

УДК 629.7.017.1

МЕТОД ОЦЕНКИ ЖИВУЧЕСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ НЕВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ СИСТЕМ С МНОГОСТУПЕНЧАТОЙ ДЕГРАДАЦИЕЙ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ Д-МАТРИЦ

В.С. Харченко ¹⁾, д-р техн. наук, Д.А. Черепихин ²⁾, В.И. Токарев ³⁾

¹⁾Национальный аэрокосмический университет им. Жуковского Н.Е. «ХАИ»,

²⁾фирма МКС, ³⁾ЗАО «Радий»

Предлагается метод оценки живучести и безопасности компьютеризированных систем управления критическими объектами, в которых допускается многоступенчатая деградация. Метод базируется на аппарате матриц деградации (Д-матриц) и является развитием FME(C)A-технологии. Приводится пример оценки живучести резервированной системы с деградацией подсистем. Даются рекомендации по применению метода для оценки безопасности невосстанавливаемых систем.

* * *

Пропонується метод оцінки живучості та безпеки комп'ютеризованих систем управління критичними об'єктами, в яких можлива багатоступенева деградація. Метод базується на апараті матриць деградації (Д-матриць) і є розвитком FME(C)A-технології. Надається приклад оцінки живучості резервованої системи з деградацією підсистем. Формулюються рекомендації щодо використання методу для оцінки безпеки невідновлюваних систем.

* * *

A method of computer-based control systems survivability and safety assessment is proposed. Systems for critical applications with multilevel degradation are described. The method is based on a degradation matrixes (D-matrixes) technique, which is modification of FME(C)A-technology. The example of survivability assessment of reservation system, consisting of subsystems with multilevel degradation is analyzed. Recommendations concerning usage of the method for assessment of safety are formulated.

Введение. Анализ проблемы оценки живучести и безопасности систем управления

Ужесточение условий функционирования и требований, предъявляемых к компьютеризированным системам управления (КСУ) критическими (аварийно опасными) объектами, определяет актуальность разработки методов и средств обеспечения живучести и безопасности КСУ, а также методов, позволяющих выполнить их качественную и количественную оценку. Для практического использования метод оценки живучести и безопасности должен отвечать следующим требованиям [1-3]:

- обеспечивать возможность описания состояний с различными уровнями качества функционирования (в процессе многоступенчатой деградации), в которых может находиться система вследствие отказов или ухудшения характеристик ее компонентов;

- давать достоверную оценку вероятности нахождения системы в состояниях с различным

уровнем качества для произвольного момента времени при наличии или отсутствии экстремальных воздействий;

- обеспечивать возможность оценки вероятности перехода системы в критическое (опасное) состояние, которое может быть выделено при построении диаграмм деградации [4,5].

В известных работах, посвященных рассматриваемой проблеме, используются методы, которые либо ориентированы на качественный анализ живучести и безопасности, например, на основе технологий FME(C)A [6,7], либо не дают единого подхода, позволяющего выполнить их количественный анализ.

В [8] предложен методический аппарат для проведения такого анализа с использованием матриц деградации (Д-матриц). Матрица деградации представляет собой таблицу, образованную пересечением возможных состояний (с любым допустимым уровнем качества функционирования) двух

произвольно взятых компонентов, ячейки которой соответствуют состояниям подсистемы, состоящей из указанных компонентов. Причем, в качестве рассматриваемых состояний одного или обоих компонентов матрицы могут использоваться допустимые состояния подсистемы, состоящей из двух и более базовых элементов.

Цель статьи - разработка метода комплексной оценки живучести и безопасности КСУ с использованием матриц деградации.

Общая характеристика метода. Основные допущения

Предлагаемый метод включает в себя последовательное выполнение следующих процедур:

- анализ функциональных и конструктивных особенностей рассматриваемой системы в целях выявления компонентов, допускающих деградацию качества функционирования;
- анализ условий работы системы и поставленных перед ней задач для определения допустимых величин деградации как отдельных элементов, так и системы в целом;
- анализ возможных и определение допустимых состояний исследуемой системы с использованием матриц деградации;
- описание критических (опасных) состояний на последних уровнях деградации системы;
- вероятностная оценка нахождения системы в состояниях с различными уровнями качества.

На начальном этапе оценки живучести необходимо провести декомпозицию рассматриваемой системы на подсистемы, целью которой является выявление компонентов, обладающих свойством живучести, т.е. допускающих многоступенчатую деградацию. Для иллюстрации предложенного метода оценки рассмотрим пример системы, состоящей из трех подсистем: пс1-пс3 (рис. 1), каждая из которых, в свою очередь, состоит из трех элементов: э1.1-э1.3, где i – порядковый номер подсистемы (рис.2).

Примем следующие допущения:

- подсистемы представляют собой различ-

ные по функциональному назначению устройства, следовательно, структурная схема надежности системы изображается в виде последовательного соединения ее подсистем;

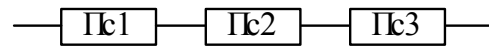


Рис. 1. Исходная система

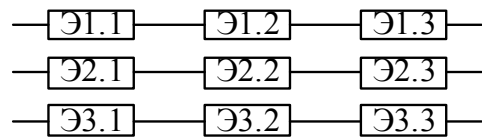


Рис. 2. Структурные схемы подсистем 1-3

- каждая подсистема содержит по три элемента, отказ одного или двух из которых не приводит данную подсистему и систему в целом в состояние полного отказа, а лишь снижает производительность данной подсистемы (частично работоспособное состояние);

- повышение живучести системы обеспечивается на уровне подсистем благодаря идентичности элементов и выполняемых ими функций внутри подсистемы. В случае отказа элемента его функции выполняются оставшимися исправными элементами данной подсистемы, но за более длительное время, либо с худшим качеством;

- отказ подсистемы, а следовательно, и системы в целом наступает после отказа всех элементов хотя бы одной подсистемы.

Кроме того, отметим следующее:

- в процессе функционирования системы может возникнуть ситуация, когда вследствие отказов элементов подсистем система перейдет в состояние, характеризующееся такой величиной показателя производительности или качества, при которой она не может быть использована по назначению. В этом случае можно говорить об отказе системы;

- в примере рассматривается этап нормальной эксплуатации системы, когда интенсивность отказов ее элементов можно считать постоянной, и, как следствие, при вероятностной оценке различных

состояний анализируемой системы будет использован экспоненциальный закон распределения случайных величин;

- критерием опасного состояния может быть, например, ситуация, связанная с отказом двух подсистем;

- внешние экстремальные воздействия проявляются через отказы элементов подсистем.

Получение и анализ Д-матриц

После анализа структурных и функциональных особенностей системы перейдем к непосредственному анализу возможных состояний системы, для чего воспользуемся Д-матрицами. В их ячейках описываются возможные состояния совокупности анализируемых компонентов. В рассматриваемом случае понадобится построение двух Д-матриц:

- Д-матрицы, описывающей промежуточные состояния системы, состоящей из первой и второй подсистем;

- финальной Д-матрицы, для получения которой используются состояния "промежуточной" системы, полученные на предыдущем этапе, и возможные состояния третьей подсистемы.

В общем случае финальная матрица содержит число ячеек, соответствующее произведению числа состояний, в которых может находиться каждая подсистема. В большинстве случаев можно говорить о существовании состояний, для которых показатель качества функционирования снижается ниже допустимого предела, что следует квалифицировать как отказ всей системы. Для уменьшения размерности Д-матриц такие состояния можно не учитывать при построении очередной матрицы деградации (в случае, если задачей исследования не является определение вероятности или ожидаемого времени перехода в каждое из возможных состояний системы, включая состояния, в которых система не работоспособна).

Учитывая допущение об идентичности элементов подсистемы, можно сделать вывод о посто-

янстве величины потери качества системы, независимо от того, какой именно элемент или пара элементов отказали в подсистеме. Таким образом, каждая подсистема рассматриваемого примера может находиться в четырех состояниях:

- si.1 (i – порядковый номер подсистемы): все элементы подсистемы исправны, подсистема дает максимальный вклад в качество системы;

- si.2: произошел отказ одного элемента подсистемы, величина показателя качества функционирования системы уменьшилась на $\Delta q_1(\%)$;

- si.3: произошел отказ двух элементов подсистемы, величина показателя качества функционирования системы уменьшилась на $\Delta q_2(\%)$;

- si.4: произошел отказ всех (трех) элементов подсистемы, система перешла в неработоспособное состояние.

Для системы множество возможных состояний включает в себя декартово произведение множеств $S_i = \{s_{i,j}\}$, $j=1, \dots, 4$. К опасным состояниям могут быть отнесены, как указывалось выше, состояния с двумя отказами подсистем.

Оценка живучести невосстанавливаемых систем

Для уменьшения размерности результирующей матрицы на каждом этапе построения Д-матриц будем в качестве исходных данных использовать состояния компонентов, заведомо не переводящие систему в неработоспособное состояние. Первая Д-матрица, (таблица 1) представляет собой возможные состояния промежуточной системы, состоящей из первой и второй подсистем. Число звездочек у элементов матрицы здесь и далее соответствует номеру шага анализа.

Каждой ячейке присваивается уникальное имя, а также приводится выражение для вычисления вероятности перехода рассматриваемой совокупности компонентов в состояние, соответствующее данной ячейке. Кроме того, указывается величина показателя качества функционирования системы (q) после перехода в данное состояние при условии, что

все компоненты системы, еще не рассмотренные, находятся в исправном состоянии (т.е. работают с максимальным качеством).

Допустим, что необходимым условием работоспособности системы является ее производительность на уровне не менее 50% от номинального значения (когда в системе нет отказавших элементов). В случае, если производительность системы окажется ниже указанной величины, в соответствующую ячейку вносится метка о недопустимом снижении качества функционирования (НСКФ), а соответствующее ей состояние исключается из рассмотрения при построении очередных Д-матриц.

При построении второй Д-матрицы в качестве базовых используем шесть допустимых состояний промежуточной системы (совокупность 1 и 2 подсистем) и три допустимых состояния третьей подсистемы (табл.1).

Результатом построения матрицы деградации системы является множество допустимых состояний s^{**1} - s^{**12} , каждое из которых характеризуется определенным уровнем качества функционирования системы и величиной вероятности перехода системы в это состояние с течением времени, которая вычисляется с использованием соответствующих выражений для вероятностей $P_{s^{**1}(t)}$ - $P_{s^{**12}(t)}$. Представляет интерес определение вероятности перехода системы в недопустимое состояние, расцениваемое как отказ системы:

$$Q_c = 1 - \sum_{i=1}^{12} P_{s^{**i}} \quad (1)$$

где Q_c – вероятность отказа всей системы;

$P_{s^{**i}}$ – вероятность перехода системы в i -состояние из множества состояний, описанных в финальной Д-матрице.

Следующий этап оценки живучести системы – количественная оценка вероятности нахождения системы в состояниях с различными уровнями качества. Данный этап включает в себя анализ условий эксплуатации системы (режим работы системы, состояние окружающей среды, профессионализм

обслуживающего персонала, наличие, тип и кратность экстремальных воздействий, действующих на систему и т.д.), на основе которого задаются такие параметры, как интенсивность отказов элементов и время использования системы по назначению.

Результаты оценки живучести с использованием Д-матриц

Приняты следующие значения интенсивности отказов элементов первой-третьей подсистем соответственно: $\lambda_1=\lambda_2=\lambda_3=0.0001$ 1/ч. Время использования системы по назначению составляет порядка пяти лет, т.е. около 44000 часов.

Используя выражения, определяющие вероятность нахождения системы в состояниях с различной производительностью (описанные в ячейках финальной Д-матрицы), проследим динамику изменения этих параметров на протяжении всего времени эксплуатации системы.

Графики изменения вероятностей нахождения системы в состояниях с различным уровнем производительности от времени функционирования изображены на рис.3. На графиках символами $P_c(t)$, $Q_c(t)$, $P^{**1}(t)$ - $P^{**12}(t)$ обозначены вероятность безотказной работы системы, вероятность ее полного отказа, вероятность нахождения в состояниях s^{**1} - s^{**12} (согласно финальной матрице) соответственно.

С учетом того, что в реальных системах возможно существование большого числа состояний, незначительно отличающихся по уровню качества, целесообразно их объединение в группы, характеризующиеся заданным уровнем близости значений показателя. В рассматриваемом примере 12 состояний с допустимыми уровнями качества объединены в три группы по следующим диапазонам производительности: 90 ... 100%; 70 ... 90%; 50...70% от номинального значения.

Графики зависимости вероятности нахождения системы в этих группах состояний от времени $P_{q1}(t)$, $P_{q2}(t)$ и $P_{q3}(t)$ показаны на рис.4.

Таблиця 1

Матриця деградації совокупности 1 і 2 підсистем

| пс1 | пс2 | | |
|------|--|--|--|
| | s2.1 | s2.2 | s2.3 |
| s1.1 | $P_{s^*1} = P_{\vartheta 1}^3 P_{\vartheta 2}^3$ $P_{s^*1}(t) = e^{-3\lambda_1 t} \cdot e^{-3\lambda_2 t}$ q*1=100% | $P_{s^*2} = P_{\vartheta 1}^3 3P_{\vartheta 2}^2 Q_{\vartheta 2}$ $P_{s^*2}(t) = e^{-3\lambda_1 t} \cdot 3e^{-2\lambda_2 t} \times$ $\times (1 - e^{-\lambda_2 t})$ q*2=85% | $P_{s^*3} = P_{\vartheta 1}^3 3P_{\vartheta 2} Q_{\vartheta 2}^2$ $P_{s^*3}(t) = e^{-3\lambda_1 t} \cdot 3e^{-\lambda_2 t} \times$ $\times (1 - e^{-\lambda_2 t})^2$ q*3=72% |
| s1.2 | $P_{s^*4} = 3P_{\vartheta 1}^2 Q_{\vartheta 1} P_{\vartheta 2}^3$ $P_{s^*4}(t) = 3e^{-2\lambda_1 t} \cdot (1 - e^{-\lambda_1 t}) \times$ $\times e^{-3\lambda_2 t}$ q*4=75% | $P_{s^*5} = 9P_{\vartheta 1}^2 Q_{\vartheta 1} P_{\vartheta 2}^2 Q_{\vartheta 2}$ $P_{s^*5}(t) = 9e^{-2\lambda_1 t} \cdot (1 - e^{-\lambda_1 t}) \times$ $\times e^{-2\lambda_2 t} \cdot (1 - e^{-\lambda_2 t})$ q*5=60% | НСКФ q=47% |
| s1.3 | $P_{s^*6} = 3P_{\vartheta 1} Q_{\vartheta 1}^2 P_{\vartheta 2}^3$ $P_{s^*6}(t) = 3e^{-\lambda_1 t} \cdot (1 - e^{-\lambda_1 t})^2 \times$ $\times e^{-3\lambda_2 t}$ q*6=55% | НСКФ q=40% | НСКФ q=25% |

Р_{эi} - вероятность безотказной работы (ВБР) j-элемента данной подсистемы;
 P_{sk} – вероятность нахождения данной подсистемы в состоянии k;
 λ_i - интенсивность отказов элемента подсистемы i;
 t - рассматриваемое время функционирования системы.

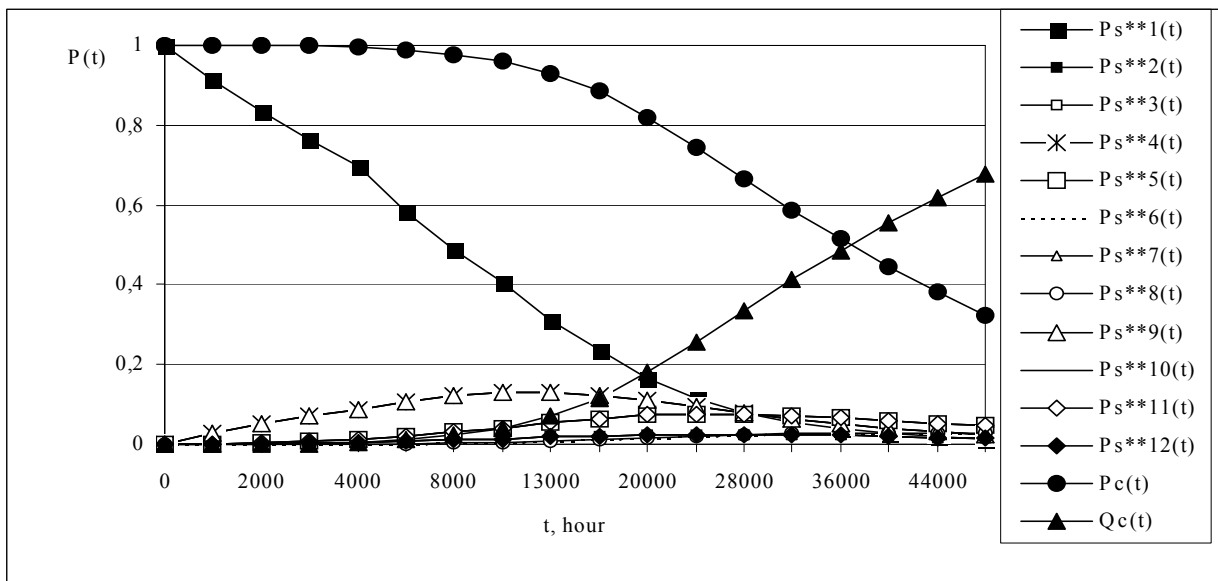


Рис. 3. График зависимости вероятности нахождения системы в различных состояниях от времени функционирования

Таблица 2

Финальная матрица деградации

| пс1,2 | пс3 | | |
|-------|--|--|--|
| | s3.1 | s3.2 | s3.3 |
| s*1 | $P_{s^{**1}} = P_{\vartheta 1}^3 P_{\vartheta 2}^3 P_{\vartheta 3}^3$ $P_{s^{**1}}(t) = e^{-3\lambda_1 t} \cdot e^{-3\lambda_2 t} \cdot e^{-3\lambda_3 t}$ $q^{**1}=100\%$ | $P_{s^{**2}} = P_{\vartheta 1}^3 P_{\vartheta 2}^3 3P_{\vartheta 3}^2 Q_{\vartheta 3}$ $P_{s^{**2}}(t) = e^{-3\lambda_1 t} \cdot e^{-3\lambda_2 t} \times$ $\times 3e^{-2\lambda_3 t} \cdot (1 - e^{-\lambda_3 t})$ $q^{**2}=85\%$ | $P_{s^{**3}} = P_{\vartheta 1}^3 P_{\vartheta 2}^3 3P_{\vartheta 3} Q_{\vartheta 3}^2$ $P_{s^{**3}}(t) = e^{-3\lambda_1 t} \cdot e^{-3\lambda_2 t} \times$ $\times 3e^{-\lambda_3 t} \cdot (1 - e^{-\lambda_3 t})^2$ $q^{**3}=70\%$ |
| s*2 | $P_{s^{**4}} = P_{\vartheta 1}^3 3P_{\vartheta 2}^2 Q_{\vartheta 2} P_{\vartheta 3}^3$ $P_{s^{**4}}(t) = e^{-3\lambda_1 t} \cdot 3e^{-2\lambda_2 t} \times$ $\times (1 - e^{-\lambda_2 t}) \cdot e^{-3\lambda_3 t}$ $q^{**4}=80\%$ | $P_{s^{**5}} = P_{\vartheta 1}^3 9P_{\vartheta 2}^2 Q_{\vartheta 2} P_{\vartheta 3}^2 Q_{\vartheta 3}$ $P_{s^{**5}}(t) = e^{-3\lambda_1 t} \cdot 9e^{-2\lambda_2 t} \times$ $\times (1 - e^{-\lambda_2 t}) \cdot e^{-2\lambda_3 t} (1 - e^{-\lambda_3 t})$ $q^{**5}=65\%$ | $P_{s^{**6}} = P_{\vartheta 1}^3 9P_{\vartheta 2}^2 Q_{\vartheta 2} P_{\vartheta 3} Q_{\vartheta 3}^2$ $P_{s^{**6}}(t) = e^{-3\lambda_1 t} \cdot 9e^{-2\lambda_2 t} \times$ $\times (1 - e^{-\lambda_2 t}) \cdot e^{-\lambda_3 t} (1 - e^{-\lambda_3 t})^2$ $q^{**6}=50\%$ |
| s*3 | $P_{s^{**7}} = P_{\vartheta 1}^3 3P_{\vartheta 2} Q_{\vartheta 2}^2 P_{\vartheta 3}^3$ $P_{s^{**7}}(t) = e^{-3\lambda_1 t} \cdot 3e^{-\lambda_2 t} \times$ $\times (1 - e^{-\lambda_2 t})^2 \cdot e^{-3\lambda_3 t}$ $q^{**7}=72\%$ | $P_{s^{**8}} = P_{\vartheta 1}^3 9P_{\vartheta 2} Q_{\vartheta 2}^2 P_{\vartheta 3}^2 Q_{\vartheta 3}$ $P_{s^{**8}}(t) = e^{-3\lambda_1 t} \cdot 9e^{-\lambda_2 t} \times$ $\times (1 - e^{-\lambda_2 t})^2 \cdot e^{-2\lambda_3 t} (1 - e^{-\lambda_3 t})$ $q^{**8}=55\%$ | <p>НСКФ q=40%</p> |
| s*4 | $P_{s^{**9}} = 3P_{\vartheta 1}^2 Q_{\vartheta 1} P_{\vartheta 2}^3 P_{\vartheta 3}^3$ $P_{s^{**9}}(t) = 3e^{-2\lambda_1 t} \cdot (1 - e^{-\lambda_1 t}) \times$ $\times e^{-3\lambda_2 t} \cdot e^{-3\lambda_3 t}$ $q^{**9}=75\%$ | $P_{s^{**10}} = 9P_{\vartheta 1}^2 Q_{\vartheta 1} P_{\vartheta 2}^3 P_{\vartheta 3}^2 Q_{\vartheta 3}$ $P_{s^{**10}}(t) = 9e^{-2\lambda_1 t} \cdot (1 - e^{-\lambda_1 t}) \times$ $\times e^{-3\lambda_2 t} \cdot e^{-2\lambda_3 t} \cdot (1 - e^{-\lambda_3 t})$ $q^{**10}=60\%$ | <p>НСКФ q=45%</p> |
| s*5 | $P_{s^{**11}} = 9P_{\vartheta 1}^2 Q_{\vartheta 1} P_{\vartheta 2}^2 Q_{\vartheta 2} P_{\vartheta 3}^3$ $P_{s^{**11}}(t) = 9e^{-2\lambda_1 t} \cdot (1 - e^{-\lambda_1 t}) \times$ $\times e^{-2\lambda_2 t} \cdot (1 - e^{-\lambda_2 t}) \cdot e^{-3\lambda_3 t}$ $q^{**11}=60\%$ | <p>НСКФ q=45%</p> | <p>НСКФ q=30%</p> |
| s*6 | $P_{s^{**12}} = 3P_{\vartheta 1} Q_{\vartheta 1}^2 P_{\vartheta 2}^3 P_{\vartheta 3}^3$ $P_{s^{**12}}(t) = 3e^{-\lambda_1 t} \cdot (1 - e^{-\lambda_1 t})^2 \times$ $\times e^{-3\lambda_2 t} \cdot e^{-3\lambda_3 t}$ $q^{**12}=55\%$ | <p>НСКФ q=40%</p> | <p>НСКФ q=25%</p> |

Их анализ позволяет сделать качественные выводы:

а) вероятности нахождения систем на промежуточных уровнях деградации сопоставимы по

величине с вероятностями полностью работоспособных состояний, а следовательно, такие состояния могут рассматриваться как важный ресурс повышения живучести;

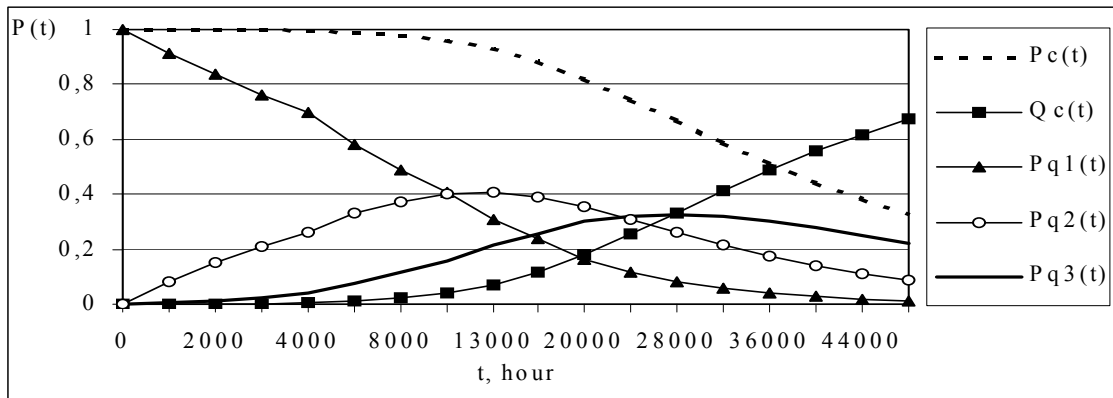


Рис. 4. График зависимости вероятности нахождения системы в различных группах состояний, ВБР и вероятности отказа от времени функционирования

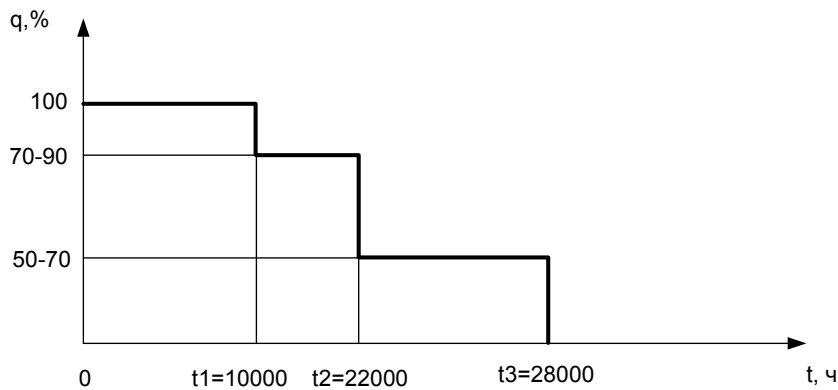


Рис. 5. Диаграмма деградации

б) эти вероятности как функции времени имеют экстремальные максимальные значения, которые уменьшаются с увеличением уровня деградации и сдвигаются «влево» по оси времени;

в) моменты времени, в которых вероятности нахождения - в промежуточных состояниях, могут использоваться для прогнозирования переходов в опасные состояния.

Окончательные результаты проведенной оценки живучести оформляются в виде диаграммы деградации [5] (рис. 5), на которой различные уровни качества функционирования приведены в соответствие с наиболее вероятным временем перехода системы в различные состояния. Эта диаграмма в совокупности с оценками вероятностей работы системы в различных состояниях позволяет провести анализ живучести за весь период ее эксплуатации.

Особенности оценки безопасности невосстанавливаемых систем

Для оценки безопасности с использованием Д-матриц необходимо:

- во-первых, уточнить составляющие вероятности состояний в выражении (1), выделив состояния, соответствующие опасным состояниям;
- во-вторых, в промежуточных и финальной матрице выделить области, соответствующие опасным состояниям;
- в-третьих, провести анализ зависимостей вероятностей перехода системы в эти состояния от параметров подсистем.

Заключение. Направления дальнейших исследований

Предложенный метод оценки живучести и безопасности позволяет:

а) прогнозировать динамику изменения качества функционирования системы и оценивать вероятность нахождения в состояниях с различным уровнем качества для фиксированного момента времени;

б) получать оперативную информацию об ожидаемых изменениях в системе после перехода ее в состояние с определенным уровнем качества функционирования (как в безопасное или защищенное, так и в опасное) вследствие отказов элементов.

Этот метод оценки дополняет технологию FME(C)A, поскольку Д-матрицы хорошо согласуются с матрицами критичности, которые являются результатом анализа безопасности при ее использовании. При увеличении сложности анализируемых систем задача оценки живучести и безопасности методом Д-матриц требует разработки инструментальных средств поддержки анализа. При этом необходимо:

- синтезировать процедуры автоматической генерации и анализа состояний подсистем и построения диаграмм деградации на качественном уровне;

- разработать, например, на основе логико-вероятностных методов, алгоритмы оценки вероятностей нахождения систем в различных состояниях.

Для обеспечения достоверности оценки и расширения возможностей метода целесообразно разработать имитационную модель, которая позволит учесть различные законы распределения времени до отказа, а также характеристики экстремальных воздействий [9].

Литература

1. Введение в теорию живучести вычислительных систем / Додонов А.Г. и др.; АН УССР. Ин-т проблем регистрации информации. - К.: Наук. думка, 1990. - 184 с.

2. Раков В.И. Эффективность судовых радиоэлектронных систем. - Л.: КСУДостроение, 1974. - 328 с.

3. Теорія надійності та живучості елементів і систем літальних комплексів: Підручник / За ред. Харченка В.С. - К.: МО України, 1997. - 503с.

4. Харченко В.С. Анализ и синтез живучих систем управления с использованием диаграмм деградации // Системы обработки информации. - НАНУ, ХВУ. - 1999. - №2(6). - С. 115-119.

5. Kharchenko V.S. The Probabilistic Assessment of Survivability and Safety of an Unmanned Control Systems with Multistage Degradation by Use of QD-diagrams // Proceedings of 5th International Conference Probabilistic Safety Assessment and Management, Osaka, Japan, November, 27-December, 1, 2000. - V.1. - P. 525-531.

6. Kharchenko V.S., Cherepakhin D.A. Risk Analysis of Control Systems by Use of QD-diagrams and FMECA-approach // Proceedings of 12th European Conference on Safety and Reliability, Turin, Italy, September, 16-20, 2001. - P. 342-347.

7. Kharchenko V.S., Gorbenko A.V. FME(C)A-technique of assessment and ensuring of a corporate computer network fault-tolerance and safety // Proceedings of 5th International Conference Probabilistic Safety Assessment and Management, San Juan, Puerto-Rico, USA, June 23-28, 2002. -P. 245-249.

8. Харченко В.С., Черепакхин Д.А., Сидоренко Н.Ф. Оценка безопасности транспортных систем управления, допускающих снижение качества функционирования // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. - 2000. - №4 (25). - С. 97-98.

9. Харченко В.С., Мухаметов З.Г., Грек В.Г. Обобщенная модель оценки живучести летательного комплекса одного класса // Информационные системы: Сб. науч.тр. - 1998. - Вып.2(10). - X., НАНУ, ХВУ. - С.7-11.

Поступила в редакцию 14.04.03

Рецензент: д-р техн. наук, профессор Фурман И.А., ХГТУСХ, г. Харьков.