

## ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ

Турупалов В.В.

Донецкий государственный технический университет, кафедра АТ

E-mail: tvv@fcita.dn.ua

### Abstract

*Turupalov V.V. Evaluation of a reliability of complicated systems of electrosupply because of of logic functions. The reliability of complicated systems renders significant effect on parameters of an economic efficiency and safety of realization of operations. In the article the method of definition of parameters of reliability of complicated systems is considered on the basis of logical functions. Object of study - system of power supply of a colliery.*

Надежность систем электроснабжения потребителей является одним из определяющих факторов безопасного ведения работ, обеспечения их электроэнергией в требуемом количестве и надлежащего качества. В качестве объекта исследования принята высоковольтная подземная система электроснабжения потребителей угольных шахт (ПСЭС).

В результате проведенного функционального анализа, который определяет особенности режимов работы системы при переключениях и отказах в ней, систем электроснабжения угольных шахт установлено, что в элементах ПСЭС возникают отказы типа короткого замыкания (к.з.), однофазного замыкания на землю (о.з.) и "обрыв".

Отказы в элементах ПСЭС по каждому типу можно представить в виде булевых переменных, принимающих значение 1 при отсутствии отказа и значение 0 при его появлении. Тогда логическая функция элемента  $\Phi_z$  имеет вид:

$$\Phi_z = X_{кз} \cdot X_{оз} \cdot X_0, \quad (1)$$

где  $X_{кз}$ ,  $X_{оз}$ ,  $X_0$  - логические переменные отказов типа к.з., о.з. и "обрыв"

соответственно.

Для описания работы ПСЭС необходимо определить логические функции узлов нагрузки и потребителей (рис 1).

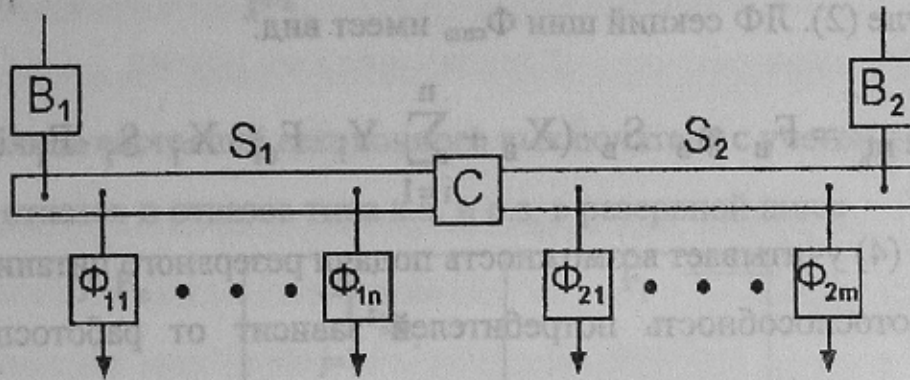


Рисунок 1 - Схема замещения одноуровневой двухсекционной ПСЭС

Как показал функциональный анализ, надежность узла нагрузки определяется отказами всех типов в питающих его линиях и отказами типа к.з. и о.з. в отходящих присоединениях. Следовательно, работоспособность узла нагрузки зависит от его основной и резервной линий питания, секций шин и секционных КРУ, а также от отказов типа к.з. и о.з. в отходящих присоединениях основной и резервной секций шин.

Плановые отключения имеют стационарный и характер и проводятся регулярно, поэтому их учет необходим для полной адекватности модели.

Тогда логическая функция (ЛФ) узла нагрузки имеет вид:

$$\Phi_{сш0} = F_0 \cdot \varphi_0 \cdot S_0 (X_0 + Y \cdot F_c \cdot X_p \cdot S_p \cdot F_p \cdot \varphi_p), \quad (2)$$

Где  $F_0, F_p$  - ЛФ отказов типа к.з. и о.з. в отходящих присоединениях основной и резервной секций шин;

$\varphi_0, \varphi_p$  - ЛФ плановых отключений основной и резервной секций шин;

$S_0, S_p$  - ЛФ работоспособности секций шин;

$X_0, X_p$  - ЛФ работоспособности линий питания;

$F_c$  - ЛФ работоспособности секционного КРУ;

$Y$  - ЛФ включения секционного КРУ определяемая выражением:

$$Y = F_o \cdot F_p \cdot X_o \cdot X_p \cdot X_o \cdot X_p \quad (3)$$

Для систем электроснабжения угольных шахт с тремя и более секциями шин на одном уровне, ЛФ секций шин с одной резервной линией определяется по формуле (2). ЛФ секций шин  $\Phi_{\text{с ш}}$  имеет вид:

$$\Phi_{\text{с ш}} = F_{\text{в}} \cdot \varphi_{\text{в}} \cdot S_{\text{в}} \cdot \left( X_{\text{в}} + \sum_{i=1}^n Y_i \cdot F_{\text{сi}} \cdot X_i \cdot S_i \cdot F_i \cdot \varphi_i \right), \quad (4)$$

ЛФ (4) учитывает возможность подачи резервного питания от  $n$  линий.

Работоспособность потребителей зависит от работоспособности узла нагрузки, от которого они получают питание, и линии связи между ними.

Следовательно, ЛФ точки подключения потребителей  $\Phi_{\text{пi}}$  имеет вид:

$$\Phi_{\text{пi}} = \Phi_{\text{с ш}} \cdot f_{\text{oi}}, \quad (5)$$

где  $f_{\text{oi}}$  - ЛФ отказа типа "обрыв" в  $i$ -ом отходящем присоединении.

ЛФ отказа типа к.з. и о.з. секции шин вследствие неселективности защиты от этих типов отказов имеет вид:

$$F = \prod_{i=1}^n f_{\text{ki}}, \quad (6)$$

где  $n$  - число отходящих присоединений секций шин;

$f_{\text{ki}}$  - ЛФ отказа типа к.з. и о.з. в  $i$ -ом отходящем присоединении.

При отказе одной из линий питания, потребители данной секции шин получают питание от резервной секции через секционный выключатель. Следовательно, ЛФ отказов типа к.з. и о.з. секции шин в этом режиме будет иметь вид:

$$F_0 = \left( \prod_{i=1}^n f_{\text{koi}} \right) \cdot \left( \prod_{j=1}^m f_{\text{k oj}} \right), \quad (7)$$

где  $m$  - число отходящих присоединений резервной шины.

Включая в (7) ЛФ работоспособности секционного выключателя и ЛФ его включения, с учетом табл.1, получим ЛФ отказов типа к.з. и о.з. секции шин с учетом неселективной защиты и динамизма работы секционного выключателя:

$$F_0 = \prod_{i=1}^n f_{koi} \cdot y \cdot F_c \cdot \prod_{j=1}^m f_{kpj} \quad (8)$$

Таблица 1 - Таблица состояний секционного выключателя с учетом его отказов и отказов типа к.з. и о.з. в резервной шине

$y \cdot F_c$	$\prod_{j=1}^m f_{kpj}$	$F_p$
0	0	1
0	1	1
1	1	1
1	0	0

Для многоуровневых ПСЭС необходимо учитывать влияние отказов типа к.з. и о.з. в нижних иерархических уровнях на перерыв в электроснабжении верхних.

Следовательно, ЛФ отказов типа к.з. и о.з.  $i$ -го уровня в секции шин будет иметь вид:

$$F_i = \prod_{j=1}^m F_j \quad (9)$$

где  $m$ -число уровней в ПСЭС, при этом нумерация уровней производится от высшего к низшему.

Для внутренних шин многосекционных уровней ЛФ отказов типа к.з. и о.з. имеет вид:

$$F_B = \prod_{i=1}^n f_{koi} \cdot \prod_{j=1}^k \left( y_j \cdot F_{cj} \cdot \prod_{l=1}^m f_{kjl} \right) \quad (10)$$

С учетом вышеизложенного, ЛФ  $j$ -ой секции шин  $i$ -го уровня имеет вид:

$$\Phi_{с ш_j} = F_{oij} \cdot \varphi_{oij} \cdot S_{oij} \cdot (X_{oij} + \sum_{l=1}^{n_{ij}} y_{ijl} \cdot F_{cijl} \cdot X_{pijl} \cdot S_{pijl} \cdot \varphi_{pijl}), (11)$$

где  $X_{ij}$  - ЛФ линии питания  $j$ -ой секции шин  $i$ -го уровня.

$$X_i = \Phi_{с ш_{i-1}} \cdot f_{oi}, (12)$$

где  $\Phi_{с ш_{i-1}}$  - ЛФ секции шин вышестоящего иерархического уровня;

$f_{oi}$  - ЛФ отказов типа "обрыв" линии питания между  $i-1$  и  $i$ -м уровнями.

Составление ЛФ работоспособности секций шин системы производят от высшего иерархического уровня к низшему, при этом необходимо учесть, что составление ЛФ отказов типа к.з. и о.з. производится наоборот, от низшего уровня к высшему. При этом принимается за работоспособное состояние значение ЛФ равное 1, а за неработоспособное - состояние 0.

Так как ПСЭС угольных шахт относятся к восстанавливаемым системам, то в процессе ее работы происходит чередование работоспособных и неработоспособных состояний. При этом происходит чередование значений 1 и 0 ЛФ, которые можно моделировать с помощью бинарной функции  $V(t)$  следующим образом:

$$V(t) = \begin{cases} 1, & \text{при } t_{2n-1} \leq t \leq t_{2n} \\ 0, & \text{при } t_{2n} \leq t \leq t_{2n+1} \end{cases}, (13)$$

где  $t_{2n-1}, t_{2n}$  - начальное и конечное значения периода времени, когда элемент системы находится в работоспособном состоянии;

$t_{2n}, t_{2n+1}$  - начальное и конечное значения времени, когда элемент системы находится в неработоспособном состоянии.

Время нахождения системы в каждом из состояний зависит от конкретных показателей надежности элементов и законов распределения отказов.

Полученные логические функции работоспособности узлов нагрузки и потребителей служат основой для определения показателей надежности с использованием статистического моделирования.

Для каждого элемента определяется последовательность работоспособных и неработоспособных состояний, которая зависит от показателей надежности и законов распределения каждого элемента.

В статистическом моделировании применяется равномерно распределенные случайные числа в интервале от 0 до 1, что делает возможным использовать его как распределение значений вероятностей нахождения в работоспособном и неработоспособном состояниях.

Существует три основных способа получения случайных чисел: табличный, при помощи датчиков и программный. Таблицы случайных равномерно распределенных чисел приведены в ГОСТ 11.003-73. Программный способ получения случайных чисел используется в ЭВМ, для которых разработаны эффективные алгоритмы получения равномерно распределенных псевдослучайных чисел.

Длительность нахождения в работоспособном и неработоспособном состояниях зависит от законов распределения наработки на отказ и времени восстановления. Принимая во внимание, что распределение времени безотказной работы и восстановления отдельных элементов системы электроснабжения подчиняется экспоненциальному закону. Следовательно, случайные значения наработок между отказами определяются по формуле:

$$T_i = -\frac{\ln p_i}{\lambda}, \quad (14)$$

где  $p_i$  - случайное значение вероятности.

Время восстановления равно:

$$T_{vi} = -\frac{\ln p_i}{\mu}, \quad (15)$$

По формулам (14) и (15) определяется длительность нахождения элемента в работоспособном и неработоспособном состояниях. В момент, когда элемент находится в работоспособном состоянии, логическая функция имеет значение 1, когда элемент находится в неработоспособном состоянии, то логическая функция имеет значение 0.

Для элементов, в которых возникает отказы всех типов, использование бинарной функции производится дважды. Первый раз производится определение типа отказа, второй раз - длительность времени нахождения элемента в работоспособном и неработоспособном состояниях.

Применение бинарной функции оправдано вследствие одинаковой реакции системы на отказы типа к.з. и о.з.

При этом бинарная функция определяется по формуле:

$$B(t) = \begin{cases} 1, & \text{при } 1 > p \geq a \\ 0, & \text{при } a > p > 0 \end{cases} \quad (16)$$

где  $p$  - случайное значение вероятности,

$a$  - критическое значение вероятности появления того-или иного вида отказа.

При подстановке значений аргументов в ЛФ контрольной точки, определяется последовательность времен, соответствующих работоспособным и неработоспособным состояниям.

Суммируя длительности интервалов при значениях функции системы  $1$   $T_i^{(1)}$  и разделив эту сумму на их количество  $N$ , получим среднее время наработки на отказ:

$$\bar{T}_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N T_i^{(1)} \quad (17)$$

Аналогично и для времени восстановления:

$$\bar{T} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N T_i^{(0)} \quad (18)$$

При многократном повторении, получим уточненные значения среднего времени восстановления и наработки на отказ. Точность решения задачи с заданной степенью достоверности определяется, в первую очередь, числом реализаций.