

ВАРИАНТ ОЦЕНКИ БЕЗОТКАЗНОСТИ МНОГОРЕЖИМНЫХ ОБЪЕКТОВ

к.т.н. Л.В. Стулов, С.В. Новиченко
(представил д.т.н., проф. О.И. Сухаревский)

В статье рассматривается вариант оценки безотказности многорежимных объектов. Показано, что различные, так называемые режимные подмножества, по-разному влияют на безотказность объекта и дан сравнительный анализ их вклада в общую безотказность объекта.

Широко известные подходы [1, 2], применяемые к оценке безотказности объектов, основываются на нескольких предположениях, главным из которых является представление объекта в форме последовательного соединения элементов (рис. 1), из которого следует, что отказ любого элемента приводит к отказу всего объекта. Для такого подхода разработан математический аппарат для определения показателей безотказности, который широко используется ко всем объектам [3, 4].

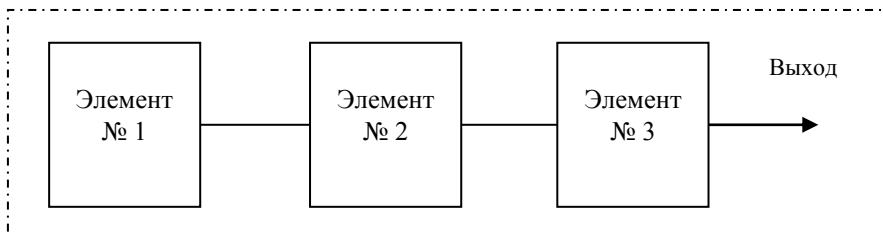


Рис. 1. Пример однорежимного однофункционального объекта

Однако существуют и другие классы объектов [5 – 7], например, многорежимные, многофункциональные, многоцелевые и смешанные.

Многорежимным называется объект, множество элементов которого может быть разбито не менее чем на два несовпадающих подмножества, функционирующих в различные моменты времени.

К таким объектам относятся те, которые имеют переключатели режима (рода) работы, изменяющие действующую конфигурацию объекта. При переключении режима соответственно будет изменяться подмножество функционирующих элементов (рис. 2).

Можно предположить, что описание столь различных объектов с помощью единственной, последовательной структуры не позволит получать точные количественные оценки безотказности.

Рассмотрим различные подходы и проведем их анализ и сравнительную характеристику.

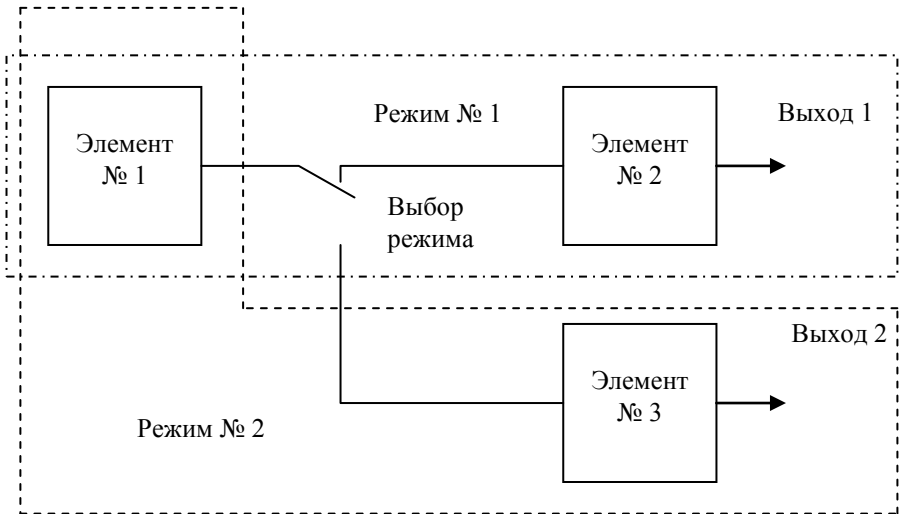


Рис. 2. Пример структуры многорежимного объекта

В качестве базовых объектов будем использовать модели объектов, представленные на рис. 1, 2.

Предположим, что объект состоит из N элементов, каждый из которых характеризуется собственной интенсивностью потока отказов λ_i и анализ проводится в условиях нормального периода эксплуатации.

Вариант 1 – объект одnoreжимный, однофункциональный. Структурная схема для анализа безотказности представляется последовательным соединением элементов (рис. 1). В этом случае анализ безотказности объекта представляет собой тривиальную задачу. Параметр потока отказов объекта λ определяется соотношением

$$\lambda = \sum_{i=1}^N \lambda_i. \quad (1)$$

Вариант 2 – объект многорежимный, со структурой, отображенной на рис. 2. Все множество элементов N распределяется следующим образом: элементу № 1 принадлежит множество M_1 , состоящее из N_1 элементов – назовем это множество элементов *режимным ядром*; элементу № 2 принадлежит множество M_2 , состоящее из N_2 элементов; элементу № 3 принадлежит множество M_3 , состоящее из N_3 элементов. При этом выполняется условие $N = N_1 + N_2 + N_3$.

При представлении объекта последовательным соединением N элементов его параметр потока отказов будет также выражаться соотношением (1). Однако можно заметить, что объект не может функционировать одновременно в двух различных режимах, поэтому в каждый момент времени t будет существовать режимное множество элементов $M(t)$. Пусть объект функционирует в первом режиме в моменты времени t_1 , тогда $M(t_1) = M_1 \cup M_2$. Для функционирования во втором режиме в моменты времени t_2 : $M(t_2) = M_1 \cup M_3$.

Нетрудно определить параметр потока отказов для каждого режима отдельно:

$$\Lambda(t1) = \sum_{i=1}^{N1} \Lambda_i + \sum_{i=1}^{N2} \Lambda_i; \quad (2)$$

$$\Lambda(t2) = \sum_{i=1}^{N1} \Lambda_i + \sum_{i=1}^{N3} \Lambda_i. \quad (3)$$

Однако эти частные показатели не отображают общую безотказность объекта. Здесь возникают две различные задачи: анализ безотказности объекта в целом и анализ вклада каждого элемента (режимного множества элементов) в число отказов объекта.

Для количественной оценки безотказности существуют различные показатели: параметр потока отказов, вероятность отказа в течении времени работы и др.

Рассмотрим полную группу событий:

- все элементы работоспособны – объект работоспособен;
- элемент № 1 отказал – объект отказал;
- элемент № 2 отказал – объект отказал, сохраняется работоспособность во втором режиме;
- элемент № 2 отказал – объект отказал, сохраняется работоспособность в первом режиме.

Положим, что известны вероятности отказов всех элементов P_1, P_2, P_3 . В этом случае оказывается возможным определить вероятность наступления более сложных событий.

Вероятность сохранения объектом работоспособности в полном объеме P_p будет определяться как

$$P_p = (1 - P_1) \cdot (1 - P_2) \cdot (1 - P_3).$$

Вероятность сохранения работоспособности в первом режиме P_{1p} будет равна

$$P_{1p} = (1 - P_1) \cdot (1 - P_2).$$

Вероятность сохранения работоспособности во 2-м режиме P_{2p} равна

$$P_{2p} = (1 - P_1) \cdot (1 - P_3).$$

Аналогично можно определить вероятность сохранения работоспособности хотя бы в одном режиме $P_{1p \cup 2p}$

$$P_{1p \cup 2p} = 1 - (1 - (1 - P_1) \cdot (1 - P_2)) \cdot (1 - (1 - P_1) \cdot (1 - P_3)).$$

Упростив выражение, получим

$$P_{1p \cup 2p} = 1 - (P_1 + P_2 - P_1 P_2) \cdot (P_1 + P_3 - P_1 P_3).$$

Преобразуем это выражение к виду

$$P_{1p \cup 2p} = 1 - (P_1^2 (1 - P_2 - P_3 + P_2 P_3) + P_1 (P_2 + P_3 - 2P_2 P_3) + P_2 P_3).$$

Необходимость повышения вероятности сохранения работоспособности хотя бы в одном режиме определяет потребность уменьшения значения выражения, заключенного в скобки:

$$(P_1^2 (1 - P_2 - P_3 + P_2 P_3) + P_1 (P_2 + P_3 - 2P_2 P_3) + P_2 P_3).$$

Анализ его составляющих показывает, что значение вероятности отказа в первом подмножестве элементов P_1 имеет показатель степени 2, что определяет его более быстрый рост относительно вероятностей отказов во втором или в третьем подмножествах элементов P_2, P_3 .

Рассмотрим частные случаи соотношения P_1, P_2, P_3 .

При равенстве вероятностей отказов всех элементов $P_1 = P_2 = P_3 = P$ выражение примет вид

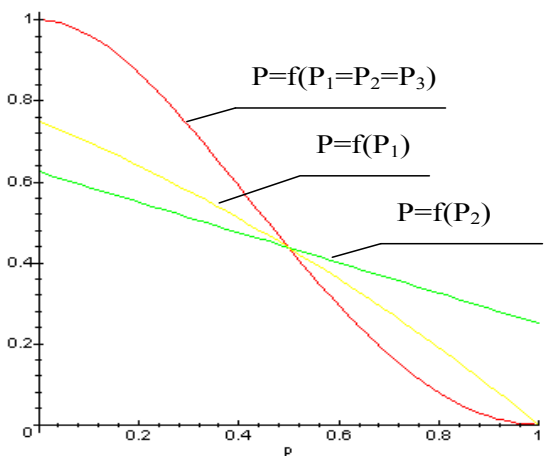
$$P_{1p \cup 2p} = 1 - (2P - P^2)^2.$$

При равенстве $P_2 = P_3 = P$ имеем

$$P_{1p \cup 2p} = 1 - (P_1 + P - P^2)^2.$$

При равенстве вероятностей отказов подмножеств, вероятность безотказной работы достигает значения 1 при равенстве 0 вероятностей отказов подмножеств элементов. С ростом значений вероятностей отказов наблюдается быстрое значительное снижение безотказности объекта с достижением вероятности безотказной работы нулевого значения.

При изменении вероятности отказа первого подмножества P_1 вероятность безотказной работы объекта не может достигать 1 за счет конечной надежности подмножеств элементов P_2 и P_3 . Затем, с ростом вероятности отказа, также происходит снижение безотказности всего объекта. Причем, с достижением $P_1 = 0$, вероятность безотказной работы объекта также становится равной 0.



многорежимных объектов необходимо использовать специальные модели объектов; анализ безотказности должен проводиться с учетом возможных режимов работы объекта; безотказность режимных подмножеств элементов различным образом влияет на безотказность объекта; наибольшее влияние на безотказность объекта оказывает безотказность режимного ядра объекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бурбаки Н. Теория множеств. – М.: Мир, 1965. – 283 с.
2. Вопросы математической теории надежности / Под ред. Б.В. Гнеденко. – М.: Радио и связь, 1983. – 367 с.
3. Половко А.М. Основы теории надежности. – М.: Наука, 1964. – 446 с.
4. Надежность технических систем: Справочник / Под ред. И.А.Ушакова. – М.: Радио и связь, 1983. – 606 с.
5. Разработка диагностического обеспечения и построение автоматизированных систем диагностирования и восстановления техники связи и управления / Под ред. С.П. Ксенза. – Л.: ВАС, 1984. – 195 с.
6. Диагностирование средств связи и управления при эксплуатационных отказах и множественных аварийных повреждениях / Под ред. С.П. Ксенза. – Л.: ВАС, 1987. – 172 с.
7. Ксенз С.П. Основы технической диагностики средств и комплексов связи и автоматизации управления. – Л.: ВАС, 1989. – 192 с.

Поступила 07.10.2002

СТУЛОВ Леонид Викторович, канд. техн. наук, доцент кафедры Харьковского военного университета. В 1983 году окончил Харьковское ВВАУРЭ. Область научных интересов – диагностика обеспечения радиоэлектронных средств, радиотехника, радиоэлектроника.

НОВИЧЕНКО Сергей Владимирович, адъюнкт кафедры Харьковского военного университета, который окончил в 2000 году. Область научных интересов – радиотехника, радиоэлектроника.