

## ОБОСНОВАНИЕ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ ВЗРЫВОБЕЗОПАСНЫХ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ

Нагорный М.А., Грушко В.М., Чернов И.Я.

Украинский НИИ взрывозащищенного электрооборудования

Шевченко О.А., Сорочка Л.А.

Донецкий национальный технический университет

Kovaliov\_Alex@ukr.net

Актуальность. В подстанциях ТСВП-Х/6 и КТПВ-Х/6 [1] при увеличении температуры обмотки трансформатора до недопустимого по условиям его эксплуатации значения срабатывает дифференциальный датчик температуры (ДТР-1) –7, нормально замкнутые контакты которого заведены в цепь соленоида отключения АВ – 10 (рис.1а). При срабатывании ДТР-1 сигнал поступает на катушку расцепителя минимального напряжения АВ, что приводит к его отключению.

В существующих подстанциях в тепловой защите задействован только расцепитель минимального напряжения. При его неисправности (неправильная регулировка, обрыв цепи и т.д.) и случайном перегрузе трансформатора (температура обмотки увеличилась до температуры срабатывания тепловой защиты) возможно появление в обмотках трансформатора витковых дуговых замыканий. При дуговых витковых замыканиях в обмотках трансформатора максимальная токовая защита в фидерных КРУ-6 кВ, питающих подстанцию, не отключает такое повреждение, так как она не обладает необходимой для этого случая чувствительностью.

Для повышения надежности и безопасности трансформаторных подстанций УкрНИИВЭ совместно с ДонНТУ разработали техническое решение [2] (рис. 1б).

Цель статьи. Обосновать эффективность разработанного технического решения.

Результаты исследования.

В предложенной схеме КТП [2,3] для предотвращения выхода из строя изоляции трансформатора принята следующая система построения тепловой защиты: при появлении перегрузки 8 трансформатора 9 (рис. 1б) сигналы от дискретных датчиков 2 и 3 поступают на блок тепловой защиты 6 от которого сигнал на отключение подается на расцепитель минимального напряжения 4 АВ10 и на катушку отключения его независимого расцепителя 5. Кроме этого сигнал на отключение подается на расцепитель минимального напряжения 1 высоковольтного выключателя 11.

Обозначим через  $\bar{x}_i$ ,  $i = \overline{1,8}$  следующие события:

- $\bar{x}_1$  - отказала в срабатывании система отключения высоковольтного выключателя (расцепитель минимального напряжения);
- $\bar{x}_2$  - отказал основной дискретный датчик температуры;
- $\bar{x}_3$  - отказал резервный дискретный датчик температуры;
- $\bar{x}_4$  - отказал в срабатывании расцепитель минимального напряжения автоматического выключателя 10;
- $\bar{x}_5$  - отказал в срабатывании независимый расцепитель автоматического выключателя 10;
- $\bar{x}_6$  - отказало в передачи сигнала на отключение устройство тепловой защиты (учитывается и блок питания);
- $\bar{x}_7$  - отказало в передачи сигнала термосопротивление;
- $\bar{x}_8$  - случайное увеличение нагрузки на трансформатор (температура обмоток увеличилась до температуры срабатывания тепловой защиты).

Используя события  $\bar{x}_i$ ,  $i = \overline{1,8}$ , рис.1б, строим дерево отказов и схему минимальных сечений.

Обозначим через  $\Theta_i$ ,  $i = \overline{1,7}$  интервалы времени между проверками соответствующих устройств.

- $\Theta_1$  - интервал времени между проверками системы отключения выключателя 11;
- $\Theta_2$  - интервал времени между проверками работоспособности дискретного датчика температуры (основного) 2;
- $\Theta_3$  - интервал времени между проверками работоспособности дискретного датчика температуры (резервного) 3;
- $\Theta_4$  - интервал времени между проверками расцепителя 4 минимального напряжения автоматического выключателя 10;

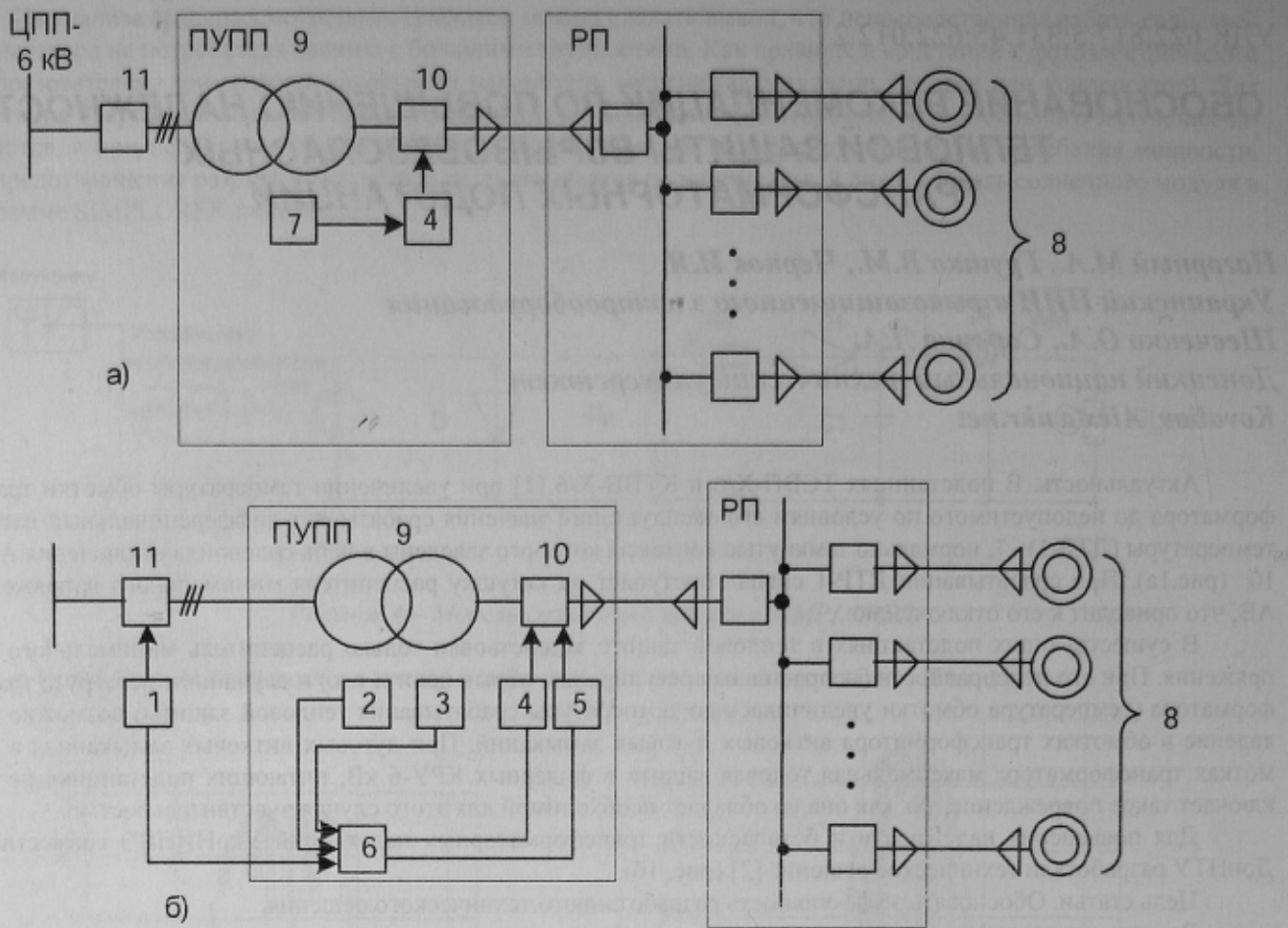


Рисунок 1 – Структурные схемы тепловой защиты трансформаторных подстанций  
 а) существующая;  
 б) предложенная.

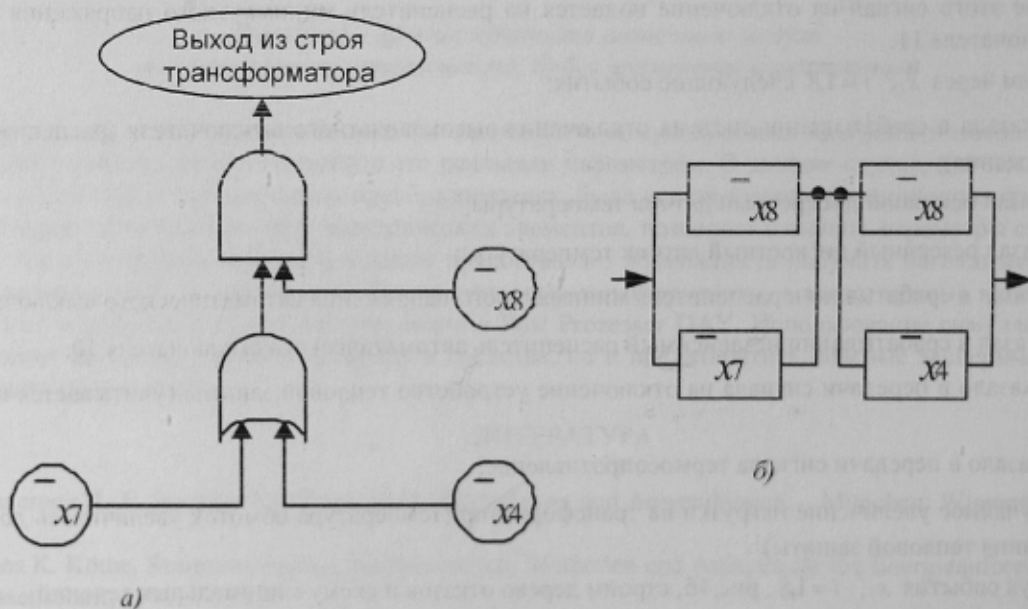


Рисунок 2 – а) дерево, объясняющее выход из строя обмотки трансформаторной подстанции рис. 1а при ее эксплуатации;  
 б) схема минимальных сечений.

- 10;  
 $\Theta_5$  - интервал времени между проверками независимого расцепителя 5 автоматического выключателя;  
 $\Theta_6$  - интервал времени между проверками устройства тепловой защиты 6 вместе с блоком его питания;  
 $\Theta_7$  - интервал времени между проверками работоспособности термосопротивления 7.

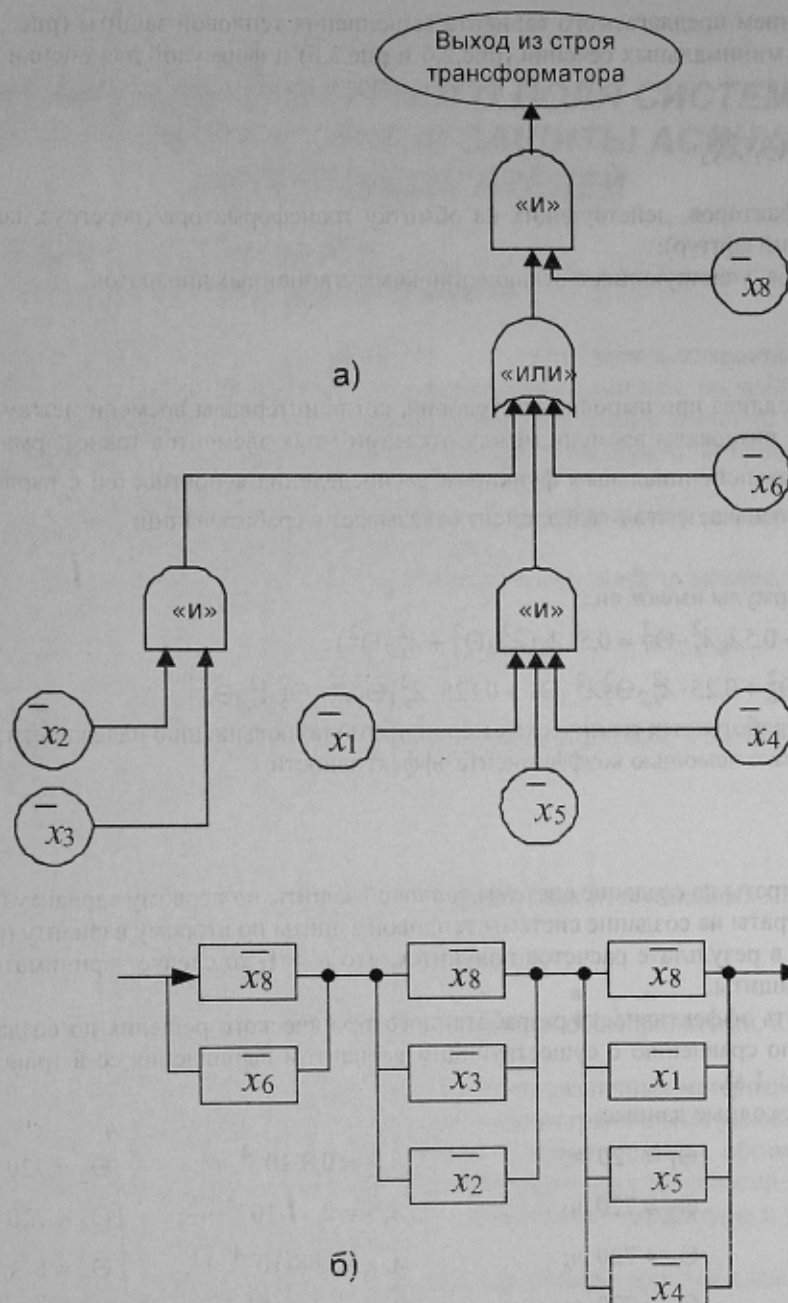


Рисунок 3 – а) дерево, объясняющее выход из строя обмотки трансформатора в предлагаемой схеме тепловой защиты;

б) схема минимальных сечений.

Обозначим через  $\lambda_{s,i}$  параметр потока отказов в срабатывании  $i$ -того устройства:

$\lambda_{s,1}$  - параметр потока отказов в срабатывании системы отключения выключателя 11;

$\lambda_{s,2}$  - параметр потока отказов в срабатывании дискретного (основного) датчика температуры 2;

$\lambda_{s,3}$  - параметр потока отказов в срабатывании дискретного (резервного) датчика температуры 3;

$\lambda_{s,4}$  - параметр потока отказов в срабатывании расцепителя 4 минимального напряжения автоматического выключателя 10;

$\lambda_{s,5}$  - параметр потока отказов в срабатывании независимого расцепителя 5 автоматического выключателя 10;

$\lambda_{s,6}$  - параметр потока отказов в срабатывании устройства тепловой защиты 6;

$\lambda_{s,7}$  - параметр потока отказов в срабатывании термосопротивления 7;

$\lambda_8$  - параметр потока появления перегрузок трансформатора, при которых действие тепловой защиты обязательно.

Параметр  $H_1$  потока повреждения изоляции обмоток трансформатора (от тепловых нагрузок) с использованием тепловой защиты по варианту (рис. 1.а) и  $H_2$  - параметр потока повреждения изоляции обмоток транс-

форматора с использованием предлагаемого варианта выполнения тепловой защиты (рис. 1.б) можно определить, пользуясь схемами минимальных сечений (рис.2.б и рис.3.б) и формулой для оценки живучести узла нагрузки [4]:

$$H_1 = \frac{1}{2^m} \sum_{j=1}^n \lambda_j \prod_{i=1}^n \Theta_i^2 \lambda_{s,i}^2 \quad (1)$$

где  $n$  – число опасных факторов, действующих на обмотку трансформатора (перегруз, короткие замыкания, замыкания на заземляющий контур);

$m$  – число элементов, участвующих в отключении коммутационных аппаратов;

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = \lambda_8.$$

Формула (1) справедлива при выполнении условий, когда интервалы времени между появлениями перегрузок трансформатора и интервалы времени между отказами  $i$ -тых элементов трансформаторной подстанции  $i = \overline{1,8}$  не противоречат экспоненциальным функциям распределения вероятностей с параметрами соответственно  $\lambda_i$  и  $\lambda_{s,i}$ ; индекс  $s$  означает, что  $i$ -тый элемент отказывает в срабатывании:

$$\Theta_i \lambda_{s,i} < 0,1. \quad (2)$$

В нашем случае формулы имеют вид:

$$H_1 = 0,5 \lambda_8 \lambda_{s,4}^2 \Theta_4^2 + 0,5 \lambda_8 \lambda_{s,7}^2 \Theta_7^2 = 0,5 \cdot \lambda_8 (\lambda_{s,4}^2 \Theta_4^2 + \lambda_{s,7}^2 \Theta_7^2), \quad (3)$$

$$H_2 = \lambda_8 [0,5 \cdot \lambda_{s,6}^2 \Theta_6^2 + 0,25 \cdot \lambda_{s,2}^2 \Theta_2^2 \lambda_{s,3}^2 \Theta_3^2 + 0,125 \cdot \lambda_{s,1}^2 \Theta_1^2 \lambda_{s,5}^2 \Theta_5^2 \lambda_{s,4}^2 \Theta_4^2] \quad (4)$$

Эффективность разработанных технических мероприятий по повышению надежности трансформаторной подстанции можно оценить с помощью коэффициента эффективности

$$K = \frac{H_1 \cdot Z_1}{H_2 \cdot Z_2}, \quad (5)$$

где  $Z_1$  – экономические затраты на создание системы тепловой защиты по первому варианту (рис. 1.а);

$Z_2$  – экономические затраты на создание системы тепловой защиты по второму варианту (рис. 1.б).

В том случае, если в результате расчетов получится, что  $K > 1$ , то следует принимать к использованию второй вариант системы защиты.

**Пример:** Определить эффективность разработанного технического решения по созданию системы тепловой защиты (рис. 1.б) по сравнению с существующим вариантом выполнения ее в трансформаторной подстанции ТСШВП-Х/6, (рис. 1.а).

Даны следующие исходные данные:

$$\begin{array}{llll} \lambda_{s,1} = 1,23 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}; & \Theta_1 = 720 \text{ ч}; & \lambda_{s,2} = 0,8 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}; & \Theta_2 = 720 \text{ ч}; \\ \lambda_{s,3} = 0,8 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}; & \Theta_3 = 720 \text{ ч}; & \lambda_{s,4} = 2,59 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}; & \Theta_4 = 720 \text{ ч}; \\ \lambda_{s,5} = 2,38 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}; & \Theta_5 = 720 \text{ ч}; & \lambda_{s,6} = 1,88 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}; & \Theta_6 = 6 \text{ ч}; \\ \lambda_{s,7} = 0,8 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}; & \Theta_7 = 720 \text{ ч}; & \lambda_8 = 13,9 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}; & \\ Z_1 = 200 \text{ грн}; & Z_2 = 800 \text{ грн}. & & \end{array}$$

Используя формулу (1) и (2), исходные данные примера, получим  $H_1 = 2,6 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1}$ ;  $H_2 = 6,09 \cdot 10^{-9} \text{ ч}^{-1}$ .

Определяем эффективность предложенного варианта выполнения тепловой защиты, используя формулу (5):

$$K = \frac{2,6 \cdot 10^{-5} \cdot 200}{6,09 \cdot 10^{-9} \cdot 800} = 1087 \text{ раз.}$$

Следовательно, предлагаемое техническое решение по повышению надежности тепловой защиты трансформатора эффективнее в 1087 раз по сравнению с тепловой защитой, используемой в ТСВП-Х/6 и КТПВ-Х/6.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Подстанции трансформаторные взрывобезопасные серии ТСШВП. Техническое описание и инструкция по эксплуатации ОАШ. 140.324. Донецк, 1977, -31 с.
2. Пат. 2 299 506 RU МПК Н02В 13/00. Рудничная взрывобезопасная трансформаторная подстанция / М.А. Нагорный, Г.Л.Локтионов, И.Я. Чернов, В.М.Грушко, А.П.Ковалев (UA). 2006-8с: ил.
3. Декларацийний патент № 11624 Україна. Рудникова вибухобезпечна трансформаторна підстанція/ М.О. Нагорний, Г.Л.Локтионов, І.Я.Чернов, В.М.Грушко, О.П.Ковальов. Пріоритет від 03.02.2005р. м.Київ, опубл. в бюл. №1, 16.01.2006.
4. Ковалев А.П., Якимшипа В.В. О живучести объектов энергетики.-Промышленная энергетика, 2006, №1, С. 20-26.