва 2008 год.
2. Методические указания по оценке состояния и продлению срока службы силовых трансформаторов. РД ЭО 0410-02.

### Пример оформления решения задачи № 1.

Вариант № .....

#### Задача № 1. «Определение остаточного ресурса силового трансформатора»

##### Теория вопроса:

1. Срок службы  $L$  и остаточный ресурс трансформатора  $L_{\text{ост}}$ , при отсутствии дефектов (и повреждений), могут быть оценены на основе изменения степени полимеризации (СП) бумажной изоляции.

1.1. Срок службы трансформатора определяют, согласно рекомендациям СИГРЭ, по формуле

$$L = \frac{1}{K} \times \left( \frac{1}{\text{СП}_t} - \frac{1}{\text{СП}_0} \right); \quad (1)$$

где  $L$  - срок службы, ч;

$K$  - коэффициент старения, зависящий от температуры и состояния бумажной изоляции;

$\text{СП}_0$  - степень полимеризации бумажной изоляции нового (изготовленного) трансформатора;

$\text{СП}_K$  - степень полимеризации бумажной изоляции в конце срока службы трансформатора.

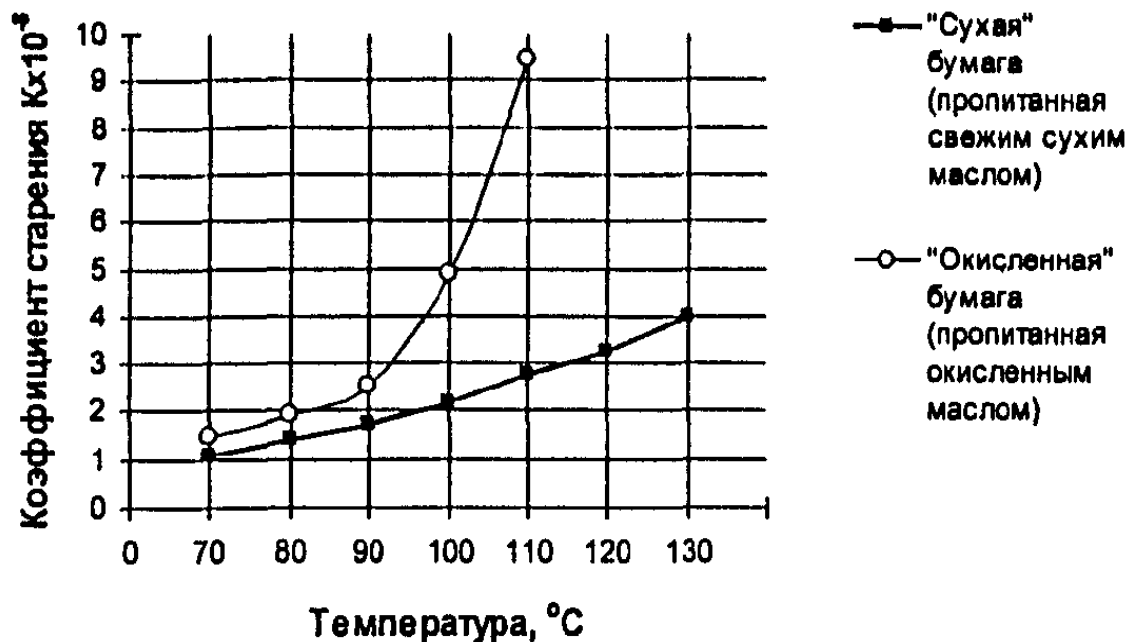
1.2. Остаточный ресурс трансформатора, проработавшего  $t$  часов, определяют по формуле

$$L = \frac{1}{K} \times \left( \frac{1}{\text{СП}_t} - \frac{1}{\text{СП}_n} \right);$$

где  $\text{СП}_t$  - степень полимеризации бумажной изоляции трансформатора, проработавшего  $t$  часов.

На Рис. 1 приведена рекомендуемая СИГРЭ функциональная зависимость коэффициента старения  $K$  от температуры и состояния бумажной изоляции и масла.

Оценку остаточного ресурса производят исходя из снижения СП к концу срока службы трансформатора до 200-250 ед. Для оценки остаточного ресурса необходимо определить СП наиболее нагретых зон твердой изоляции. Определение СП образцов изоляции должно производиться по методике, приведенной в ГОСТ 25438-82.



**Рисунок 1 - Зависимость коэффициента старения от температуры и состояния бумажной изоляции**

**Вариант задачи № 1.**

Исходные данные по Таблице № 1:

Исчерпание службы силового трансформатора по степени полимеризации бумажной изоляции – 200ед.

Значение СП<sub>т</sub> образца картона составляет - 800ед.

Температура трансформаторного масла - 90°C

Окисленная бумага, пропитана окисленным трансформаторным маслом-о. м.

**Решение задачи:**

1. На основании исходных данных приведённых в Таблице № 1 по графику Рис.1 определяем коэффициент старения  $K = 2,52 \cdot 10^{-8}$
2. Определение остаточного ресурса состояния изоляции силового маслонаполненного трансформатора выполняется по формуле

$$L = \frac{1}{K} \times \left( \frac{1}{СП_t} - \frac{1}{СП_o} \right) = \frac{1}{2,52 \times 10^{-8}} \times \left( \frac{1}{200} - \frac{1}{800} \right) = 148809,5 \text{ час}$$

3. Остаточный ресурс выраженный в годах:

$$L_{\text{ост}} = \frac{148809,5 \text{ час.}}{8760 \text{ час.}} = 16,987 \approx 17 \text{ лет}$$

**Заключение:**

Фактическое исчерпание ресурса силового трансформатора (момент достижения предельного состояния) определяют при наличии хотя бы одного из указанных ниже факторов:

- Снижение степени остаточного ресурса полимеризации бумажной изоляции до 200-250.
- Возникновение необратимых дефектов в конструкции.
- Экономическая нецелесообразность продолжения эксплуатации трансформатора с низкими технико-экономическими характеристиками.

На снижение остаточного ресурса в процессе эксплуатации влияют:

- повышение температуры трансформаторного масла;
- степень окисления трансформаторного масла,
- степень полимеризации бумажной изоляции трансформатора,
- на ускорение окисления изоляционных материалов (например, бумажномасляной изоляции) влияет увлажнение.

На основании выполненных расчётов в соответствии с заданными условиями остаточный ресурс силового трансформатора составляет 17 лет.

**Литература:**

1. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Зарегистрировано в Минюсте РФ 22 января 2003 г. № 4145. (ПТЭЭП) (вводятся с 01.07.2003 взамен ПТЭЭП, 5-е издание)
2. СО 153-34.20.501-2003. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. Зарегистрировано в Минюсте РФ 20 июня 2003 г. Регистрационный № 4799 (взамен РД 34.20.501-95)
3. СО 34.45-51.300-97 Объем и нормы испытания электрооборудования. ( РД 34.45-51.300-97 с изменениями 1,2 2000г., 2005 г.)
4. Методические указания по оценке состояния бумажной изоляции обмоток силовых трансформаторов и шунтирующих реакторов по степени полимеризации. ЗАО «Энергетические технологии» Москва 2008 год.

5.Методические указания по оценке состояния и продлению срока службы силовых трансформаторов. РД ЭО 0410-02.