

УДК 621.311

## МЕТОДЫ ПОИСКА ОТКАЗОВ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Малыгин А.Д., магистрант гр. ЭАм-191, I курс  
Научный руководитель: Захарова А.Г., д.т.н., профессор  
Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева  
г. Кемерово

Одной из задач технической диагностики является поиск неисправностей, влияющих на правильное функционирование электрооборудования [1]. Крупные неисправности могут привести к отказу – событию, влекущему за собой частичную или полную потерю работоспособности установки [2].

Встречаются ситуации, когда неплановая остановка различных технологических процессов связана с отказами в работе электрооборудования. Это может быть оборудование непосредственно участвующее в этом процессе, а также организующее его систему электроснабжения. Вследствие этого могут возникать экономические убытки, недоотпуск продукции, простой оборудования и персонала, а в некоторых случаях – угроза жизни человека. Поэтому выбор метода поиска отказов, при использовании которого будет затрачено минимальное время на обнаружение неисправного элемента, является одной из важнейших задач.

При выборе определенного метода поиска отказов в основном опираются на функциональные особенности и конструкцию проверяемого электрооборудования. Использование одного из методов заключается в проведении ряда проверок элементов электрооборудования и определения их состояния. Наиболее распространенными являются методы:

- последовательных поэлементных проверок;
- последовательных групповых проверок;
- диагностических таблиц;
- комбинационный метод.

**Метод последовательных поэлементных проверок** представляет собой проверку элементов электрооборудования по заранее установленной последовательности [3]. В зависимости от результата проверки одного элемента в последовательности решается необходимость дальнейшего проведения проверок остальных элементов. В случае исправного состояния текущего элемента производится проверка следующего. В противном случае дальнейшие проверки не производятся до устранения неисправности отказавшего элемента. После устранения неисправности выполняют проверку работоспособности всего электрооборудования. Если работоспособность не восстановлена, то проверку элементов продолжают с места в последовательности, на котором был обнаружен неисправный элемент.

Последовательность проверок элементов формируется следующим образом:

- 1) по справочным данным определяется интенсивность потока отказов  $\lambda$  каждого элемента;
- 2) по опытным данным определяется среднее время проверки  $t$  каждого элемента;
- 3) определяется показатель эффективности проверки  $\theta$  каждого элемента:

$$\theta_i = \frac{\lambda_i}{t_i}, \quad (1)$$

где  $i$  – номер элемента.

- 4) полученные показатели выстраиваются в убывающий ряд.

Для оценки метода существуют следующие показатели:

- 1) среднее время отыскания неисправного элемента
- 2)

$$T_{от} = \sum_{s=1}^N Q_i \sum_{i=1}^s t_i, \quad (2)$$

где  $Q_i$  – условная вероятность отказа  $i$ -го элемента

$$Q_i = \frac{\lambda_i}{\sum \lambda_i}. \quad (3)$$

- 3) среднее число проверок при отыскании одного неисправного элемента

$$n = \sum_{i=1}^N Q_i \cdot i. \quad (4)$$

**Метод последовательных групповых проверок** заключается в разбиении системы на группы по определенным принципам [3]. Далее определяется группа с неисправным элементом путем контроля параметров в определенных точках. На практике обычно используются следующие принципы разбиения системы:

- по равенству элементов в группе;
- по равенству времени проверок элементов;
- по равенству вероятности отказа в группе.

Главной задачей при разработке программы поиска отказов является определение группы, с которой следует начинать проверку и последующих шагов после анализа результатов контроля для получения минимального времени поиска и количества проверок.

При решении задачи разбиения системы на две группы существуют следующие способы реализации метода последовательных групповых проверок [4]:

- 1) «средней точки» по числу элементов;
- 2) «средней точки» по половинному времени;
- 3) «средней точки» по половинной вероятности.

Принципы реализаций данных методов имеют сходства между собой. Во всех случаях система делится на две группы, и первое измерение параметров производится в средней точке схемы группы. После определения группы с неисправным элементом ее снова разбивают на две и измерения повторяют. Процесс повторяется до тех пор, пока не обнаружится неисправный элемент.

Отличие способов заключается в критерии, по которому происходит деление групп. В первом способе система делится на группы с равным числом элементов, во втором – на группы со схожим средним временем проверок, а в третьем – на группы со схожей вероятностью отказов.

Для оценки метода применяются следующие показатели:

- 1) среднее число разбиений  $K$  позволяет определить число разбиений в среднем, за которое можно обнаружить неисправный элемент

$$K = \log_m N, \quad (5)$$

где  $m$  – число групп,  $N$  – число элементов оборудования.

- 2) среднее число проверок  $n$

$$n = \frac{m + 1}{2} \cdot \frac{\log N}{\log m}. \quad (6)$$

- 3) среднее время отыскания неисправного элемента

$$T_{от} = t \cdot n, \quad (7)$$

где  $t$  – среднее время одной проверки.

**Метод диагностических таблиц** заключается в проведении анализа реакций проверяемого оборудования на контрольные сигналы [4]. Для проведения проверок данным методом составляется списки возможных неисправностей и контрольных тестов. Тест заключается в подаче сигнала на определенные входы схемы оборудования и наблюдением за реакцией на соответствующих выходах. По полученным спискам составляется диагностическая таблица (табл. 1).

Таблица заполняется по определенному правилу. При проведении определенного теста делаются гипотезы о наличии неисправности поочередно в каждом элементе. Если при наличии неисправности в элементе тест выполняется верно, то в клетку заносят нуль, если нет – единицу.

Для нахождения отказавшего элемента составляется таблица проверок, по сути аналогичной диагностической проверке, после чего проводятся все тесты над каждым элементом. Если элемент успешно проходит тест, то в таблицу заносят нуль, в противном случае – единицу. Далее полученные

столбцы сопоставляются со столбцами диагностической таблицы. Элементы, столбцы которых совпали, признаются неисправными.

Таблица 1

Диагностическая таблица

Тесты	Элементы			
	1	2	3	4
1	1	1	0	1
2	0	0	1	0
3	1	0	0	1
4	1	0	1	0

**Комбинационный метод** заключается в поиске неисправностей путем измерения определенного набора параметров [3]. Неисправный элемент определяется из условия нахождения измеренных данных в допустимых и недопустимых пределах. Анализ результатов может производиться после измерений всех параметров или после каждого измерения. В случае анализа после каждого измерения, проверку можно остановить при получении информации, достаточной для определения неисправного элемента.

При использовании данного метода составляется таблица (табл. 2) элементов и измеряемых параметров оборудования. Таблица заполняется нулями и единицами, в зависимости от того, влечет ли выход параметра за допускаемые пределы проверяемого элемента или нет.

Таблица 2

Зависимость параметров оборудования  
от состояния элементов

Элементы	Параметры					Кодовые числа элементов	
	1	2	3	4	5	Исходное	Окончательное
1	1	0	0	1	0	14	14
2	0	1	1	0	0	23	23
3	1	1	0	0	1	125	12
4	0	1	0	1	0	24	24
	2	3	2	2	1		

В графе «Исходное» заносится кодовое число, характеризующее каждый элемент. Эти числа состоят из номеров параметров, которые измеряются при его отказе. Окончательные кодовые числа получаются после удаления наименее информативных параметров. Для определения степени информативности параметров в последней строке таблицы записывается число элементов, определение исправности которых зависит от данного параметра. В случае получения кодовых чисел без нулей и повторяющихся чисел вы-

бренные параметры обеспечивают однозначность определения неисправного элемента.

Для определения неисправного элемента проводится измерение параметров элементов в соответствии с его кодовым числом. При выходе измеряемых параметров за допустимые пределы делается заключение о неисправности проверяемого элемента оборудования.

Для оценки метода применяются следующие показатели:

1) число состояний системы  $M$  в зависимости от числа отказавших элементов

$$M = \sum_{S=1}^N \frac{N!}{S! (N - S)!}, \quad (8)$$

где  $S$  – число неисправных элементов,  $N$  – число элементов оборудования.

2) минимальное число параметров  $n$  для однозначного определения неисправного элемента

$$n_{\min} < n < N, \quad (9)$$

где  $2^{n_{\min}} = M$  – теоретическое минимальное число параметров.

3) среднее время отыскания неисправного элемента

$$T_{\text{от}} = \sum_{S=1}^N t_{\text{пр},S} + t_{\text{пр},\text{реш.}}, \quad (10)$$

где  $t_{\text{пр},S}$  – среднее время одного измерения,  $t_{\text{пр},\text{реш.}}$  – среднее время принятия решения по результатам измерения параметров.

Выбор того или иного метода поиска отказов зависит от различных факторов и условий их проведения. Основными факторами являются элементный состав и функциональная структура проверяемого электрооборудования. Однако также влияние оказывает внешние факторы, такие как количество времени на проведение проверки, опыт и квалификация персонала.

### Список литературы:

1. Ключев, В.В. Технические средства диагностирования [Текст]: справочник / В.В. Ключев, П. П. Пархоменко, В.Е. Абрамчук; под общ. ред. В. В. Ключева. – Москва: Машиностроение, 1989. – 672 с.
2. ГОСТ 27.002 – 89. Надежность в технике. – Москва: Изд-во стандартов, 2002.

3. Аполлонский, С.М. Надежность и эффективность электрических аппаратов [Текст]: / С.М. Аполлонский, Ю.В. Куклев. – Санкт-Петербург: Лань, 2011. – 195 с.

4. Малышев А. С. Монтаж и ремонт радиоэлектронной аппаратуры [Текст]: учебное пособие / А. С. Малышев; Нац. исслед. Том. гос. ун-т. – Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2015. – 144 с.