

УДК 622.333

В.В. Турупалов (канд. техн. наук, доц.), Л.А. Шебанова (канд. техн. наук, доц.)
 Донецкий национальный технический университет, г. Донецк
 кафедра «Автоматика и телекоммуникации»
 E-mail: tvv@fcita.dn.ua

СПОСОБЫ ФОРМИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ НОРМАТИВНЫЙ УРОВЕНЬ НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ

Статья посвящена формированию системы электроснабжения угольных шахт по критерию надежности электроснабжения потребителей с учетом нормативных уровней надежности участков нагрузки. В статье предложены рекомендации по обеспечению нормативного уровня надежности системы, которые позволят оптимизировать структуру подземных систем питания, что в свою очередь позволит улучшить технологические параметры мощности питания подземных потребителей шахт.

Ключевые слова: Критерий надежности – Потребитель – Шахта.

Основой для построения систем электроснабжения подземных разработок является строгое соблюдение условий безопасности, надежное обеспечение электропотребителей напряжением во всех режимах работы.

Системы электроснабжения зависят от горно-геологических условий шахты, которые накладывают значительные ограничения. Однако, это не приводит к единственному решению. На надежность всей системы электроснабжения оказывают особое влияние кабельные линии ввиду наличия неселективной защиты от к.з. о.з., которые являются наиболее характерными для них.

На надежность потребителей оказывают влияние коммутационные аппараты, посредством которых они получают питание. Поэтому практический интерес представляет установление требований к надежности основных элементов системы электроснабжения. При этом необходимо учесть, что для обеспечения бесперебойной работы потребителей, обеспечивающих безопасность работ, необходимо применение схемных решений, при которых обеспечивается допустимая длительность перерывов в электроснабжении.

Требования к надежности КРУ определим на примере двухуровневой системы электроснабжения, которая является наиболее типовой. Для обеспечения выполнения плановых заданий необходимо, чтобы вероятность Рвэл на первом уровне равнялась 0,993, на втором — 0.991. Надежность узла нагрузки определяется отказами всех видов в питающих его линиях и отказами типа к.з. и о.з. в отходящих присоединениях. Следовательно, надежность узла нагрузки второго уровня определяется надежностью узла нагрузки первого уровня и линией питания, соединяющей оба уровня. В тоже время, для кабельных линий не характерны отказы типа «обрыв». Следовательно, в питающей линии учитывается только отказы типа «обрыв» КРУ отходящего присоединения первого уровня и вводного КРУ второго уровня, т.е.

$$P_{II} = P_I \cdot P_{\text{кру}}, \quad (1)$$

где P_{II} , P_I — нормативное значение вероятности для первого и второго уровней соответственно;
 $P_{\text{кру}}$ — нормативное значение вероятности КРУ.
 Откуда

$$P_{\text{кру}} = \frac{P_I}{P_{II}}, \quad (2)$$

или

$$P_{\text{кпу}} = \frac{0,991}{0,993} = 0,998.$$

Так как нормативное значение вероятности установлено для периода, равного $t=18$ ч, то нормативное значение наработки на отказ типа «обрыв» в КРУ равно

$$T_{\text{кпу}} = \frac{-t}{\ln P_{\text{кпу}}}. \quad (3)$$

Для приведенных выше численных значений $T_{\text{кпу}} = 8991$ ч.

Так как в питающей линии два КРУ, то значение наработки на отказ типа «обрыв» одного КРУ должно быть в два раза больше, т.е. $T_{\text{кпу}} = 17982$ ч. С учетом отказов типа к.з. и о.з. в КРУ (20%), значение наработки на отказ КРУ должно превышать 14390 ч. Этим требованиям соответствует высоковольтные выключатели типа КРУВ-6.

Зная нормативное значение вероятности для КРУ, определим нормативное значение показателей надежности для кабельных линий:

$$P_k = \frac{P_l}{P_{\text{кпу}}} = \frac{0,993}{0,998} = 0,995. \quad (4)$$

Обеспечить требуемое значение вероятности можно за счет сокращения длины кабельных линий.

Возникает задача определения минимальной длины кабельной линии между уровнями питания, при которой обеспечивается надежность электроснабжения, эквивалентная надежности при установке дополнительных коммутационных аппаратов: вводного КРУ и КРУ отходящего присоединения.

На надежность электроснабжения потребителей, без учета резерва, оказывают влияние различные типы отказов в КРУ и кабельных линиях. Как было показано выше, в кабельных линиях возникает отказы типа к.з. и о.з., а в КРУ — отказы типа к.з., о.з. и «обрыв». Для одноуровневой ПСЭС:

$$P = \left(\prod_{i=1}^k P_{\text{об}_i} \right) \left(\prod_{l=1}^n P_{\text{кз}_l} \right) \left(\prod_{j=1}^m P_{\text{кз}_j} \right), \quad (5)$$

где $P_{\text{об}_i}$ — вероятность возникновения отказа типа «обрыв» а КРУ;

$P_{\text{кз}_l}$ — вероятность возникновения отказов типа к.з. и о.з. в КРУ;

$P_{\text{кз}_j}$ — вероятность возникновения отказов типа к.з. и о.з. в кабельных линиях;

n — число потребителей;

m — число кабельных линий;

k — число КРУ в линии питания потребителей.

Повысить значение вероятности безотказной работы можно за счет уменьшения общей протяженности кабельных линий, что приведет к увеличению КРУ. Следовательно, с точки зрения надежности, необходимо оптимальное сочетание числа РПП-6 и протяженности кабельных линий. При этом необходимо учитывать, что формирования каждой секции шин РПП-6 нужно два дополнительных КРУ: КРУ отходящего присоединения высшего иерархического уровня питания и вводного КРУ формируемого уровня.

При экспоненциальном законе распределения отказов, уравнение (5) можно записать для параметров потока отказов

$$\lambda = \sum_{i=1}^k \lambda_{\text{об}_i} \sum_{l=1}^n \lambda_{\text{кз}_l} \sum_{j=1}^m \lambda_{\text{кз}_j}, \quad (6)$$

где $\lambda_{\text{об}_i}$ — параметр потока отказов типа «обрыв» в КРУ;

$\lambda_{кз_1}$, $\lambda_{кз_2}$ — параметр потока отказов типа к.з. и о.з. в КРУ и кабельных линиях соответственно;

k — количество КРУ в линии питания потребителей;

n — количество всех КРУ; m — количество кабельных линий.

Следовательно, введение дополнительных КРУ оказывает влияние как на потребителей, непосредственно питаемых от них, так и на все потребители вследствие возможности отказов типа к.з. и о.з. в них.

Формирование нового уровня питания следует осуществлять при условии:

$$S = \frac{L\lambda_{кз_к} + 2\lambda_{кз_к\text{кру}}}{2\lambda_{об_к\text{кру}}}, \quad (7)$$

где L — длина кабельной линии;

$\lambda_{кз_к}$ — параметр потока отказов типа к.з. и о.з. в кабельной линии единичной длины;

$\lambda_{кз_к\text{кру}}$, $\lambda_{об_к\text{кру}}$ — параметры потока отказов в КРУ, соответственно, типа к.з. и о.з. и типа «обрыв».

Приравняв в (7) $S = 1$, получим минимальную длину кабельной линии $L_{эк}$, эквивалентную двум дополнительным КРУ:

$$L_{эк} = \frac{2(\lambda_{об_к\text{кру}} \cdot \lambda_{кз_к\text{кру}})}{\lambda_{кз_к}}. \quad (8)$$

Формула (8) справедлива при условии равенства среднего времени восстановления КРУ и кабельных линий по всем видам отказов, т.е.

$$T_{воб_к\text{кру}} = T_{вкз_к\text{кру}} = T_{вкз_к}, \quad (9)$$

где $T_{воб_к\text{кру}}$, $T_{вкз_к\text{кру}}$ — среднее время восстановления КРУ при отказах типа «обрыв», к.з. и о.з., соответственно;

$T_{вкз_к}$ — среднее время восстановления при отказах типа к.з. и о.з. в кабельных линиях.

В общем случае, с учетом реального восстановления элементов, $L_{эк}$ определяется по формуле:

$$L_{эк} = \frac{2(\lambda_{об_к\text{кру}} T_{воб_к\text{кру}} - \lambda_{кз_к\text{кру}} T_{вкз_к\text{кру}})}{\lambda_{кз_к} \cdot T_{вкз_к}}. \quad (10)$$

Эквивалентная длина кабельной линии определяет минимальное суммарное сокращение кабельных линий потребителей при организации РПП-6.

Тогда, число отходящих присоединений $N_{пр}$ в РПП-6 определяется по формуле:

$$N_{пр} = \frac{L_{эк}}{L_p} + 1, \quad (11)$$

где L_p — длина кабельной линии от РПП-6 высшего иерархического уровня до организуемого РПП.

Возможна и обратная задача, в которой определяется L_p :

$$L_p = \frac{L_{эк}}{N_{пр} - 1}. \quad (12)$$

При организации РПП-6 с малым числом отходящих присоединений, для которых не предусматривается применение вводного КРУ, эквивалентная длина кабельной линии определяется по формуле:

$$L_{\text{эк}} = \frac{\lambda_{\text{об}_{\text{кру}}} \cdot T_{\text{воб}_{\text{кру}}} - \lambda_{\text{кз}_{\text{кру}}} \cdot T_{\text{вкз}_{\text{кру}}}}{\lambda_{\text{кз}_{\text{к}}} \cdot T_{\text{вкз}_{\text{к}}}} \quad (13)$$

Применение данных рекомендаций по обеспечению нормативного уровня надежности систем позволит оптимизировать структуры подземных систем электроснабжения, что в свою очередь позволит улучшить технико-экономические показатели электроснабжения подземных потребителей угольных шахт.

Список использованной литературы

1. Ковалев А.П. О проблемах оценки безопасности технологических объектов топливно-энергетического комплекса Украины / А.П. Ковалев // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Електротехніка і енергетика». – 2004. – Вип. 79. – С. 111–118.
2. Ковалев А.П. О пожарной безопасности шахтных систем электроснабжения / А.П. Ковалев // Промышленная энергетика. — 1991. — №9. — С.12–14.
3. Энергетический менеджмент / А.В.Праховник, А.И.Соловей, В.В.Прокопенко и др. — К.: ІЕЕ НТУУ «КПІ», 2001. — 472 с.
4. Надежность технических систем: справочник / Ю.К. Беляев, В.А. Богатырев, В.В. Болотин и др.; под ред. И.А. Ушакова. — М.: Радио и связь, 1985.
5. Ковалев А.П. Применение логико-вероятностных методов для оценки надежности структурно-сложных систем / А.П. Ковалев, А.В. Спиваковский // Электричество. — 2000. — №9. — С.66–70.

Надійшла до редакції
01.03.2012

Рецензент:
д-р техн.наук, проф. Скобцов Ю.О.

V.V. Turupalov, L.A. Shebanova. Models of Shaping of Distributive Webs Ensuring a Normative Level of Reliability and Safety. The given article is devoted to shaping of systems of power supply of collieries by criterion of reliability of power supply of the consumers with allowance of normative reliability levels of sites of a load.

Keywords: reliability, consumer, mine.

В.В. Турупалов, Л.О. Шебанова. Способи формування розподільчих мереж забезпечуючих нормативний рівень надійності і безпеки. Стаття присвячена формуванню системи електропостачання вугільних шахт за критерієм надійності електропостачання споживачів з урахуванням нормативних рівнів надійності діляниць навантаження. У статті запропоновані рекомендації щодо забезпечення нормативного рівня надійності системи, які дозволять оптимізувати структуру підземних систем споживання, що в свою чергу дозволить поліпшити технологічні параметри потужності живлення підземних споживачів шахт.

Ключові слова: Критерій надійності – Споживач – Шахта.

© Турупалов В.В., Шебанова Л.А., 2012