

4. Полицкий Ю. Д. Новые способы выполнения сложных операций в системе остаточных классов // *Электронное моделирование*. — 2011. — Т. 33. — №5. — С. 73—81.
5. Факторович М. Г., Полицкий Ю. Д. Устройство для сравнения чисел, выраженных в системе остаточных классов. Авт. свид. СССР №608155 М.Кл<sup>2</sup> G 06 F 7/04, 1978.
6. Полицкий Ю. Д. Некоторые вопросы выполнения сложных операций в системе остаточных классов. // *Электронное моделирование*. — 2008. — Т. 30. — №2. — С. 115—120

пост.08.07.13

## Причины возникновения и классификация отказов в технических системах

*Е. П. НЕЧИПОРУК, Н. Б. МАРЧЕНКО*

Украина, Киевский национальный авиационный университет

Проведен анализ причин возникновения и характеристик отказов в современных сложных технических системах. Представлена классификация отказов по признакам. Показаны схемы, по которым могут строиться экспертные модели диагностирования сложного технического объекта.

Проведено аналіз причин виникнення та характеристик відмов у сучасних складних технічних системах. Представлена класифікація відмов за ознаками. Показані схеми, за якими можуть будуватися експертні моделі діагностування складного технічного об'єкта.

The analysis of the causes and characteristics of failures in today's complex technical systems. The classification on the grounds of failure. Are diagrams which can be based expert models of diagnosing complex technical object.

**Введение.** Сложность построения диагностической модели объекта на множестве возможных дефектов, учитывающая причины и следствия их проявления, требует тщательного анализа условий их эксплуатации, выявления всех факторов, влияющих на качество выполнения поставленных задач. Современные технические объекты, включающие в себя большое количество разнородных элементов – технику, программное обеспечение, информационные массивы, человеческий фактор, в значительной степени отличаются как по характеру отказов, так и по приемам и методам их обнаружения и устранения. При этом очевидно, чем тщательнее и шире задача диагностирования решается на стадиях проектирования, тем полнее вопросы диагностирования будут реализованы при эксплуатации.

В этой связи большое внимание уделяется исследованию причин и характеристик отказов современных технических систем, что позволило провести их общую классификацию.

### **Основная часть**

Для установления критериев отказов составляется перечень признаков или параметров, по которым может быть обнаружен факт возникновения каждого отказа. Данный этап анализа и установления возможных отказов, причин их возникновения, а также вызываемых ими последствий предполагает построение модели событий.

Степень полноты выявления возможных отказов в процессе жизненного цикла объекта, причин, приводящих к аварийным ситуациям, в значительной мере влияет на эффективность диагностической системы и, соответственно, на качество решаемых объектом диагностических задач. Только после этого следует приступить к решению вопросов обеспечения контролепригодности проектируемой системы в соответствии с проведенным анализом.

Отметим, что в настоящее время при проектировании и создании контролепригодных технических объектов достаточно большое внимание уделяется назначению минимальных совокупностей диагностических признаков из модели событий для определения технического состояния объекта. Причем такого рода диагностическая информация часто определяет только работоспособность системы, но не позволяет эффективно определять характер дефекта. Следует отметить отсутствие должного внимания к построению эффективных процедур обработки больших массивов диагностической информации с целью локализации и, возможно, уже в процессе работы, без перевода в режим восстановления, устранения возникших неисправностей, которые могут привести к отказу всей системы.

Результаты технического диагностирования позволяют прогнозировать надежность объекта на ближайший период. Решения в этом случае принимаются в соответствии с имеющимися моделями отказов и дефектов.

По типу отказы подразделяются на отказы функционирования, когда выполнение объектом основных функций, определяющих его работоспособность, прекращается, и параметрические отказы, при которых некоторые параметры объекта изменяются в недопустимых пределах, что также переводит объект в неработоспособное состояние. Природа отказов может быть случайной, обусловленной непредусмотренными перегрузками, дефектами материала, ошибками персонала или сбоями системы управления, или систематической, обусловленной закономерными и неизбежными явлениями, вызывающими постепенное накопление повреждений (усталость, износ, старение, коррозия и т. п.).

Полнота учета дефектов и отказов в модели зависит от проведенного анализа причин и характера их возникновения, исследования последствий отказов и

характера их устранения, прогнозирование времени их возникновения, возможности дальнейшего использования объекта по назначению при наличии дефектов.

Стратегии контроля и диагностирования должны учитывать характер возникновения отказов. При внезапных отказах, проявляющихся в резком (мгновенном) изменении характеристик (параметров) объекта, обычно не наблюдаются предварительные видимые признаки их

приближения. Внезапный отказ характеризуется независимостью момента наступления от времени предыдущей работы. Постепенные отказы, наступающие в результате длительного, постепенного ухудшения параметров объекта, могут быть предупреждены своевременным применением процедур диагностирования технического состояния объекта.

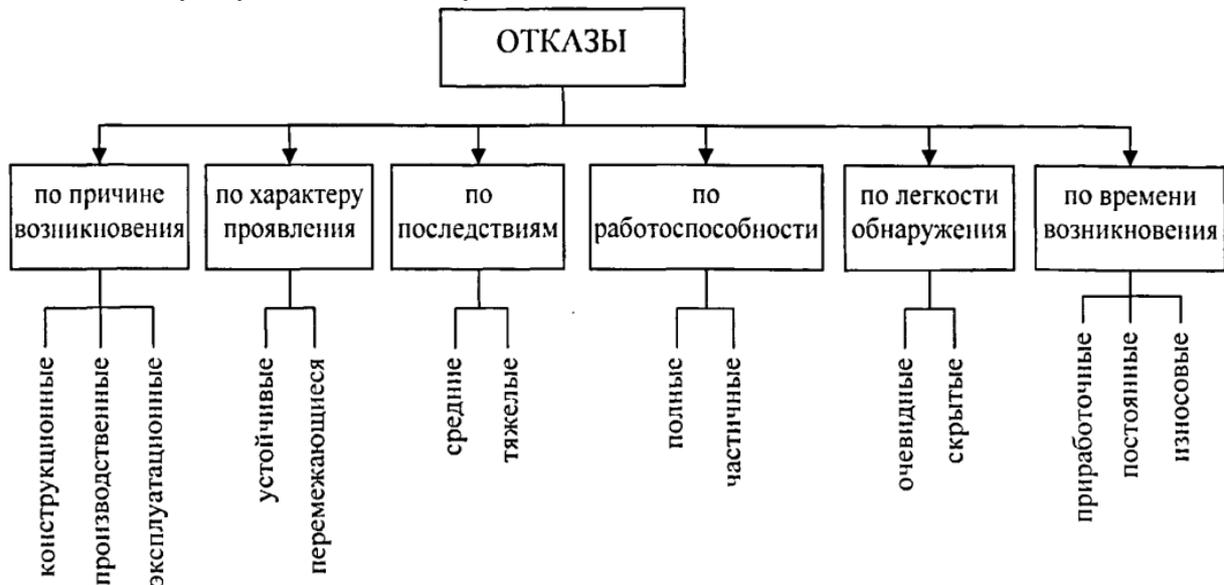


Рис. 1. Классификация отказов по признакам

На рис. 1 представлена классификация отказов по основным признакам, полученная в результате проведенного анализа источников [1-3].

Проведенный анализ работ в области диагностики технических средств показал отсутствие общего подхода к построению эффективных моделей, методов и алгоритмов контроля текущего состояния и диагностирования причин неработоспособности или возникновения предаварийных ситуаций в сложных системах с большим числом возможных состояний. При этом степень остроты проблемы обеспечения требуемой надежности постоянно увеличивается в связи с ростом конструктивной сложности и часто чрезвычайной опасности для окружающей среды и человека уникальных систем. Поэтому разработка новых методов контроля и диагностики сложных объектов, представимых моделями событийных состояний, является важной и актуальной задачей в настоящее время.

При разработке систем диагностирования, как правило, ориентируются на имеющиеся модели обнаружения отказов, присущие проектируемому объекту.

Достижение безаварийности и безопасности сложного технического объекта возможно при наличии систем диагностики, которые владеют рядом соответствующих характеристик, прежде всего, функционально-неопределенной структурой, независимой от типа обслуживания, которое диагностируется, инвариантной экспертной системой, высоким быстродействием и достоверностью диагностики - не менее (95-98) % [4].

Задачи диагностирования относятся к числу неоптимизационных (за исключением тех случаев, когда требуется отыскать наиболее вероятную комбинацию

отказов в условиях неполной определенности экспертной модели диагностирования сложного объекта). Поэтому при условии непротиворечивости и полной определенности экспертной модели задача диагностирования имеет лишь одно решение, идентифицирующее причину перехода объекта диагностирования в аномальное состояние.

Переход объекта диагностирования в аномальное состояние требует решения задачи диагностирования, формулируемой следующим образом: исходя из текущих значений характеристик состояния ОД, определить подсистемы, в которых произошли отказы, и виды этих отказов.

Локализация множественных отказов требует применения нетрадиционных методов диагностирования, подобных тем, которые используются в экспертных системах, обладающих элементами искусственного интеллекта.

Экспертные модели диагностирования сложной технической системы, в которой возможны комбинации повреждений, могут строиться по двум схемам [5]:

<комбинация элементарных отказов> → <изменение значения характеристики состояния системы> или

<элементарный отказ> → <изменение значений набора характеристик состояния системы>.

И в том, и в другом случае предполагается, что изменение значения каждой характеристики оценивается по отношению к заранее известному эталонному уровню. Допускается, что в случае невозможности количественного измерения той или иной характеристики

состояния ОД она может быть задана на качественном уровне.

Экспертная модель диагностики сложного объекта, построенная по первой схеме, имеет следующую структуру:

$$\bigvee_{r \in R_{pq}} \bigwedge_{i \in I_r} \bigwedge_{j \in J_{ri}} X_j(\sigma_i) \rightarrow D(z_p, h_{pq}), \quad p = \overline{1, u}, \quad q \in Q_p, \quad (1)$$

где  $X_j(\sigma_i)$  – логическое высказывание, которое описывает элементарный отказ  $j$ -го вида в  $i$ -й подсистеме объекта диагностики (ОД);

$D(z_p, h_{pq})$  – предикат, который отображает изменение значения характеристики  $z_p$  состояния ОД на величину  $h_{pq}$  по отношению к эталонному уровню в результате той или другой комбинации элементарных отказов;

$R_{pq}$  – множество комбинаций элементарных отказов, которые приводят к изменению значения  $p$ -й характеристики состояния ОД на величину  $h_{pq}$ ;

$I_r$  – множество подсистем ОД, отказа в которых составляют  $r$ -ю комбинацию;

$J_{ri}$  – множество видов отказов в  $i$ -й подсистеме ОД, которые входят в состав  $r$ -й комбинации;

$u$  – количество контролируемых характеристик состояния ОД;

$Q_p$  – множество возможных уровней изменения значения  $p$ -й характеристики состояния ОД в результате той или иной комбинации отказов.

Экспертная модель диагностики сложного объекта, построенная по второй схеме, имеет такой вид:

$$X_j(\sigma_i) \rightarrow \bigwedge_{p \in P_{ij}} D(z_p, h_{p_{ij}}); \quad i = \overline{1, m}; \quad j = \overline{1, n_i}, \quad (2)$$

где  $D(z_p, h_{p_{ij}})$  – предикат, который отображает изменение значения характеристики  $z_p$  состояния ОД на величину  $h_{p_{ij}}$  по отношению к эталонному уровню в результате возникновения отказа  $j$ -го вида в  $i$ -й подсистеме;

$P_{ij}$  – множество номеров характеристик состояния ОД, которые изменяют свои значения под влиянием отказа  $j$ -го вида в  $i$ -й подсистеме.

Совокупность выражений (1) и/или (2) образует базу знаний экспертной системы диагностирования сложного объекта.

При попытках дальнейшего совершенствования систем диагностирования целесообразно применять быстродействующие алгоритмы направленного поиска вариантов, что, в свою очередь, требует преобразования логико-лингвистических экспертных моделей диагностирования (1) и (2) к адекватным алгебраическим формам.

Проблема оптимизации стратегии диагностирования с целью оперативной локализации и устранения дефектов существенно обостряется, учитывая требования надежности опасных производственных объектов. Решение этой задачи принимает первостепенное значение для систем, качество функционирования которых существенно влияет на экологическую обстановку, и несвоевременное обнаружение дефектов может привести к необратимым катастрофическим последствиям.

Оптимизация управленческих решений, обеспечение оперативного контроля и диагностирования технического состояния таких структурно-сложных систем является актуальной, требующей особого внимания проблемой.

## Выводы

Приведенная классификация дефектов и отказов позволяет проектировщикам и разработчикам системы контроля и диагностирования выявить многообразие причин и множественный характер их возникновения, не пропустив при этом достаточно важные моменты. Эффективность решений зависит от тщательного анализа и учета дефектов, возникающих на всех этапах жизненного цикла сложного объекта.

Проведение диагностической процедуры и обработка ее результатов имеет большую трудоемкость, или, более того, нереализуема из-за ограничений на вычислительные ресурсы. Проведенные исследования выявили необходимость создания принципиально новой модели представления данных об объекте для целей диагностирования, на базе которой возможно организовать эффективную комбинационную процедуру поиска дефектов для сложных систем с большим числом состояний.

При исследовании сложных технических систем с использованием методов математического моделирования возникает ряд проблем, обусловленных большой размерностью задачи и необходимостью учета множества факторов, присущих системе и влияющих на качество решения задачи. Наличие большого количества реальных задач, комбинаторных по своему характеру, но содержащих нелинейные функциональные зависимости, потребовало разработки эффективных алгоритмов их решения, обладающих свойствами сходимости и полноты. Такие алгоритмы были созданы путем распространения стратегии направленного перебора вариантов на экстремальные комбинаторные модели с нелинейной структурой.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Литвин А. И. Распознавание отказов в системах автоматики с помощью ортогональных дискретных функций / А. И. Литвин, О. В. Подгорный, А. А. Засядько // Электронное моделирование. — 1995, 17, №2. С. 67—69.
2. Воронин В. В. Множество возможных дефектов и виды технических состояний / В. В. Воронин // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. — 2002. №6. С. 41—45.
3. Дианов В. Н. Диагностика и надежность автоматических систем / Дианов В. Н. — М.: МГИУ, 2004. — 164 с.
3. Костюков В. Н. Мониторинг безопасности производства / В. Н. Костюков. — М.: Машиностроение, 2002. — 224 с.
4. Экспертные модели определения множественных отказов в авиационных двигателях / С. А. Дмитриев, А. Е. Литвиненко, Е. П. Стёпушкина и др. // Вестник двигателестроения. — 2005. — №1. — С. 67—77.

пост.02.04.13

