

УДК 004.054

В.С. ХАРЧЕНКО¹, Е. ЗАЙЦЕВА²¹Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина²University of Žilina, Žilina, Словакия**О ДЕГРАДИРУЮЩИХ СИСТЕМАХ С ДЕГРАДИРУЮЩИМИ КОМПОНЕНТАМИ**

Уточняются понятия, относящиеся к системам с многоуровневой деградацией: глубина, средний шаг деградации, траектория деградации. Дается классификация систем с многоуровневой деградацией по признакам: возможности деградации компонент, числа участков резервирования, чувствительности деградации системы к деградации компонент. Описываются диаграммы деградации для разных типов систем. Формулируются задачи, относящиеся к анализу живучести и синтезу живучих систем.

Ключевые слова: многоуровневая деградация, деградирующая система, деградирующий компонент, множество траекторий деградации.

Введение

В инженерной практике существует большое число многокомпонентных систем, в которых при определенных условиях, по мере накопления отказов компонент, вызванных естественными (старение) или искусственными (внешнее воздействие) причинами, допускается деградация. Речь идет о деградации функций системы, когда выполнение части из них становится невозможным, или о деградации качества (точности, производительности и др.), когда ухудшаются основные его показатели. В обоих случаях деградация развивается вследствие отказов соответствующих компонент (подсистем). Здесь употребляется термин "компонента" для того, чтобы подчеркнуть, что она также может иметь внутреннюю структуру, состоящую из нескольких элементов, отказы которых влияют на ее работоспособность.

Математическим методам оценки систем с деградацией или деградирующих систем (ДС) посвящено большое число работ. В англоязычной литературе эти системы получили название "multi-state systems" (MSS) [1]. Использование этого термина не является, по нашему мнению, вполне корректным, поскольку существует множество приложений, не относящихся к проблеме надежности и живучести, где он может применяться.

Развитие теории ДС (MSS) базируется на применении специальных структурных функций, марковских моделей и комбинированных методов [2-4]. Ряд результатов в этой области получено применительно к деградирующим многоярусным мажоритарным резервированным системам [5], а также для систем с многоступенчатой деградацией и восстановлением, в которых использовался аппарат мар-

ковских процессов совместно с диаграммами много-ступенчатой деградации (QD-диаграммами) [6]. Данная работа не направлена на детальный анализ результатов исследований в области ДС. Системы, исследуемые в указанных публикациях, имеют одно общее ограничение: деградация рассматривается, как правило, только на системном уровне. Другими словами, в них работает (одноуровневая) схема: отказ элемента (участка резервирования) – деградация системы.

Цель статьи – проанализировать системы, в которых существует более сложная (двух- или многоуровневая) схема событий: отказ элемента – деградация компоненты – деградация системы. Работа структурирована следующим образом: в первом и втором разделах даются понятие ДС и расширенная классификация ДС (MSS) с учетом возможной многоуровневой деградации компонент; затем анализируются их типовые диаграммы деградации (третий раздел); четвертый раздел посвящен формулировке задач, учитывающих специфику рассматриваемых систем.

1. Понятие деградирующей системы с многоуровневой деградацией

Деградирующая система MSS, представленная множеством $E = \{E_j\}$, $j = \overline{1, m}$, это система, в которой отказ одного или нескольких компонент (или элементов) E_j , приводит к ухудшению качества (и/или количества) выполняемых функций, характеризуемого скалярным или векторным показателем Π . Векторный показатель Π может быть преобразован в скалярную форму или по каждому из составляющих вектора деградация может рассматриваться отдельно. Число ступеней деградации d , $d \geq 1$ зависит от

допустимой величины снижения показателя Π от некоторой исходной Π_0 до минимально допустимого Π_{\min} . Разность $\Delta\P = \Pi_0 - \Pi_{\min}$ определяет максимально допустимую степень (глубину) деградации. Если $d=1$, имеем систему с одноступенчатой деградацией, в которой допустимым является только такое состояние, когда $\Pi = \Pi_0$ (полная работоспособность). В этом случае $\Delta\P = 0$, так как $\Pi_{\min} = \Pi_0$, то есть при $\Pi < \Pi_0$ система идентифицируется как отказавшая. В рамках данной работы такую систему (и соответствующий компонент) будем называть недеградирующей (недеградирующим).

Если $d > 1$, имеем систему с многоступенчатой деградацией. Средний шаг деградации определяется как $\overline{\Delta\P} = \Delta\P / d$. Процесс деградации (ухудшение показателя Π) описывается диаграммой деградации, [6]. Простейший вариант такой диаграммы показан на рис. 1.

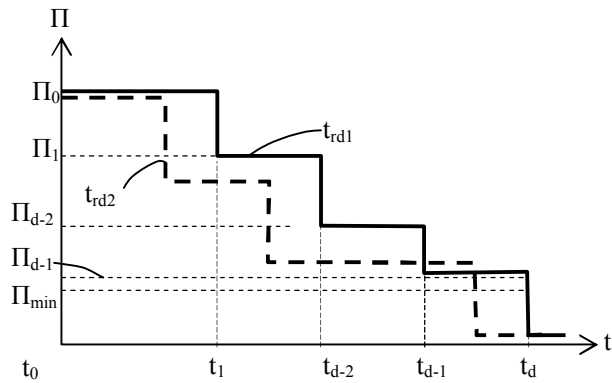


Рис. 1. Пример диаграммы деградации

Диаграмма, показанная сплошной линией, характеризуется числом ступеней d , кортежами времен $CT = \langle t_0, t_1, \dots, t_d \rangle$ и соответствующих им значений $СП = \langle \Pi_0, \Pi_1, \dots, \Pi_{d-1}, 0 \rangle$. Поскольку моменты времени t_i являются случайными, а с точки зрения анализа деградации важно знать, какой именно элемент отказал, то параметр t_i может быть заменен (или дополнен) номером отказавшего элемента E_j , если он приводит к снижению значения показателя Π . Если рассматривается резервированная система, то отказ не всякого элемента приводит к снижению показателя Π .

Траекторией деградации t_{rd} называют кортеж, объединяющий кортежи CT и $СП$ $t_{rd} = CT \cup СП = \langle (t_0, \Pi_0), (t_1, \Pi_1), \dots, (t_{d-1}, \Pi_{d-1}), (t_d, 0) \rangle$. При одном и том же значении d возможны разные траектории деградации пары кортежей CT и $СП$. В общем случае траектории деградации одной системы могут отличаться и мощностью кортежей CT и $СП$ (см. траекторию деградации t_{rd2} , показанную пунктиром на рис. 1). Это зависит от очередности отказов элементов и влияния этих отказов на степень снижения показателя Π .

Таким образом, система с многоступенчатой деградацией характеризуется множеством траекторий деградации $M t_{rd} = \{t_{rdi}\}, i = \overline{1, n}$.

2. Классификация деградирующих систем

Деградирующая система может состоять из компонент (подсистем), которые сами являются деградирующими системами (рис.2).

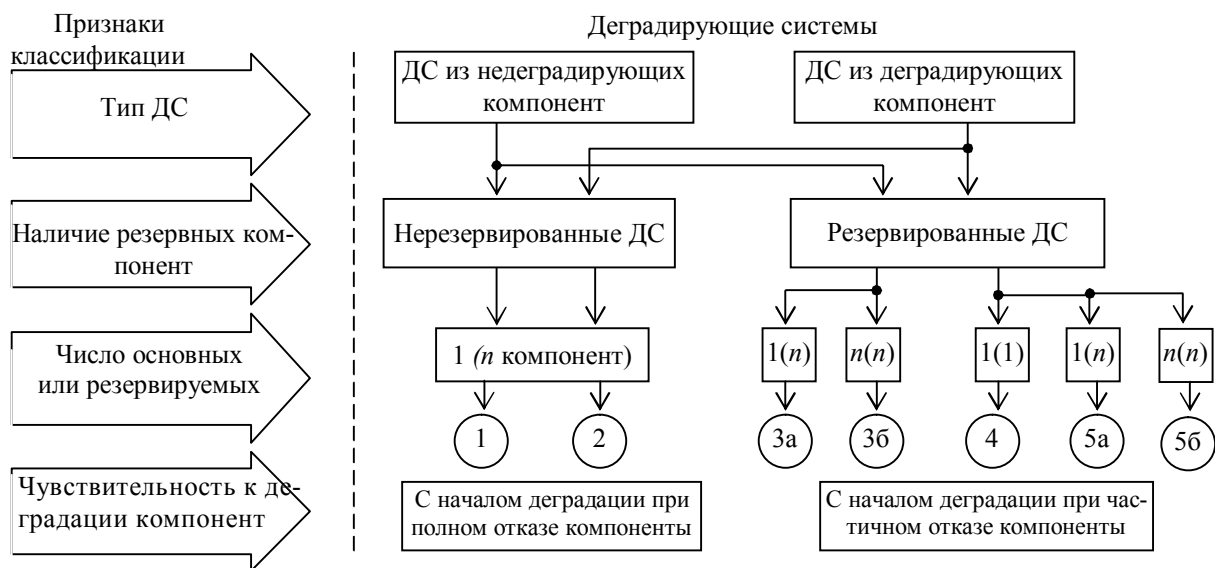


Рис.2. Классификация деградирующих систем

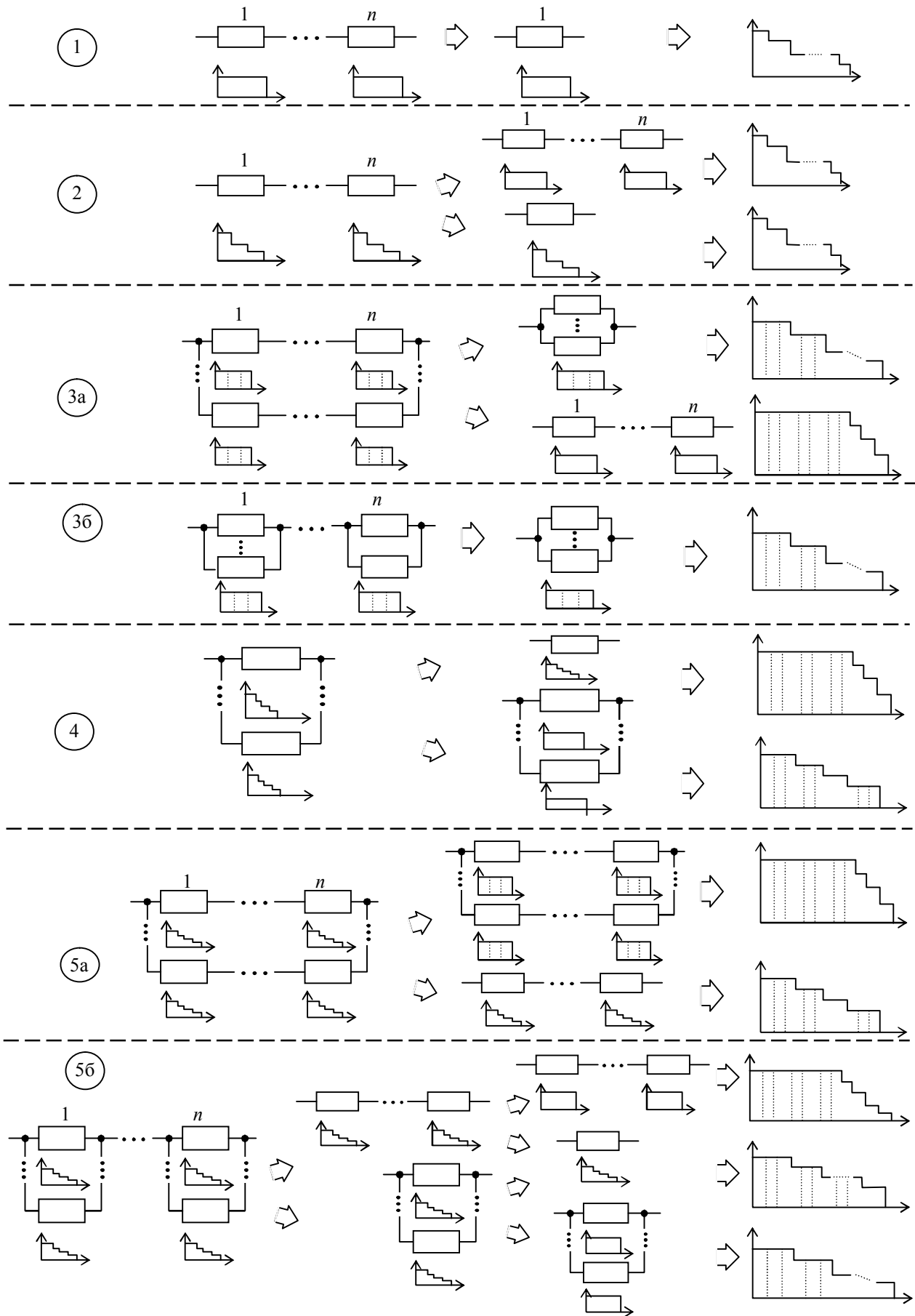


Рис. 3. Траектории деградации различных типов деградирующих систем

С учетом этого формулируется первый классификационный признак, по которому различают ДС с деградирующими и недеградирующими компонентами (ДК и НДК). Кроме того, возможны еще два признака: наличие резервных компонент и чувствительность ДС к отказу (деградации) компонент. Для резервируемых и нерезервируемых деградирующих систем возможны различные комбинации в зависимости от числа основных (резервируемых участков) и соответственно типа резервирования (общего и раздельного, $n > 1$).

Данная классификация может быть дополнена и другими признаками в зависимости от того, имеются ли в системе компоненты, отказ которых не влияет на процесс деградации, или элементы, отказ которых приводит к полному отказу (ядро системы), от степени влияния комбинации отказов на скорость деградации, процессов восстановления уровня работоспособности и др.

3. Анализ траекторий деградации

Тип системы определяет разные траектории деградации (рис. 3). Они иллюстрируются структурными схемами надежности (живучести) и диаграммами деградации для каждого из компонент. Для систем первого типа (нерезервированные с НДК) ступени деградации формируются по мере отказов компонент от первого до n -го. В этом случае отказ каждого недеградирующего компонента приводит к деградации системы в целом. Предельной является ситуация, когда в системе остается один работоспособный компонент.

Во втором случае для нерезервированной ДС с деградирующими компонентами возможны две группы траекторий, когда «равномерно» деградируют все компоненты или когда происходит их «неравномерная» деградация. Вид диаграммы деградации системы в целом в этом случае зависит еще и от чувствительности ДС к деградации ее компонент.

Случаи 3а и 3б соответствуют резервированным системам с общим и раздельным резервированием с НДК. Для систем с общим резервированием и одним основным ДК (случай 4) также возможны две предельные группы траекторий, в зависимости от равномерности деградации компонент.

Для многокомпонентных деградирующих систем с общим и раздельным резервированием ДК (случаи 5а и 5б) группы траекторий повторяют рассмотренные выше. Особенностью систем с раздельным резервированием ДК является то, что их траектории деградации имеют более продолжительную и сложную схему.

Как указывалось в [7], диаграммы деградации представляют собой методический аппарат анализа

ДС (включая системы с многоступенчатой деградацией и восстановлением). Следовательно, таким же образом могут быть классифицированы и описаны системы с многоступенчатым восстановлением деградирующих компонент.

4. О задачах анализа и синтеза ДС

Для ДС с ДК задачи анализа и синтеза приобретают дополнительное измерение, поскольку необходимо описать взаимосвязь процессов деградации на компонентном и системном уровнях. Для этого может быть использован аппарат структурных функций [4], который следует модифицировать с учетом двух- или многоуровневых вариантов построения систем и схем событий при отказах на разных уровнях.

Для анализа восстанавливаемых ДС с ДК может быть применен аппарат вложенных марковских процессов.

При синтезе систем рассматриваемого класса основной может быть задача по выбору альтернативных вариантов, базирующихся на:

- увеличении кратности резервирования недеградирующих (а следовательно, и более дешевых) компонент и снижения таким образом влияния их отказов на деградацию системы (случаи 3а и 3б);

- использовании более дорогих деградирующих компонент для построения системы (случаи 4, 5а, 5б); в этом случае более сложной и многоуровневой будет и подсистема реконфигурации ДС.

Для ДС с многоступенчатым восстановлением множество вариантов расширяется за счет возможности использования разных стратегий восстановления. Таким образом, в качестве критериев синтеза ДС с ДК предлагаются следующие:

а) для невозстанавливаемых ДС:

- обеспечить требуемое качество функционирования по показателю вероятности допустимого уровня деградации при минимальных затратах;

- обеспечить максимальную вероятность допустимого уровня деградации при ограниченных затратах;

б) для восстанавливаемых ДС:

- обеспечить требуемое качество функционирования по показателю вероятности допустимого уровня деградации и допустимые потери готовности при минимальных затратах;

- обеспечить максимальную вероятность допустимого уровня деградации при допустимых потерях готовности и ограниченных затратах;

- обеспечить минимальные потери готовности (выбрать оптимальную стратегию обслуживания) при требуемой вероятности допустимого уровня деградации при ограниченных затратах.

Заключення

Для сложной системы (инфраструктуры), в которой допускается многоступенчатая деградация, важным параметром является число уровней ДК. Если системы, входящие в инфраструктуру (и их компоненты), допускают многоступенчатую деградацию, это, с одной стороны, усложняет анализ, а с другой, – создает дополнительные возможности при разработке новых и модернизации существующих инфраструктур.

Приведенные в статье классификационные схемы ДС с ДК и результаты анализа возможных траекторий их деградации, а также критерии синтеза позволяют систематизировать объекты исследования такого типа и сформулировать ряд новых задач. Это касается, в частности, классических задач оптимального резервирования, выбора параметров стратегий обслуживания и др. Их решение может быть отнесено к направлениям дальнейших исследований в приложении к критическим системам и инфраструктурам.

Литература

1. Levitin G. *Multi-state System Reliability Analysis and Optimization, Handbook of Reliability Engineering /*

G. Levitin, A. Lisnianski; editor H. Pham, – Springer, London, Berlin, NY, 2003.

2. Levitin G. *Reliability of Multi-state Systems: A Historical Overview. Mathematical and Statistical Methods in Reliability / G. Levitin, A. Lisnianski, I. Ushakov // Ser. On Quality, Reliability and Engineering Statistics, vol. 7, Ed. Bo Lindqvist and Kjell Doksum, World Scientific, NJ, London, Singapore, 2003. – P. 123-138.*

3. Lisnianski A. *Extended Block Diagram Method for a Multi-state System Reliability Assessment / A. Lisnianski Reliability Engineering and System Safety, 92 (12), 2007. – P. 1601-1607.*

4. Zaitseva E. *Investigation Multi-State System Reliability by Structure Functions / EZaitseva, V. Levashenko // Proceedings of the DepCoS Conference, 2007, Poland. – P. 81-90.*

5. Lysenko I.V. *Potential survivability of multi-state majority systems subject as a to adverse impulse effects / I.V. Lysenko, V.S. Kharchenko // Automatics and Tele-mechanics. – 1997. – No.2. – P. 209-218.*

6. Kharchenko V.S. *The probabilistic assessment of survivability and safety of an unmanned control systems with multistage degradation by use of QD-diagrams / V.S. Kharchenko // Proceedings of 5th International Conference Probabilistic Safety Assessment and Management, Osaka, Japan, November, 27-Desember, 1, 2000, vol.1. – P. 525-531.*

Поступила в редакцию 20.02.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф., профессор кафедры автоматизации и компьютерных технологий, В.А. Краснобаев, Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. Петра Василенко, Харьков.

ПРО ДЕГРАДУЮЧІ СИСТЕМИ З ДЕГРАДУЮЧИМИ КОМПОНЕНТАМИ

В.С. Харченко, Е. Зайцева

Уточнюються поняття щодо систем з багаторівневою деградацією: глибина, середній крок деградації, траєкторія деградації. Дається класифікація систем з багаторівневою деградацією за ознаками: можливості деградації компонент, кількості ділянок резервування, чутливості деградації системи до деградації компонент. Описуються діаграми деградації для різних типів систем. Формулюються задачі, що відносяться до аналізу живучості та синтезу живучих систем.

Ключові слова: багаторівнева деградація, деградуєча система, деградуєчий компонент, множина траєкторій деградації.

ABOUT MULTI-STATE SYSTEMS OUT OF MULTI-STATE COMPONENTS

V.S. Kharchenko, E. Zaitseva

Concepts of a multi-degradable system or multi-state system (MSS) and a deep, an average step and a trajectory of multi-level degradation are specified. The classification of MSSs according to a few attributes (possibility of components degradation, number of redundancy sections, sensibility of MSS to degradation of multi-state components (MSC)) is described. Diagrams of multi-level quality degradation for different sorts of MSS are analyzed. of proposed. Criteria of MSS out of MSCs synthesis are formulated. .

Key words: multi-level degradation, multi-state system, multi-state component, set of degradation trajectories.

Харченко Вячеслав Сергеевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой компьютерных систем и сетей Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: v.kharchenko@khai.edu.

Зайцева Елена – кандидат технических наук, ассоциированный профессор кафедры информатики, University of Zilina, Zilina, Словакия, e-mail: Elena.Zaitseva@fri.uniza.sk.