

УДК [004.89:519.816]:621.311

И. А. КОТОВ канд. техн. наук, доц.

ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

ПОСТРОЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ РЕШЕНИЙ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЛОГИКО-ВЕРОЯТНОСТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ СХЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Рассмотрены вопросы построения баз знаний систем поддержки решений диспетчерского управления электроснабжением в кризисных ситуациях. Предложены логико-вероятностные модели для оценки параметров надежности систем электроснабжения. Определен язык высказываний профессиональной области. Реализован механизм формализации продукции с учетом параметров надежности.

Розглянуті питання побудови баз знань систем підтримки рішень диспетчерського управління електропостачанням у кризових ситуаціях. Запропоновані логіко-імовірнісні моделі для оцінки параметрів надійності систем електропостачання. Визначено мову висловлювань професійній області. Реалізований механізм формалізації продукції з урахуванням параметрів надійності.

The issues of building a knowledge base of decision support systems for dispatching management of power supply in crisis situations. The logical-probabilistic models to estimate the parameters of reliability of power supply systems was proposed. Defined language utterances professional field. The mechanism of formalization of products with regard to reliability parameters.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. В современных условиях развития и интеграции компонентов промышленно-хозяйственного комплекса значительно возрастают требования к качеству оперативного управления технологическими процессами. Неуклонно растущая сложность внутренних функциональных взаимосвязей производственных систем естественно приводит к усложнению и суперпозиции процессов диспетчеризации. При этом растут риски и ущербы от аварийных ситуаций, вызванных причинами как экзогенного, так и внутреннего характера. К последним относится так называемый «человеческий фактор». Для снижения степени данного фактора используются различные методики профессиональной и психофизиологической подготовки диспетчерского персонала. Однако, имеются физические пределы скорости реакции, мышления, устойчивости к стрессу, возможности логического вывода и обобщения управляющего персонала в аварийных кризисных ситуациях. Особенно значительные ущербы наблюдаются с системообразующих, базовых народно-хозяйственных отраслях, таких как энергетика и системы электроснабжения [1].

Следовательно, должны решаться в комплексе две задачи: оперативная оценка параметров надежности компонентов системы электроснабжения и интеллектуальная поддержка процесса принятия диспетчерских решений в кризисных ситуациях. Под кризисной ситуацией должна пониматься совокупность факторов, приводящих к значительному народнохозяйственному ущербу в течение короткого времени, когда надлежащая управленческая реакция практически невозможна. Решение указанных задач требует совершенствования математического и аппаратно-программного обеспечения, пропорционального сложности объектов управления, ожидаемым финансовым, экологическим и социальным рискам. При этом, на первый план выходит скорее не абсолютная точность рассчитываемых параметров, а скорость оценок, темп принятия решений и имплементации управляющих воздействий. Поэтому, при кризисном управлении сложными промышленными комплексами, актуальным является вопрос о переносе центра тяжести с расчетных многофакторных задач на задачи сверхсрочной оперативной оценки и генерации верных тактических управляющих воздействий. Такие задачи должны решаться на основе оперативной оценки надежности компонентов промышленных комплексов, базирующейся на базах знаний (БЗ). Базы знаний должны строиться на едином идеологическом подходе и обеспечивать унификацию представления и использования заранее накопленных и структурированных знаний семантического и продукционного характера.

Анализ исследований и публикаций. Оперативная оценка надежности компонентов систем электроснабжения базируется на глубоком и проработанном математическом базисе. Здесь учитываются как чисто теоретические и строгие подходы, так и методики, основанные на практическом опыте эксплуатации и управления [2-5]. Опираясь на методологию теории надежности в области электроэнергетических систем, созданы мощные программные комплексы расчета показателей надежности [6]. С использованием такого развитого программного обеспечения возможно построение исчерпывающих баз знаний для их последующего использования в системах поддержки принятия решений (СППР) применительно к кризисным аварийным состояниям систем электроснабжения. Анализ показывает, что оперативная оценка надежности может производиться на основе логико-вероятностных моделей дерева отказов [7]. При этом иерархия отказов представляется системой высказываний, объединяемых логическими связями («И», «ИЛИ»). Тогда реализация событий отказов может выражаться конъюнктивными и дизъюнктивными связками высказываний. Учитывая такую модель, представляется возможным моделировать взаимосвязи отказов (а, значит, и надежности) оборудования продукционными сетями соответственно типов «И» и «ИЛИ».

Постановка задачи. Для постановки задачи была проведена сравнительная оценка методов анализа надежности систем электроснабжения. Анализ надежности систем электроснабжения может производиться статистическими методами на основе сбора и обработки данных испытаний на надежность. Статистические данные об отказах оборудования являются результатами фиксации фактов отказов при рабочей эксплуатации или в процессе запланированных целенаправленных испытаний (активных факторных экспериментов). По результатам экспериментов производится оценка показателей надежности и проверка гипотез об их законах распределения. Вероятностные модели отказов оборудования опираются на показатели вероятности безотказной работы, вероятности отказа, характеристики потока отказов. На базе основных показателей надежности строятся вероятностные модели надежности различных спецификаций: с учетом резервирования, восстановления, профилактики. В отдельную группу можно выделить логико-вероятностные методы анализа, отличающиеся наглядностью, доступным аналитическим аппаратом и гибкостью по отношению к типам схематических решений электроснабжения. Для оптимизации надежности обычно используются экономико-математические модели. Оптимальность электроснабжения по надежности в экономическом смысле означает достижение заданного экономического эффекта с минимальными затратами производственных ресурсов.

Проведенный анализ позволил сформулировать задачу исследования. Проблематика работы требует организации логической модели надежности электроснабжения с рассмотрением взаимосвязи отказов. Такой подход обеспечивает возможность применения логических (продукционных) моделей представления знаний для анализа сети отказов. Поэтому является необходимым разработка продукционных сетей, адекватно представляющих логико-вероятностную модель надежности. В работе исследуется логико-вероятностное моделирование системы отказов для анализа надёжности. После формирования математического аппарата следует производить множественные расчеты моделей надежности для различных схем электроснабжения. На основе полученных результатов должна формироваться база знаний. В критических ситуациях при дефиците времени будут использоваться готовые найденные оценки параметров надежности.

Изложение материала и результаты. Основной задачей работы является моделирование надежности системы электроснабжения с целью построения эффективной базы знаний о параметрах надежности системы электроснабжения. Для этой цели используем вероятностный подход к оценке надежности. В основе данного подхода лежат понятия вероятности безотказной работы (1) и вероятности отказа (2), которые выражаются через интенсивность отказов (3) [7]. Если для упрощения принять, что интенсивность отказов оборудования не меняется с течением времени при удалении от начального периода работы, то можно записать:

$$p(t) = e^{-\lambda t}, \quad (1)$$

$$q(t) = 1 - p(t) = 1 - e^{-\lambda t}, \quad (2)$$

$$\lambda(t) = \lambda = \text{const.} \quad (3)$$

Выражения характеризуют простейший поток отказов и экспоненциальный закон распределения наработки до отказа $F(t)$:

$$F(t) = q(t). \quad (4)$$

В этом случае интенсивность отказов оборудования определяется следующим образом:

$$\lambda(t) = \frac{F'(t)}{1 - F(t)}. \quad (5)$$

Для моделирования отказов установок необходимо учитывать в них последовательное и параллельное соединение единиц оборудования. При последовательном соединении элементов оборудования вероятность безотказной работы установки определяется вероятностью безотказной работы всех элементов оборудования за период t :

$$p(t) = \prod_{i=1}^n p_i(t). \quad (6)$$

При параллельном соединении элементов оборудования вероятность безотказной работы установки определяется соотношением резервных и отказавших элементов [7]:

$$p(t) = \sum_{k=r}^n C_n^k P^k(t) q^{n-k}(t), \quad (7)$$

где $C_n^k = \frac{n!}{(n-k)!k!}$;

n – общее количество единиц оборудования;

k – текущий номер единицы оборудования;

r – количество обязательных для работы единиц оборудования.

Располагая математической базой вероятностного метода расчета надежности электроснабжения, можно переходить к описанию системы отказов логико-вероятностными моделями. Одним из наглядных представлений таких моделей является дерево отказов. Естественно, что построение дерева отказов является разумным при сравнительно небольшом количестве анализируемых отказов. В наиболее общем виде условие возникновения отказа оборудования может быть сформулировано в следующем виде [7]:

$$\bar{Y} = \bigcup_{k=1}^N S_k, \quad (8)$$

$$S_k = \bigcap_{i \in I_k} \bar{y}_i \bigcap_{j \in J_k} \bar{y}_j,$$

где S_k – минимальное сечение событий, приводящее к отказу k -го вида;

\bar{y}_i – неработоспособное состояние i -го элемента, приводящее к k -му отказу;

\bar{y}_j – неработоспособное j -е состояние системы, при отказе k -ого вида.

Комбинация событий в формуле (8) оценивается путем анализа структуры системы электроснабжения и ее проектных характеристик. На основе установления причинно-следственных связей событий и состояний системы и их объединения с помощью логических связок можно получить структуру дерева отказов. При рассмотрении события отказа (или состояния) как высказывания дерево отказов можно выразить сложным конъюнктивно-дизъюнктивным высказыванием. При этом для упрощения принимают возможность не учитывать конъюнкции высоких порядков.

Теперь рассмотрим практическое применение предложенного подхода к моделированию и оценке надежности системы электроснабжения. В качестве примера используем фрагмент схемы питания шин собственных нужд электростанции [7].

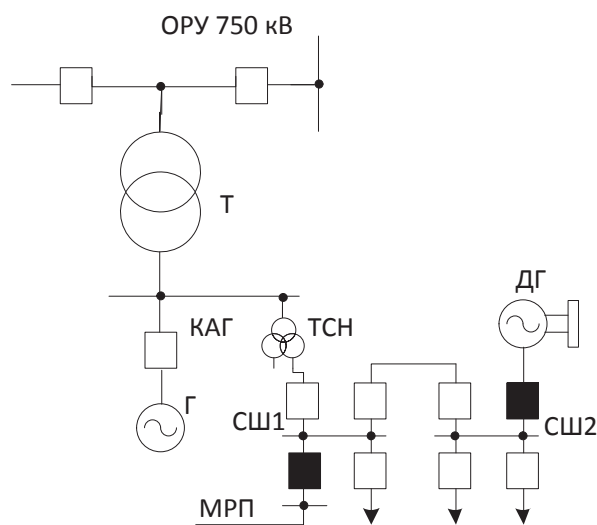


Рис. 1. Фрагмент схемы питания собственных нужд электростанции

Схема приведена на рис. 1.

Определим множество высказываний, характеризующих систему событий отказов системы электроснабжения, как подмножество языка профессиональной области.

$$F \subset F_{\Sigma}$$

где F_{Σ} – множество высказываний профессиональной области электроснабжения и теории надежности;

F – множество высказываний профессиональной области электроснабжения и теории надежности,

связанных с характеристиками взаимосвязанности и распространения отказов в схемах систем электроснабжения.

Здесь

$$F = \{f_i\} \tag{9}$$

где f_i – высказывание на множестве нетерминалов N .

Определим N как следующий набор профессиональных языковых форм:

$$N = \{\text{повреждение, отказ, присоединение, повторный, выключатель},$$

отключение, собственные нужды, сборные шины, питание, секционный, СШ1, ...}

Теперь множество F конкретизируем следующим образом:

f_1 = «повреждение присоединений секции СШ1»;

f_2 = «отказ повторного включения питания шин СШ1»;

f_3 = «повреждение сборных шин собственных нужд СШ1»;

f_4 = «отказ секционного выключателя сборных шин собственных нужд СШ1»;

f_5 = «отключение питания секции СШ2».

Дерево отказов приведено на рис. 2.

Теперь, в соответствии с рис. 2, определим функцию отказа \bar{Y} , характеризующую взаимовлияние отказов в рассматриваемой схеме электроснабжения:

характеризующую взаимовлияние отказов в рассматриваемой схеме электроснабжения:

$$\bar{Y} = (f_1 \wedge f_2) \vee f_3 \vee f_4 \vee f_5.$$

Таким образом, функция отказа вычисляется путем выполнения операций логического сложения и умножения над атомарными событиями и состояниями из множества F . При этом, для перехода к расчетам частоты и длительности отказов необходимо от операции конъюнкции перейти к операции умножения, а от операции дизъюнкции к операции сложения. Для расчета воспользуемся показателями на-

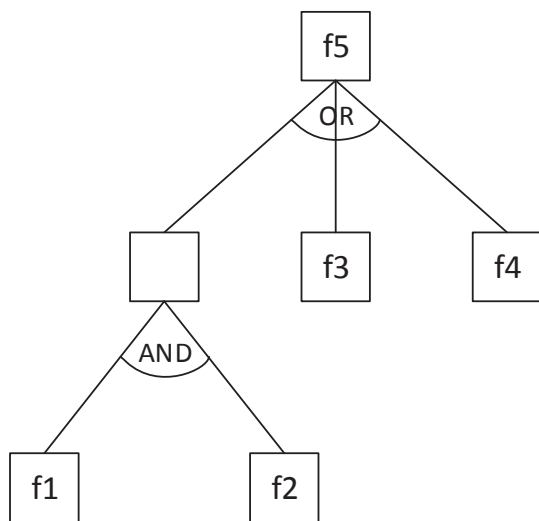


Рис. 2. Фрагмент дерева отказов для оценки надёжности питания шин СШ2

дежности из [7]. Определим частоту отключений:

$$\Lambda = \lambda(f) + 16\lambda(h) + (5\lambda(\epsilon) + 10\lambda(I))(Q_{0_{acc}} + Q_{(r_{acc})}) =$$

$$= 0.02 + 0.01 + 0.11 * 0.02089 = 0.03 + 0.002298 = 0.032298$$

Тогда, согласно (1)

$$p = e^{-0.032298} = 0.96821801,$$

$$q = 1 - p = 1 - 0.96821801 = 0.03178199$$

Проведем проверку расчетов аналитическим путем.

$$q_{01} = 0.0296, \quad q_{02} = 0.0020, \quad q_{03} = 0.0296, \quad q_{04} = 0.0022.$$

Вероятность отключения питания секции СШ2 определится следующим образом.

$$q_1 = q_{01}q_{02} = 0.0296 * 0.0020 = 0.0000592.$$

$$q_2 = q_{05} = 1 - (1 - q_1)(1 - q_{03})(1 - q_{04}) = 1 - (1 - 0.0000592)(1 - 0.0296)(1 - 0.0022) =$$

$$= 1 - 0.9999408 * 0.9704 * 0.9978 = 1 - 0.96821 = 0.03179$$

Таким образом, вероятность отказа (отключения питания секции

СШ2) равна 0,03179, а вероятность безотказной работы соответственно

$$p_2 = 1 - q_2 = 1 - 0.03179 = 0.96821 .$$

Как показывает проверка, расчеты произведены верно. Следовательно, логико-вероятностное моделирование надежности может использоваться для построения баз знаний интеллектуальных систем поддержки решений диспетчерского управления системами электроснабжения.

Продукционное правило, учитывающее параметры надежности рассмотренной схемы электроснабжения будет выглядеть следующим образом:

$$\left(\left(f_1 \text{ AND } f_2 \right) \text{ OR } f_3 \text{ OR } f_4 \right) \Rightarrow f_5 .$$

Выводы и направления дальнейших исследований. В работе рассмотрена задача построения интеллектуальных программных комплексов диспетчеризации с учетом показателей надежности компонентов систем электроснабжения. В качестве механизма формализации цепей отказов в схемах электроснабжения применен продукционный подход представления знаний, реализующий конъюнктивно-дизъюнктивные связи высказываний, ассоциированных с отказами. Показана эффективность предложенного подхода. Основным положительным качеством рассмотренного подхода является его единообразие и инвариантность по отношению к предметным областям, что позволяет строить эффективные системы поддержки решений в области менеджмента энергетическими компаниями и их оперативного управления. В качестве основных направлений дальнейших исследований могут рассматриваться методы унификации представления знаний области диспетчеризации электроэнергетических систем и построение единого ядра системы поддержки управленческих решений.

Список литературы:

1. Фокин Ю.А. Энергосберегающая технология электроснабжения народного хозяйства: В 5 кн.: Практ. Пособие / Под ред. В.А. Веникова. Кн. 3. Надежность и эффективность сетей электрических систем / Ю.А. Фокин. –М.: Высш. шк., 1989. –151 с.
2. Н.А. Манов, М.В. Хохлов Методы и модели исследования надежности электроэнергетических систем. –Сыктывкар, 2010. –292 с.
3. Биллinton Р., Аллан Р. Оценка надежности электроэнергетических систем: Пер. с англ. –М.: Энергоатомиздат, 1988. –288 с.
4. Надежность систем энергетики и их оборудования: Справочник / Под ред. Ю.Н. Руденко. Том. 1. Общие модели анализа и синтеза надежности систем энергетики. –М.: Энергоатомиздат, 1994. –480 с.
5. Фокин Ю.А., Туфанов В.А. Оценка надежности систем электроснабжения, –М.: Энергоиздат, 1981. –224 с.
6. Строганов А., Жаднов В., Полесский С. Обзор программных комплексов по расчету надежности сложных технических систем // Компоненты и технологии. -№5. –2007. –С. 183–190.