

Полученный С-граф является информационной средой для дальнейших исследований.

Литература

1. Практические рекомендации по выбору типовой модели системы управления качеством образования для вузов и ссузов (Проект). СПб.: Изд-во С-Петербур. электротехн. ун-т (ЛЭТИ), 2005. 101 с.

2. О высшем и послевузовском профессиональном образовании: федер. закон от 22. авг. 1996 г. № 125-ФЗ (ред. от от 27.07.2010; с изм. от 27.12.2009). [Электронный ресурс]. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

3. Проектирование основных образовательных программ вуза при реализации уровней подготовки кадров на основе федеральных государственных образовательных стандартов /под ред. С.В. Коршунова. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. 212 с.

4. Селевко Г.К. Энциклопедия образовательных технологий. В 2 т. М.: НИИ школьных технологий, 2006. Т.1. 816 с.

5. Шахова Е.Ю., Энгель В.Э. Оценка факторов, влияющих на качество профессионального образования: материалы регион. науч.-метод. конф. Братск: Брат. техн. ун-т, 2003. Ч. 1. 289 с.

6. Алпатов Ю.Н. Синтез систем управления методом структурных графов: монография. Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 1988. 184 с.

УДК 004.052.3:519.2

А.А. Ермаков

МОДЕЛЬ КОМПЛЕКСНОГО ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ПОИСКА ОТКАЗА В ТЕХНИЧЕСКОМ ОБЪЕКТЕ

В статье рассмотрена вероятностная модель комплексного применения методов поиска отказов в сложном техническом объекте. Получена расчетная формула для вероятности обнаружения отказа при практически применяемом комплексировании метода внешнего осмотра и метода инструментального контроля. Получены выражения для случая n -уровневого контроля отказа.

Ключевые слова: технический объект, событие обнаружения (необнаружения) отказа, вероятность обнаружения (необнаружения) отказа, модель комплексного применения методов обнаружения отказа, внешний осмотр, средства инструментального контроля.

Одним из важнейших элементов обслуживания любого технического объекта (ТО) является устранение его отказов в процессе эксплуатации. Этому предшествует процесс обнаружения отказа, который почти всегда ставит перед специалистами вопрос: какие методы и средства необходимо использовать для того, чтобы отказ был обнаружен с максимальной точностью. Действительно, разные по своему содержанию отказы имеют одинаковые проявления. Так, например, большинство анероидно-мембранных или электрических приборов могут перестать функционировать как из-за нарушения работоспособности своей принципиальной схемы, так и по причине разрушения корпуса. Такая ситуация характерна для большинства видов ТО. В настоящей статье рассматривается модель ком-

плексного применения таких методов обнаружения неисправностей, как внешний осмотр ТО и использование средств инструментального контроля, проводится вероятностный анализ этой модели и делается вывод об обоснованности и точности обнаружения отказа.

Пусть технический объект имеет сложную структуру, состоящую из внешней видимой части и внутренней невидимой структуры. Предположим, что методика определения работоспособности ТО или нахождения отказа предусматривает как процедуру внешнего осмотра, так и с использование средств инструментального контроля. Кроме того, будем считать, что в рассматриваемом ТО отказы образуют простейший поток и, следовательно, обладают свойством ординарности.

Рассмотрим событие отказа такого ТО. На основании свойства ординарности потока отказов считаем, что произошедший отказ является единственным. Известно, что в результате проведения операции контроля этот отказ был обнаружен. Событие обнаружения отказа может произойти либо в результате внешнего осмотра, либо с помощью средств инструментального контроля. Метод внешнего осмотра применяется первым, как наиболее дешевый. При этом возможны следующие варианты:

- отказ обнаружен путем внешнего осмотра. В этом случае ТО снимается с эксплуатации до устранения отказа или замены отказавшего агрегата и выяснения причины неисправности, приведшей к отказу. Следовательно, необходимость в инструментальном контроле отпадает;

- отказ не обнаружен внешним осмотром, но обнаружен средствами инструментального контроля.

Случай необнаружения отказа вообще не представляет интереса в силу ранее предложенного предположения.

Рассмотренные случаи представляют собой компоненты модели комплексного применения методов обнаружения отказа. При этом поясним, что событие обнаружения отказа вообще является сложным. Его можно рассматривать как комбинацию простых событий, например, некоторого события, состоящего в обнаружении отказа при внешнем осмотре и события не обнаружения отказа средствами инструментального контроля. Действительно, если отказ обнаружен при внешнем осмотре, то в силу ординарности потока отказов нет необходимости применять инструментальные средства. Так как эти средства не применяются, то, следовательно, и обнаружить с их помощью отказ невозможно.

Определим все события, связанные с обнаружением отказа ТО. Пусть события: A – это событие обнаружения отказа любым видом контроля из определенных ранее или комбинацией любых видов контроля; A_1 – это событие обнаружения отказа внешним осмотром без применения средств инструментального контроля; A_2 – это событие обнаружения отказа с помощью средств инструментального контроля. \bar{A}_1, \bar{A}_2 – события необнаружения отказов одним или другим видом контроля соответственно.

Тогда, в соответствии с ранее приведенными рассуждениями, имеем:

$$A = (A_1 \wedge \bar{A}_2) \vee (\bar{A}_1 \wedge A_2) \quad (1)$$

Случай $A = (A_1 \wedge A_2)$ не рассматривается, так как если имеет место событие

A_1 , то, согласно предположению, нет необходимости в применении средств инструментального контроля, то есть нет необходимости в событии A_2 .

Выражение (1) можно рассматривать как логическую модель комплексного применения методов обнаружения неисправности ТО.

В логической модели события $(A_1 \wedge \bar{A}_2)$ и $(\bar{A}_1 \wedge A_2)$ являются несовместными, так как они исключают друг друга. Тогда, на основании теоремы сложения вероятностей,

$$P(A) = P(A_1 \bar{A}_2) + P(\bar{A}_1 A_2),$$

где $P(A)$ – вероятность появления события A , а $P(A_1 \bar{A}_2), P(\bar{A}_1 A_2)$ – вероятности совместного появления соответствующих событий.

Согласно определению вероятности совместного появления событий, имеем:

$$P(A) = P(A_1)P(\bar{A}_2 / A_1) + P(\bar{A}_1)P(A_2 / \bar{A}_1). \quad (2)$$

Выражение (2) является вероятностным отображением модели (1), или вероятностной моделью.

Определим надежность выявления отказа через вероятность его обнаружения при предложенной методике контроля. Для этого зададимся обратными вероятностями:

- q_1 – вероятность необнаружения отказа внешним осмотром;

- q_2 – вероятность необнаружения отказа средствами инструментального контроля.

Рассмотрим по отдельности вероятности в правой части выражения (2). Здесь вероятность $P(A_i)$ – это вероятность, противоположная вероятности q_i , то есть

$$P(A_i) = 1 - q_i.$$

Вероятность $P(\bar{A}_2 / A_1)$, в силу отсутствия необходимости применять инструментальные средства контроля при обнаружении отказа внешним осмотром, равна $P(\bar{A}_2 / A_1) = 1$.

Условная вероятность $P(A_2 / \bar{A}_1)$ обнаружения отказа инструментальными средствами контроля в случае, когда внешним осмотром он не был обнаружен, не отличается от веро-

ятности $(1 - q_2)$, так как по определению последняя вероятность – это вероятность обнаружения отказа инструментальными средствами. Но инструментальные средства применяются только тогда, когда произошло событие \bar{A}_1 . Следовательно

$$P(A_2 / \bar{A}_1) = 1 - q_2.$$

Подставляем полученные вероятности в выражения (2) и таким образом выводим окончательную формулу модели (2), которая является расчетной, если известны величины вероятностей q_1 и q_2 :

$$\begin{aligned} P(A) &= (1 - q_1) + q_1(1 - q_2) = \\ &= 1 - q_1 + q_1 - q_1q_2 = 1 - q_1q_2 \end{aligned} \quad (3)$$

Последнее выражение с точки зрения теории надежности можно интерпретировать следующим образом: надежность выявления отказа определяется как вероятность обнаружения отказа, если принятые методы контроля ТО резервируют друг друга. Тогда, согласно теории, вероятность необнаружения отказа $P(\bar{A})$ ниже, чем у самого ненадежного метода контроля, а вероятность обнаружения отказа $P(A)$, определяемая выражением (3), будет выше, чем у самого надежного метода.

Исходя из (3) видно, что модель (2) может быть упрощена до вида:

$$P(A) = P(A_1) + P(\bar{A}_1)P(A_2 | A_1).$$

Упрощенная модель не отличается от (2), потому что в ней не учитывается вероятность $P(\bar{A}_2 / A_1)$, если имело место событие A_1 . Действительно, неприменение инструментальных средств в этом случае является событием достоверным. Именно поэтому упрощение модели (2) не является автоматическим отражением выражения (3).

Приведенные рассуждения о применимости того или иного вида контроля можно свести в следующую логическую формулу:

$$A = (A_1 \supset (q_1 = 0)) \vee (A_2 \supset (q_1 = 1)).$$

Это выражение говорит о том, что отказ будет обнаружен, если имеет место событие обнаружения отказа внешним осмотром A_1 , когда конструкция последнего позволяет это сделать ($q_2 = 0$) или если имеет место событие, связанное с применением инструментального контроля A_2 , когда в первом случае отказ не обнаружен или ТО и его конструкция не позволяют определить отказ внешним осмотром ($q_1 = 1$).

На основании изложенного можно сделать два вывода:

1. Насколько не был бы надежен традиционно применяемый метод контроля – для увеличения надежности выявления отказа желательнее иметь еще хотя бы один, пусть даже и не столь надежный метод контроля. Применение резервного метода контроля будет зависеть от конкретных условий выявления причин проявившегося отказа, результатов контроля другими методами. Экономически было бы вполне оправданным первым применять менее дорогой метод. Для методов, представленных в настоящей статье, это будет внешний осмотр.

2. Модель (2) и выражение (3) обосновывают сложившуюся практику процесса обслуживания сложных ТО и обнаружения в них отказов: сначала проводится обследование внешним осмотром, а затем применяются средства инструментального контроля.

Если же имеют место не два события, а три, где A_3 – событие обнаружения отказа с использованием более глубокой системы инструментального контроля (назовем их инструментальными средствами третьего уровня, а рассмотренные ранее – средствами первого и второго уровней соответственно), то (1) для этого случая примет вид:

$$\begin{aligned} A &= (A_1 \wedge \bar{A}_2 \bar{A}_3) \vee (\bar{A}_1 \bar{A}_3 \wedge A_2) \vee \\ &\vee (\bar{A}_1 \bar{A}_2 \wedge A_3). \end{aligned}$$

Отсюда вероятность обнаружения отказа:

$$\begin{aligned} P(A) &= P(A_1 \wedge \bar{A}_2 \bar{A}_3) + P(\bar{A}_1 \bar{A}_3 \wedge A_2) + \\ &+ P(\bar{A}_1 \bar{A}_2 \wedge A_3) \end{aligned}$$

Но вероятность $P(A_1 \wedge \bar{A}_2 \bar{A}_3)$ в силу неприменимости инструментальных средств как второго, так и третьего уровней, равна вероятности $P(A_1)$. Вероятность $P(\bar{A}_1 \bar{A}_3 \wedge A_2)$ из-за неприменения инструментальных средств третьего уровня равна величине

$P(\bar{A}_1)P(A_2 / \bar{A}_1)$. И, наконец, вероятность $P(\bar{A}_1 \bar{A}_2 \wedge A_3)$ с учетом того, что случайные события \bar{A}_1 и \bar{A}_2 независимы, имеет следующий вид

$$P(\bar{A}_1)P(\bar{A}_2)P(A_3 / \bar{A}_1 \bar{A}_2).$$

$$\begin{aligned} P(A) &= P(A_1) + P(\bar{A}_1)P(A_2 / \bar{A}_1) + \\ &+ P(\bar{A}_1)P(\bar{A}_2)P(A_3 / \bar{A}_1 \bar{A}_2) \end{aligned}$$

На основании этого выражения расчетная формула примет вид:

$$P(A) = 1 - q_1q_2q_3.$$

В общем виде, при применении средств контроля для поиска отказов n различных уровней, вероятностная модель и расчетная формула для нее будут иметь вид:

$$P(A) = P(A_1) + \sum_{i=1}^n P(A_{i+1} / \prod_{k=1}^i \bar{A}_k) \prod_{k=1}^i P(\bar{A}_k),$$
$$P(A) = 1 - \prod_{i=1}^n q_i .$$

УДК 621.311.004.12

Литература

1. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М.: Наука, 1969. 576 с.

Г.А. Большанин, Л.Ю. Большанина, Е.Г. Марьясова*

ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ПО ТРЕХПРОВОДНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Рассмотрены особенности распространения электрической энергии пониженного качества по трехпроводной линии электропередачи. Представлены законы распространения напряжения и тока по этим линиям. Построены графические зависимости распределения напряжения и тока вдоль трехпроводной линии электропередачи от емкости между проводом и заземленными конструкциями линии, от взаимной индуктивности между линейными проводами.

Ключевые слова: линия электропередачи, электрическая энергия пониженного качества, продольные и поперечные параметры, постоянная распространения, коэффициент фазы, коэффициент затухания электромагнитной волны.

Современные электроэнергетические системы (ЭС) содержат множество элементов силовой электроники, отличающихся ярко выраженной нелинейностью вольтамперных характеристик. Частые коммутационные переключения в ЭС вызывают колебательные процессы напряжений и токов. Все это способствует понижению качества электрической энергии.

Снижение качества электрической энергии (ЭЭ) существенно изменило условия снабжения электрической энергией промышленных и иных объектов. Изменения, как правило, негативного характера, сказались на функционировании практически каждого участка электроэнергетических систем (ЭС). Сказались они и на качестве транспортировки ЭЭ, а также на достоверности результатах анализа распространения по линиям электропередачи (ЛЭП) ЭЭ пониженного качества. Понижение качества электрической энергии оказалось причиной возникновения проблемы анализа распределения ЭЭ по линиям электропередачи.

Передача электрической энергии от места производства до места ее потребления в современных электроэнергетических системах выполняется при посредстве линий электропередачи чаще всего трехфазного исполнения. Это воздушные и кабельные линии. Транспортировка электрической энергии на дальние расстояния обычно выполняется воздушными линиями электропередачи высокого напряжения трехпроводного исполнения, если речь идет об одноцепной ЛЭП.

Традиционно при анализе результатов транспортировки электрической энергии по таким ЛЭП рассматривают передачу этой энергии по одному из проводов анализируемой линии электропередачи, а полученные при этом результаты распространяют на все три провода. При этом абсолютно без каких-либо серьезных оснований считается, что свойства распространения электрической энергии по однопроводной ЛЭП идентичны свойствам распространения этой энергии по трехпроводной линии электропередачи.

Трехпроводную ЛЭП в условиях пониженного качества электрической энергии, как и