

## ВЛИЯНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ НА ОЦЕНКУ НЕДООТПУСКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ СЕТЯХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ В ПОСЛЕАВАРИЙНОМ РЕЖИМЕ

Турупалов В.В.

Донецкий государственный технический университет, кафедра АТ

E-mail: tvv@fcita.dn.ua

### Abstract

*Turupalov V.V. Influence of probability of non-failure operation to an evaluation of deficiency of an electrical energy in high-voltage webs of collieries in emergency operation. As a result of failures in high-voltage webs originating in inquest of refusals of elements of a system, there is a deficiency of electrical energy to the consumers. Estimations of deficiency of the electric power and emergency operation the given operation is dedicated.*

Надежность подземных систем электроснабжения (ПСЭС) уменьшается вследствие: отклонений фактических условий функционирования ПСЭС от расчетных в результате превышения фактического электропотребления над расчетным или задержки ввода оборудования и отказов элементов системы.

Действие факторов, снижающих надежность ПСЭС, компенсируется за счет: выбора структуры ПСЭС; повышения надежности и улучшения технических показателей оборудования; резервирования во всех звеньях системы; выбора средств автоматического управления системой; улучшения организации эксплуатации ПСЭС, включая совершенствование системы планово-предупредительных ремонтов и повышение качества работы эксплуатационного персонала.

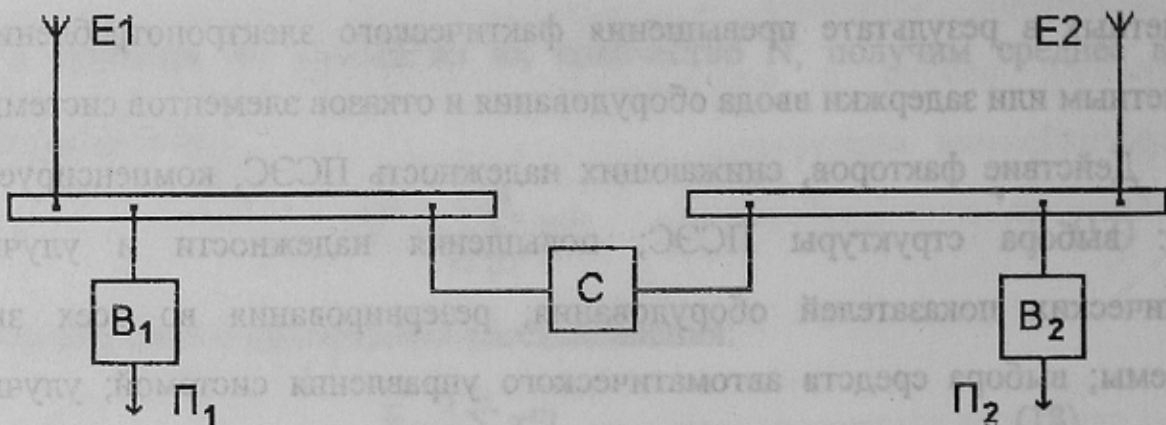
При выборе управляющих воздействий для реализации указанных путей повышения надежности приходится учитывать следующие особенности ПСЭС:

значительное территориальное распределение и большое число элементов, формирующих систему;

отчетливо выраженную территориально-временную иерархию построения ПСЭС и управления ее режимами.

Общая задача обеспечения надежности ПСЭС состоит в максимизации значений показателей надежности в течение рассматриваемого периода времени за счет располагаемых средств обеспечения надежности. Рассматривая лишь условия эксплуатации ПСЭС, в качестве средств повышения надежности можно использовать только резервирование, оптимальную настройку средств автоматического управления системой и улучшение организации эксплуатации.

В результате аварий в питающих линиях ПСЭС происходит изменение структуры ПСЭС за счет отключения отказавшей линии и включения резерва. Секции шин центральной подземной подстанции (ЦПП) и распределительной подземной подстанции (РПП), как правило, подключены к независимым линиям питания с помощью одного кабеля (рис.1). Ввод резерва осуществляется через секционный выключатель. Тогда в резервную линию входит питающий кабель, вводное комплектное распределительное устройство (КРУ), секция шин, секционное КРУ. Если ЦПП или РПП состоит из 3 и более секций шин, то резерв вводится по аналогичной последовательности.



E1, E2 - источник питания; B1, B2 - коммутационные аппараты;  
П1, П2 - потребители; С - секционное КРУ.

Рисунок 1 - Система электроснабжения с резервным питанием

Электрооборудование ПСЭС, ввиду стохастических режимов работы электроприемников, выбирается на основании коэффициента спроса. Сечение вводных кабельных линий ЦПП выбирается с 15 % резерва, а РПП с 85 % запасом.

В аварийных режимах средний дефицит мощности можно определить по формуле

$$\Delta W = \sum_{i=1}^n (W_y - W_i) P_{W_i}, \quad (1)$$

где  $W_y$  - потребляемая мощность в нормальном режиме работы;

$W_i$  - допустимое значение передаваемой мощности по  $i$ -му пути послеаварийного состояния;

$P_{W_i}$  - вероятность развития аварии по  $i$ -му пути.

Для приведенной на рис.1 системе электроснабжения подземных потребителей вероятность развития аварии по  $i$ -му пути определяется как вероятность нахождения системы в неработоспособном состоянии, которая определяется на основе Марковской модели состояний системы. Сокращение времени нахождения системы в неработоспособном состоянии достигается за счет применения АПВ и АВР.

Применение АПВ позволяет, практически мгновенно, восстановить питание секции шин при возникновении отказа типа к.з. и о.з. Это обеспечивается наличием различных защит КРУ, которые не позволяют включиться КРУ отходящего присоединения, в котором произошел отказ. АВР обеспечивает подключение резервного питания при отказе основной линии питания также практически мгновенно ( $T \rightarrow 0$ ).

С учетом этого разработан граф состояний сборной шины с АПВ и АВР (рис.2), для которого характерны следующие узлы:

1 - состояние, соответствующее нормальной работе обеих линий питания;

2 - состояние, соответствующее отказу в питающей линии E1 и подключению с помощью АВР линии E2 для питания первой секции шин;

3 - состояние, соответствующее отказу питающей линии E2 и подключению с помощью АВР линии E1 второй секции шин;

4 - состояние, соответствующее отказу обеих линий питания;

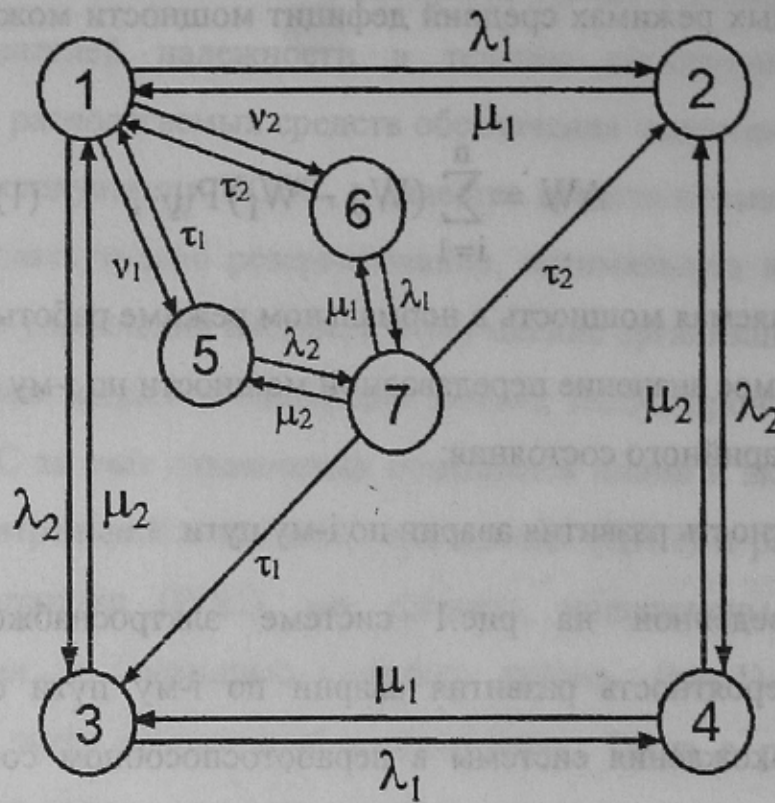


Рисунок 2 - Граф состояний двухсекционной сборной шины с АПВ и АВР

5 - состояние, соответствующее отключению первой секции шин для проведения планового технического обслуживания;

6 - то же для второй секции шин;

7 - состояние, соответствующее отказу в одной питающей линии при проведении планового обслуживания в другой.

Интенсивности перехода из состояния 1 в состояние 2, из состояния 3 в состояние 4, из состояния 6 в состояние 7 и обратно соответствуют интенсивностям отказа и восстановления в питающей линии E1.

Интенсивности перехода из состояния 1 в состояние 3, из состояния 2 в состояние 4, из состояния 5 в состояние 7 и обратно соответствуют интенсивностям отказа и восстановления в питающей линии E2.

Интенсивность перехода из состояния 1 в состояние 5 соответствует частоте проведения планового технического обслуживания первой секции шин.

Интенсивность перехода из состояния 1 в состояние 6 соответствует частоте проведения планового технического обслуживания второй секции шин.

Интенсивности перехода из состояния 5 в состояние 1, из состояния 7 в состояние 3 соответствуют обратной величине длительности планового обслуживания первой секции шин.

Интенсивности перехода из состояния 6 в состояние 1, из состояния 7 в состояние 2 соответствуют обратной величине длительности планового обслуживания второй секции шин.

Для системы (рис.1) с АПВ и АВР (граф состояний рис.2) система уравнений имеет вид:

$$\begin{cases} -(\lambda_1 + \lambda_2 + v_2 + v_1)p_1 + \mu_1 p_2 + \mu_2 p_3 + \frac{1}{\tau_1} p_5 + \frac{1}{\tau_2} p_6 = 0 \\ \lambda_1 p_1 - (\mu_1 + \lambda_2) p_2 + \mu_2 p_4 + \frac{1}{\tau_2} p_7 = 0 \\ \lambda_2 p_1 - (\mu_2 + \lambda_1) p_3 + \mu_1 p_4 + \frac{1}{\tau_1} p_7 = 0 \\ \lambda_2 p_2 + \lambda_1 p_3 - (\mu_2 + \mu_1) p_4 = 0 \\ v_1 p_2 - \left( \frac{1}{\tau_1} + \lambda_2 \right) p_5 + \mu_2 p_7 = 0 \\ v_2 p_1 - \left( \frac{1}{\tau_2} + \lambda_1 \right) p_6 + \mu_1 p_7 = 0 \\ \lambda_2 p_5 + \lambda_1 p_6 - \left( \mu_1 + \mu_2 + \frac{1}{\tau_1} + \frac{1}{\tau_2} \right) p_7 = 0 \end{cases} \quad (2)$$

С учетом условия

$$\sum_{i=1}^7 p_i = 1 \quad (3)$$

система (2) преобразовывается в систему независимых уравнений.

Выразив из (3) вероятность  $p_4$  и отбросив первое уравнение системы (2), получим систему из 6 независимых алгебраических уравнений, решением

которой являются вероятности нахождения в работоспособных и неработоспособных состояниях каждой секции шин с АПВ и АВР.

Средний недоотпуск электроэнергии за время ликвидации аварии по  $i$ -му пути

$$\Delta T_{B_i} = T_{B_i} \cdot \Delta W, \quad (4)$$

где  $T_{B_i}$  - время восстановления  $i$ -го пути.

Дефицит электрической энергии, возникающий при развитии аварии по  $i$ -му пути, необходим для оперативного управления системой.

Из предыдущего рассмотрения следует, что оценка недопуска электроэнергии вследствие ограничений режимов работы в сложных системах связана с анализом параметров режимов в различных состояниях. Нетрудно заметить, что с ростом размера анализируемой системы число состояний, в которых возникает недоотпуск электроэнергии потребителям, резко возрастает. Возникновение тех или иных состояний системы обусловлено влиянием различных случайных факторов, зачастую непосредственно не связанных с режимами систем, и возможно при любых сочетаниях нагрузок.

Такая модель позволяет лишь установить граничные значения недоотпуска, да и то при максимальном упрощении условий задачи. Использование для моделирования процессов электропотребления, например метода статистических испытаний в случае большого размера системы, практически нереализуемо, тем более что режимы электропотребления различных узлов на достаточно длительном интервале, как правило, взаимозависимы.

Задача еще более усложняется, если анализировать не одно состояние, а множество состояний, характеризующихся дефицитом электроэнергии, так как с определенной вероятностью в течение времени аварийного режима система может быть в каждом из них. Число сочетаний режимов и состояний настолько велико, что детерминированный подход и метод статистических испытаний оказываются нереализуемыми даже для систем относительно

небольшого размера. Поэтому выбор модели системы и ограничения путей развития аварий, по существу, определяет успех решения.

Ученые Херфордшира, А. Смит и Д. Девис в своей работе "Аварийный контроль в системах управления" рассматривают различные аспекты этой проблемы.

В работе А. К. Абрахам "Аварийный контроль в системах управления" рассматриваются различные аспекты этой проблемы. В частности, рассматриваются различные аспекты этой проблемы.

Важным аспектом является анализ различных систем управления. В частности, рассматриваются различные аспекты этой проблемы. В частности, рассматриваются различные аспекты этой проблемы.

Важным аспектом является анализ различных систем управления. В частности, рассматриваются различные аспекты этой проблемы. В частности, рассматриваются различные аспекты этой проблемы.

Важным аспектом является анализ различных систем управления. В частности, рассматриваются различные аспекты этой проблемы. В частности, рассматриваются различные аспекты этой проблемы.

Важным аспектом является анализ различных систем управления. В частности, рассматриваются различные аспекты этой проблемы. В частности, рассматриваются различные аспекты этой проблемы.

Важным аспектом является анализ различных систем управления. В частности, рассматриваются различные аспекты этой проблемы. В частности, рассматриваются различные аспекты этой проблемы.