

АНАЛИЗ И СИНТЕЗ ЖИВУЧИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИАГРАММ ДЕГРАДАЦИИ

д.т.н., проф. В.С. Харченко

Предложен подход к решению задач анализа и синтеза живучих систем управления с использованием диаграмм многоступенчатой деградации. Даны классификация различных типов диаграмм и рекомендации по их использованию.

Введение. Одной из наиболее сложных и важных задач, стоящих при анализе и синтезе живучих систем управления (СУ), является определение уровней и условий перехода при деградации. Эта задача решается с учетом функциональной, надежностной и пространственной моделей СУ, а также модели экстремальных воздействий (ЭВ) [1]. Описание поведения системы часто осуществляется с использованием диаграмм деградации [2] или диаграмм деградации и восстановления [3] для обслуживаемых СУ. Однако, это описание либо носит качественный характер, либо только иллюстрирует результаты оценки живучести [4]. Цель данной статьи – разработка методического подхода, позволяющего рассматривать диаграммы деградации как формализованные модели и использовать их при анализе и синтезе живучих систем.

Классификация диаграмм деградации. Диаграмма деградации – это двухпараметрическая модель, связывающая уровень качества функционирования СУ Π_i (точности, производительности и др.) и соответствующее ему состояние S_i с одним из показателей, характеризующих это состояние ($i = \overline{1, d}$, d – число уровней деградации). В зависимости от этого показателя будем различать **P**-, **T**- и **F**- диаграммы. В первом случае таким показателем является вероятность нахождения системы в состоянии S_i – $P(S_i, t_j)$ с учетом “естественных” отказов элементов и отказов, обусловленных ЭВ для фиксированного момента времени t_j (рис.1,а), причем для любого j справедливо следующее нормировочное соотношение:

$$\sum_{i=1}^{d+1} P(S_i, t_j) = 1. \text{ Во втором случае определяется время пребывания си-}$$

стемы в состоянии S_i . Это может быть время $t(S_i, P_j)$ нахождения в данном состоянии с фиксированной вероятностью P_j (**t** - диаграмма) (рис.1,б) или средняя продолжительность нахождения в состоянии S_i (**T**_{ср}

© д.т.н., проф. В.С. Харченко, 1999

– диаграмма). Если в качестве параметра используется среднее \bar{F} , максимальное F_{\max} или минимальное F_{\min} число отказов, при котором система переходит в состояние S_i , имеем \bar{F} -, F_{\max} - и F_{\min} - диаграммы деградации соответственно (рис.1,в).

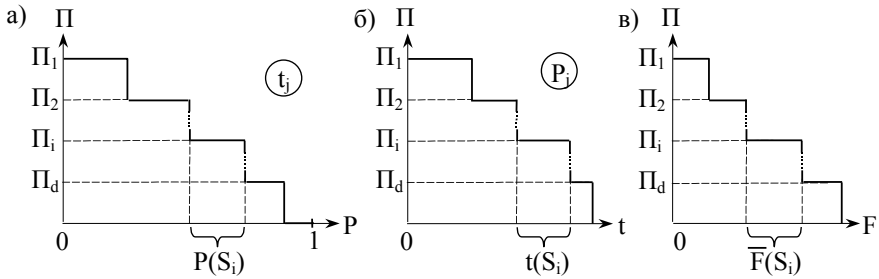


Рис.1. P-, T- и F- диаграммы деградации

Если диаграмма деградации строится при условии, что в системе имеются отказы элементов, то такая диаграмма является апостериорной (в отличие от рассмотренных выше – априорных диаграмм). Следует подчеркнуть, что как априорные, так и апостериорные диаграммы деградации строятся при заданных параметрах ЭВ (кратности поражения, моменте воздействия и др.). Дифференциальные диаграммы деградации являются результатом “вычитания” однотипных диаграмм при изменении параметров модели СУ или ЭВ.

Анализ живучести СУ. Методика анализа живучести СУ включает следующие этапы.

1. Разрабатываются функциональная, надежностная и (при необходимости) пространственная модели системы, уточняется модель ЭВ. Определяются уровни деградации СУ (множества полностью и частично работоспособных состояний). Строится качественная **T**-диаграмма деградации.

2. Определяются вероятности нахождения системы в состояниях S_i , $i = \bar{1, d}$, как функция времени:

$$P(S_i, t) = Q_{ЭВ}(t)P_{EO}(S_i, t) + G_{ЭВ}(t) \left[\sum_{j=1}^{n_i} P_{EO}(S_{ij}, t)P_{ЭВ}(S_{ij}, r) + \sum_{f=i-r}^{i-1} \sum_{q=1}^{n_f} P_{EO}(S_{fq}, t)P_{ЭВ}(S_{fq} \rightarrow S_i, r) \right], \quad (1)$$

где $Q_{ЭВ}(t)$, $G_{ЭВ}(t)$ - вероятности отсутствия или наличия ЭВ, действующих на систему в момент времени t , соответственно, причем $Q_{ЭВ}(t) + G_{ЭВ}(t) = 1$; $P_{EO}(S_i, t)$, $P_{EO}(S_{ij}, t)$ – вероятности нахождения системы в состоянии S_i

или в субсостояниях S_{ij} , образующих состояние S_i , $S_i = \bigcup_{j=1}^{n_i} S_{ij}$ (n_i – число

субсостояний, образующих S_i); $P_{ЭВ}(S_{ij}, r)$ – условная вероятность сохранения субсостояния S_{ij} при ЭВ кратности r ; $P_{ЭВ}(S_{iq} \rightarrow S_i, r)$ – условная вероятность перехода системы из субсостояния S_{iq} состояния S_f в состояние S_i при ЭВ кратности r , $i - r \geq 1$.

3. Проводится «вертикальное» (для заданного времени t_v) и «горизонтальное» (для заданной вероятности P_μ) сечения зависимостей $P(S_i, t)$, в результате которых строятся P - и t - диаграммы деградации (пример получения P - диаграммы приведен на рис.2). Осуществляется анализ этих диаграмм.

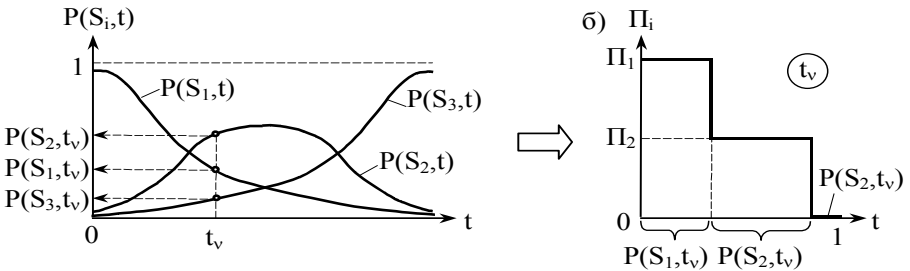


Рис.2. Получение P-диаграммы

4. Вычисляется значение показателя живучести, например, нормированного аддитивно - вероятностного показателя [5], который является аналогом коэффициента сохранения эффективности:

$$\delta\Pi = \sum_{i=1}^d \frac{\Pi_i}{\Pi_1} P(S_i, t). \quad (2)$$

Влияние различных параметров системы и параметров ЭВ на живучесть СУ анализируется с использованием дифференциальных диаграмм деградации. С помощью F - диаграмм может быть дана детерминистская оценка живучести.

Синтез живучих СУ. С использованием диаграмм деградации может быть осуществлена постановка задачи синтеза СУ, допускающих многоступенчатую деградацию. Для этого либо фиксируется продолжительность ее функционирования t_ϕ и задаются требуемые значения вероятностей $P_{тр}(S_i, t_\phi)$, либо фиксируется требуемое значение вероятности $P_{тр}$, для которой задаются продолжительности функционирования $t_{тр}$ с различными уровнями качества $t(S_i, P_{тр})$, $i = 1, \dots, d$.

Задача оптимального резервирования, являющаяся одной из основных задач синтеза, в этих случаях решается в следующих постановках:

$$P(S_i, t_{\phi}) \geq P_{\text{тр}}(S_i), \quad W \rightarrow \min ; \quad (3)$$

$$t(S_i, P_{\text{тр}}) \geq t_{\text{тр}}(S_i), \quad W \rightarrow \min, \quad (4)$$

где W – показатель стоимости системы, а значения вероятностей определяются в соответствии с выражением (1). При этом вероятности $P_{\text{ЕО}}(S_{ij}, t)$, $P_{\text{ЭВ}}(S_{ij}, r)$ вычисляются с учетом метода резервирования, числа ярусов и кратности резервирования по ярусам.

Выводы. Использование диаграмм деградации позволяет упростить формализацию постановок, регулировать процесс решения задач анализа и синтеза живучих СУ и сделать более наглядными результаты. Это касается также обслуживаемых СУ с самовосстановлением, основанном на принципе технического канибализма [6]. Предложенные диаграммы могут быть применены и для анализа безопасности СУ [7] в том случае, когда состояние критического отказа является результатом последовательной деградации и может быть определено как субсостояние состояния S_{d+1} с известным остаточным уровнем качества.

ЛИТЕРАТУРА

1. Харченко В.С., Мухаметов З.Г., Грек В.Г. Обобщенная модель оценки живучести летательного комплекса одного класса // Информационные системы. Сб. научн. тр. Вып. 2(10). – Харьков: НАНУ, ПАНИ, ХВУ, 1998. – С. 7 - 11.
2. Додонов А.Г., Кузнецова М.Г., Горбачик В.Н. Введение в теорию живучих вычислительных систем. – К. : Наукова думка, 1990. – 191 с.
3. Харченко В.С. Системы с многоступенчатой деградацией и восстановлением // Информационно - управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 1997. – №1. – С. 3 - 8.
4. Харченко В.С., Черепакин Д.А. Исследование процесса деградации БУВС с каналами «ядро - оболочка» // Информационные системы. Сб. научн. тр. Вып. 1(5). – Харьков: НАНУ, ХВУ, 1997. – С. 3 - 10.
5. Харченко В.С., Лысенко И.В., Мельников В.А. Оценка и обеспечение живучести информационно - вычислительных и управляющих систем технических комплексов критического применения // Зарубежная радиоэлектроника. – 1996. – № 1. – С. 64 - 80.
6. Харченко В.С., Фесенко Г.В. Принципи "ядро - оболочка" та технічного канибалізму і моделі оцінки живучості складних систем // Системи обробки інформації. Сб. научн. тр. Вып. 1(5). – Харьков: НАНУ, ПАНИ, ХВУ, 1999. – С. 22 - 26.
7. Kharchenko V.S. Methods of an Estimation of Multiversion Safety Systems. Proceedings of the 17th International System Safety Conference /Orlando, FL / August 16-21, 1999. – P. 347 - 352.
