

О НАДЕЖНОСТИ И ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СЕТЕЙ 6-10 кВ, СНАБЖАЮЩИХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЕЙ ПОДЗЕМНЫЕ ПОТРЕБИТЕЛИ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

А.П. Ковалев, М.К. Нагорный, В.В. Якимишина, А.А. Чурсинова
Донецкий национальный технический университет

Запропоновано нову методичку оцінки пожежобезпеки та надійності систем електропостачання 6-10 кВ, що відрізняється від відомих тим, що враховує відмовлення в спрацьовуванні захисного комутаційного апарата й імовірності відновлення елементів, що неселективно відключилися. Приведено приклади розрахунків.

Постановка проблемы

Подземные шахтные системы 6 кВ защищаются от токов короткого замыкания (КЗ) неселективными токовыми отсечками, которые отстраиваются от максимальных рабочих и пусковых токов потребителей.

Специфические шахтные условия исключают возможность отстройки токовых защит по времени, поэтому при КЗ, например, в точке К1 (рис. 1) в действие приходят защиты как минимум двух коммутационных аппаратов 17 и 8 и отключают поврежденный кабель 23. Если токовая защита коммутационного аппарата 2 будет чувствительна к токам КЗ при повреждении кабеля 23, то в этом случае произойдет и отключение коммутационного аппарата 2.

Блокировка поврежденного присоединения – кабеля 23 – происходит следующим образом: КРУ-23 и КРУ-8 отключаются токовой отсечкой (предположим, что максимальная токовая отсечка в КРУ-2 не чувствительна к токам КЗ в отходящих от ЦПП присоединениях), а КРУ-15 и КРУ-16 защитами минимального напряжения.

После отключения перечисленных КРУ с помощью АПВ однократного действия включается КРУ-8. АПВ фидерного КРУ-17 блокируется устройством, воспринимающим сигнал защиты от токов КЗ («защелка»), а при недопустимом снижении изоляции кабеля 23 относительно земли АПВ блокируется еще и сигналом от блокировочного реле утечки (БРУ). На неселективно отключившиеся КРУ-15 и КРУ-16 после проверки изоляции относительно земли с помощью БРУ подается команда для работы АПВ. В этом случае КРУ-15 и КРУ-16 включаются. При исчезновении напряжения в одном из вводных кабелей, питающих ЦПП, например, через КРУ-8 защитами минимального напряжения отключатся КРУ-8, 15, 16, 17.

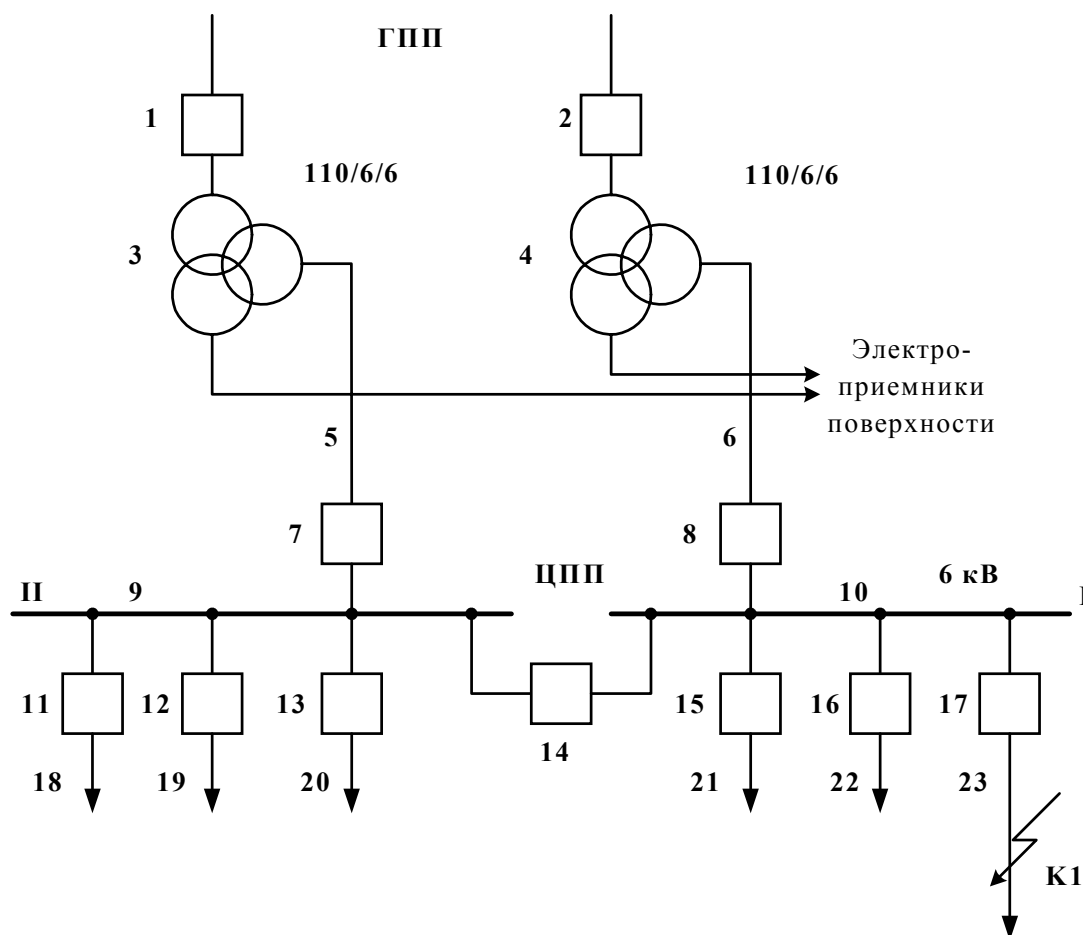


Рисунок 1 – Схема электроснабжения центральной подземной подстанции (ЦПП) шахты

- ГПП – главная поверхностная подстанция
- ЦПП – центральная подземная подстанция
- 1,2 – выключатели напряжением 110 кВ
- 5,6 – ствольные кабели
- 7,8 – вводные КРУ
- 11,12,13,14,15,16,17 – фидерные КРУ
- 14 – секционное КРУ
- 18-23 – кабельные линии, отходящие от ГПП

От отключившегося вводного КРУ-8 подается команда на работу устройства автоматического ввода резерва (АВР) секционного КРУ-14. Устройство АВР имеет регулируемую выдержку времени 0-20 с. Если до истечения установленной для АВР выдержки времени будет подано напряжение на секцию I с помощью КРУ-8, тогда АВР на секционном КРУ-14 будет заблокировано. Включатся блокировочные реле утечки КРУ-15, 16, 17 и осуществится контроль изоляции относительно земли соответствующих кабельных линий 21, 22, 23.

В том случае, если изоляция относительно земли контролируемых линий будет удовлетворительной, устройство БРУ даст команду на работу АПВ и КРУ-15, 16, 17, отключившиеся от ЦПП неселективно, будут включены.

Если по истечении выдержки времени напряжение на отключенный ствольной кабель не будет подано, тогда с помощью АВР включится секционное КРУ-14 и будет подано напряжение на отключившуюся секцию I. Включение КРУ-15, 16, 17 будет происходить по описанной выше схеме. После подачи напряжения на кабель 6 секционное КРУ-14 автоматически отключится и ЦПП перейдет в нормальный режим работы.

Будем полагать, что пожар от повреждения кабеля, отходящего от ЦПП, будет происходить в том случае, если при КЗ в защищаемой кабельной линии происходит отказ в срабатывании всех защитных коммутационных аппаратов, через которые прошел сквозной аварийный ток и привел в действие их максимальные токовые защиты.

В соответствии с [1] вероятность возникновения пожара в электротехническом и другом единичном изделии не должна превышать величины $1 \cdot 10^{-6}$ в течение года, т.е. $H = 1 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$.

Возникает вопрос, какой интенсивностью отказов должны обладать вводные и фидерные КРУ на ЦПП, чтобы вероятность пожаров от КЗ в отходящих от ЦПП кабельных линиях была бы на уровне действующих нормативных документов [1]. Как оценить вероятность восстановления электроснабжения неселективно отключившихся потребителей.

Анализ результатов исследований и публикаций

Анализ литературных источников показал, что на сегодняшний момент времени публикаций по оценке надежности и пожаробезопасности подземных шахтных сетей 6-10 кВ с учетом существующих средств защиты и автоматики нет.

Цель статьи

Разработать методику оценки пожарной безопасности подземных кабельных сетей 6-10 кВ в динамическом режиме и методику определения вероятности восстановления неселективно отключившихся потребителей при КЗ в одной из кабельных линий, отходящих от ЦПП.

Результаты исследований

Обозначим символами: i – код защищаемого электрооборудования; γ - номер защитного коммутационного аппарата; j - код устройства; k - код вида отказов. Обозначим через “у” работоспособное состояние защитного коммутационного аппарата, а через “х” работоспособное состояние электрооборудования, которое защищается от токов КЗ или ОЗ защитным коммутационным аппаратом “у”.

Тогда $\bar{y}_{\gamma.j.k}$ - означает, что в коммутационном аппарате под номером γ в j -м его устройстве произошел отказ k -го вида; $\bar{x}_{i.k}$ - означает, что в i -том защищаемом элементе схемы произошел отказ k -го вида. Индекс i принимает значения от 1 до n , где n – число элементов в схеме; индекс γ изменяется в пределах от 1 до m , где m – число защитных коммутационных аппаратов в схеме; j изменяется от 1 до 8:

$j=1$, максимальная токовая защита (МТЗ);

$j=2$, защита от замыкания на землю;

$j=3$, защита минимального напряжения;

$j=4$, блокировочное реле утечки (БРУ);

$j=5$, автоматический ввод резерва (АВР);

$j=6$, автоматическое повторное включение (АПВ);

$j=7$, блокировка АПВ от включения на короткое замыкание;

$j=8$, привод включения выключателя.

Индекс k принимает значения от 1 до 4:

$k=1$, отказ в срабатывании;

$k=2$, короткое замыкание (КЗ);

$k=3$, однофазное замыкание на землю (ОЗ);

$k=4$, отказ в определении сопротивления изоляции относительно земли.

Каждый элемент $x_{i.k}$ или $y_{\gamma.j.k}$ характеризуется с точки зрения надежности параметром потока отказов $\lambda_{i.k}$ и $\lambda_{\gamma.j.k}$ соответственно.

Кроме этого каждый элемент системы характеризуется вероятностью его включения $P_{\gamma.j.k}$ после каждого неселективного или ложного отключения элемента.

Неселективное либо ложное отключение элемента системы будем обозначать через $x_{o.i}$ и $y_{o.i}$, где “о” означает, что неселективно либо ложно отключился элемент системы.

Обозначим через $\lambda_{i.2}$ параметр потока КЗ в i -том элементе схемы, который находится в зоне действия максимальных токовых отсечек соответствующих защитных коммутационных аппаратов $y_{\gamma.j.k}$. Интервал времени между профилактическими осмотрами системы релейной защиты, привода и автоматики защитного коммутационного аппарата обозначим через Θ_{γ} , тогда $\lambda_{\gamma.j.k}$ - означает, что в защитном коммутационном аппарате под номером γ в j -том устройстве произошел отказ k -го вида. Обозначим через m число защитных коммутационных аппаратов, через которые прошел сквозной ток КЗ и привел в действие их релейные защиты. Тогда интенсивность пожаров в кабельной сети можно определить, пользуясь формулой [1]:

$$\lambda_l = \frac{1}{2^m} \lambda_{i.2} \prod_{\gamma=1}^m \Theta_{\gamma} \lambda_{\gamma.j.k}^2, \quad (1)$$

где l – номер минимального сечения.

Формула (1) справедлива при условии, что $\Theta_{\gamma} \lambda_{\gamma.j.k} < 0,1$, а проверки Θ_{γ} абсолютно надежны, т.е. при профилактических проверках средств релейной защиты и автоматики повреждения в них будут обнаружены и работоспособное состояние восстановлено.

В том случае, если сроки профилактики систем релейной защиты и автоматики будут одинаковы, т.е. $\Theta_{\gamma} = \Theta$, тогда формула (1) примет вид:

$$\lambda_l = \frac{1}{2^m} \lambda_{i.2} \Theta^{2m} \prod_{\gamma=1}^m \lambda_{\gamma.j.k}^2, \quad (2)$$

Используя логико-вероятностный метод [2] составляется логическая функция работоспособности, которая позволяет описывать процесс восстановления электроснабжения потребителей при неселективном (ложном) отключении потребителей из-за КЗ в отходящих от ЦПП кабельных линиях. Вероятность восстановления питания потребителей получается при переходе от логической функции к вероятностной известными способами [2].

Пример 1. Возгорание изоляции кабельной линии 23 при КЗ в точке К1 может произойти при отказе в срабатывании токовых отсеков в коммутационных аппаратах КРУ-17 и КРУ-8 (будем предполагать, что при КЗ в точке К1 токовая защита КРУ-2 будет не чувствительна к этому току).

Дано: $\lambda_{23.2} = 1,8 \text{ год}^{-1}$; $\lambda_{17.1.1} = \lambda_{8.1.1} = 0,18 \text{ год}^{-1}$; $\Theta_{\gamma} = 0,25 \text{ года}$.

Определить интенсивность возможного возгорания изоляции кабельной линии 23, отходящей от ЦПП и сравнить с нормируемой величиной $H = 1 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$.

Решение. Используя формулу (2) находим

$$\lambda_o = \frac{1}{4} \cdot 1,8 \cdot 0,25^4 \cdot 0,18^2 \cdot 0,18^2 = 1,8 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

Сравнение полученного значения с нормируемым показало, что в данном конкретном случае пожарная безопасность кабельной линии 23 не обеспечивается.

Пример 2. При КЗ в точке К1 (рис. 1) с помощью МТЗ отключились коммутационные аппараты 8 и 17. Коммутационные аппараты 15 и 16 отключились с помощью реле минимального напряжения. Определить вероятность восстановления электроснабжения неселективно отключившихся потребителей, получающих электроэнергию от кабельных

линий 21 и 22. Показатели надежности отдельных элементов P_i представлены в табл.1.

Решение. Сделаем замену: $y_{8.6.1} = y_1$ и т.д. $y_{17.4.4} = y_{12}$ (табл.1).

Таблица 1 – Показатели надежности элементов

Номер минимального сечения	Обозначение элемента	P_i	Номер минимального сечения	Обозначение элемента	P_i
1	$y_{8.6.1}$	0,882	7	$y_{16.6.1}$	0,882
2	$y_{8.8.1}$	0,726	8	$y_{16.8.1}$	0,726
3	$y_{15.4.4}$	0,326	9	$y_{17.6.1}$	0,882
4	$y_{15.6.1}$	0,882	10	$y_{17.8.1}$	0,726
5	$y_{15.8.1}$	0,926	11	$y_{17.7.1}$	0,63
6	$y_{16.4.4}$	0,326	12	$y_{17.4.4}$	0,326

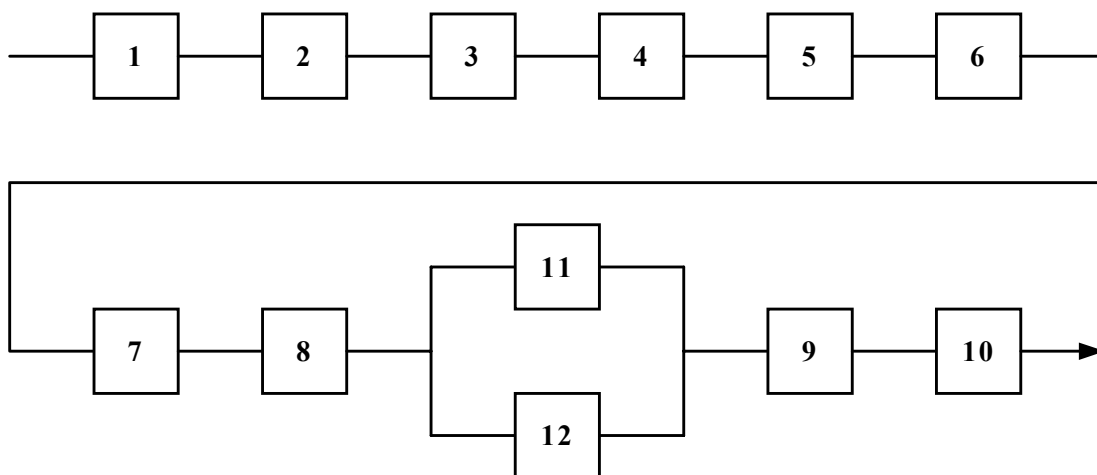


Рисунок 2 – Логическая схема замещения, описывающая процесс восстановления электроснабжения неселективно отключившихся потребителей

Тогда логическую функцию работоспособности системы восстановления электроснабжения неселективно отключившихся потребителей, используя рис. 2, запишем в виде:

$$Y = \prod_{i=1}^{10} y_i (\bar{y}_{11} \cdot \bar{y}_{12}).$$

Переходим от логической функции к вероятностной:

$$R = \prod_{i=1}^{10} P_i [1 - (1 - P_{11})(1 - P_{12})].$$

Каждое событие y_i характеризуется вероятностью безотказной работы P_i , $i = \overline{1, 12}$. Подставив значения P_i из данных примера получим:

$$R = 0,822 \cdot 0,726 \cdot 0,326 \cdot 0,882 \cdot 0,926 \cdot 0,326 \cdot 0,882 \cdot 0,726 \times \\ \times 0,882 \cdot 0,726 \cdot [1 - (1 - 0,63)(1 - 0,326)] = 0,017$$

Литература

1. Ковалев А.П., Муха В.П., Шевченко О.А., Якимишина В.В. Метод расчета надежности электроснабжения узлов нагрузки с учетом отказов в срабатывании защитных коммутационных аппаратов. Наукові праці Донецького державного технічного університету. Серія “Електротехніка і енергетика”, випуск 41: Донецьк: ДонДТУ, 2002.-с. 107-113.

2. Рябинин И.А. Основы теории и расчета надежности судовых электроэнергетических систем.-2-е изд.Л.:Судостроение, 1971.-456 с.

Поступила в редакцию 22.12.2003 г.