

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ПРИ ПОРАЖЕНИИ ЖИВУЧИХ СИСТЕМ

к.т.н. А.П. Батуков, к.т.н. В.В. Скляр, В.В. Дегтяренко
(представил д.т.н., проф. В.С. Харченко)

Решается задача определения параметров экстремального воздействия путём оценки его эффективности, для показателя которой предложено аналитическое соотношение и проведено математическое моделирование.

При разработке мероприятий по обеспечению требуемой живучести и работоспособности сложных автоматизированных систем управления, распределенных на значительной территории, а также глобальных сетей связи и Internet [1], электрических, газовых и нефтяных транспортных сетей важное место занимает задача оценки параметров внешнего экстремального воздействия, приводящего к максимальному поражению таких систем. Максимальным будем называть такое поражение, которое приводит к наибольшему понижению живучести системы. В этом случае целесообразно для моделирования состояний и оценки живучести системы при различных структурах воздействия применить алгоритмы и критерии, разработанные в [2]. Тогда задачу на исследование можно сформулировать так: при заданной структуре и выбранном критерии оценки найти значение параметров внешнего экстремального воздействия, реализация которого приведёт к максимальному снижению живучести системы. Показатель живучести системы является функцией параметров внешнего поражающего воздействия $\Pi_{\text{ж}} = \mathbf{F}(l, \mathbf{q})$, где l – кратность воздействия; \mathbf{q} – вероятность поражения одного элемента системы [2]. Таким образом, математическая постановка задачи имеет следующую формулировку: найти $l = l^*$ и $\mathbf{q} = \mathbf{q}^*$, при которых $\Pi_{\text{ж}}^* = \min \Pi_{\text{ж}}$, где l^* – кратность воздействия, обеспечивающая максимальное поражение (минимальную живучесть) системы; \mathbf{q}^* – вероятность поражения одного элемента системы. Предполагается, что при l -кратном воздействии поражается (утрачивает работоспособность) l из общего числа \mathbf{m} подвергшихся воздействию элементов системы.

Определим величину \mathbf{q}^* . Из физических соображений ясно, что при l -кратном воздействии система, состоящая из \mathbf{m} элементов, получит максимальное поражение, если число пораженных элементов максимально и равно математическому ожиданию [3], т.е. $l = \mathbf{a} = \mathbf{m}\mathbf{q}$. Поэтому

$$\mathbf{q}^* = \mathbf{q} = \frac{l}{\mathbf{m}} . \quad (1)$$

Определим величину I^* . Анализ результатов моделирования $\Pi^{(l)}_{ж} = F(I)$ показывает, что с увеличением кратности воздействия l заметно снижается показатель живучести системы [2]. Этот факт позволяет сделать вывод, что для увеличения поражения системы следует увеличивать кратность воздействия.

Исследуем, всегда ли это целесообразно. Ясно, что создание l -кратных воздействий, по сравнению с однократными, чего-то «стоит». Кроме того, исследования показывают, что существуют такие вариации воздействий и состояний системы из общего числа состояний C_m^l , при которых сохраняется либо полная, либо частичная работоспособность, либо происходит полное поражение системы. В связи с этим целесообразно говорить об эффективности того или иного воздействия.

Для наполнения этого понятия конкретным содержанием, моделируя систему при различных кратностях воздействия $l = 1, 2, 3, \dots$, выделим из общего множества C_m^l состояний системы подмножества с одинаковыми кратностями «поражения» объектов управления и определим число состояний в каждом подмножестве и их частоту f_i [3]:

$$f_i = \frac{v_i}{C_m^l}, \quad (2)$$

где v_i – количество вариантов воздействия с одинаковой кратностью поражения только объектов управления.

Определим, какое воздействие приведёт к наибольшему снижению живучести системы. Для этого введём понятие эффективности воздействия, которую будем оценивать следующим показателем:

$$\Xi^{(l)} = \frac{\sum_{i=1}^s n_i * v_i}{C_m^l * l} = \frac{\sum_{i=1}^s n_i * f_i}{l}, \quad (3)$$

где i – текущий номер подмножества вариантов воздействия с одинаковой кратностью поражения только объектов управления; s – количество подмножеств вариантов воздействия с одинаковой кратностью поражения только объектов управления; n_i – кратность поражения только объектов управления в i -м подмножестве; l – кратность воздействия на m элементов системы.

Таким образом, под эффективностью здесь понимается количество поражённых объектов управления при поражении одного из m элементов системы после l -кратного воздействия.

Пусть в качестве исследуемой рассматривается система SA, граф которой изображён на рис. 1. Вершины графа $A_0 \dots A_3$ отображают основной и дополнительные пункты управления, вершины $A_4 \dots A_9$ отображают объекты управления, ребра графа $x_1 \dots x_{12}$ отображают связи между

пунктами управления и объектами управления. Все рёбра графа обозначены одной буквой x . Этим подчеркивается возможность поражения любого из них при внешнем экстремальном воздействии.

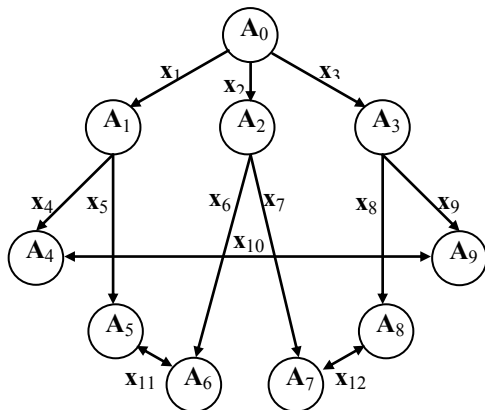


Рис.1. Система SA ($m = 12$)

Требуется определить параметры электромагнитного воздействия, приводящего к наибольшему поражению системы. Под поражением системы здесь понимается потеря связи между пунктами управления и объектами управления.

Предлагается следующая методика решения задачи.

1. Для заданной структуры SA вычисляются значения вероятностей поражения одной линии связи $q^{(l)*}$ для различных $l = 1, 2, \dots, k$ по формуле (1): $q^{(1)*} = 1/12$; $q^{(2)*} = 2/12$; ...; $q^{(k)*} = k/12$.

2. Выполняется математическое моделирование системы SA [2] при различных кратностях воздействия $l = 1, 2, \dots, k$, определяются подмножества вариантов состояний системы с одинаковыми кратностями поражения объектов управления, количество вариантов в каждом подмножестве и по формуле (2) рассчитывается частота f_i каждого подмножества. Результаты заносятся в таблицу результатов (табл. 1). Результаты математического моделирования приведены на рис. 2. Полученные результаты показывают, что при пятикратном экстремальном воздействии наиболее частыми будут двух- и трехкратные поражения объектов управления, что следует учесть при поддержании работоспособного состояния системы.

3. Для каждого значения $l = 1, 2, \dots, k$ по формуле (3) вычисляется эффективность воздействия $\mathfrak{E}^{(l)}$. Результаты заносятся в табл. 1.

4. Определяется l^* , которое соответствует максимальному (или заданному) значению эффективности. В нашем случае $l^* = 5$.

5. Выполняется математическое моделирование системы при различных значениях q , включая $q^{(5)*}$ и подтверждается наибольшее сниже-

ние показателя живучести при $l = l^* = 5$. Результаты моделирования приведены в табл. 2 и на рис. 3.

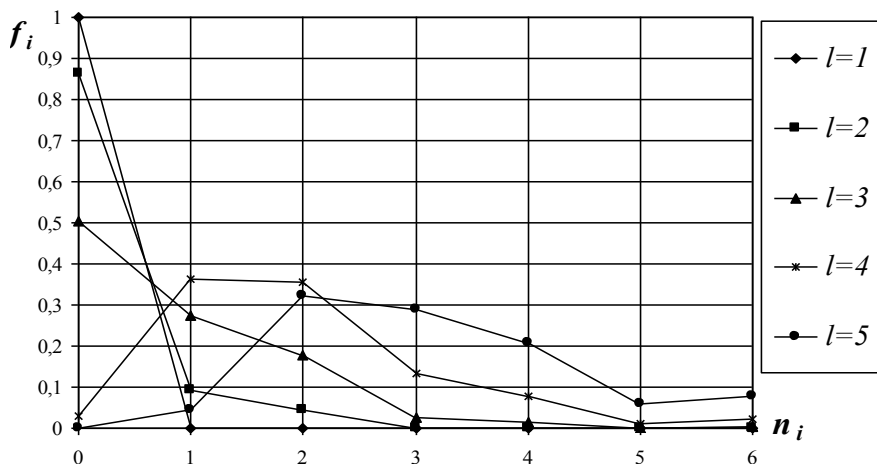


Рис. 2. Графики зависимостей частот вариантов воздействий от кратности поражения объектов управления при различных кратностях воздействия

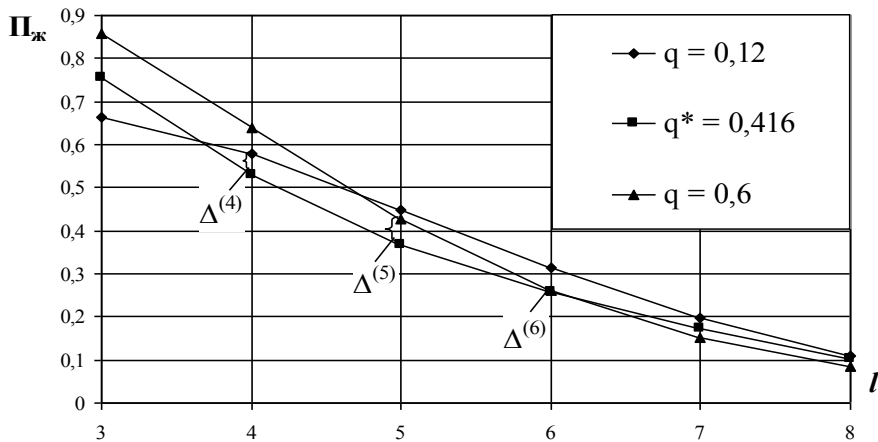


Рис. 3. Графики зависимостей показателя живучести от кратности экстремального воздействия для различных значений вероятности поражения одного элемента системы

Графики подтверждают правильность найденной структуры экстремального воздействия, когда $q^{(5)*} = 5/12$, а $l^* = 5$, т.к. $\Pi_{ж}^{(5)}$ минимальный, а его снижение наибольшее в сравнении с другими случаями: $\Delta(6) = 0,003 < \Delta(5) = 0,060 > \Delta(4) = 0,048$.

Таблица 1

Результаты моделирования системы SA

| Кратность воздействия, l | Кол-во вариантов воздействия, C_m^l | Номер подмножества, i | Кратность поражения, n_i | Количество вариантов в подмножестве, v_i | Частость, f_i | Эффективность воздействия, $\Theta^{(l)}$ |
|----------------------------|---------------------------------------|-------------------------|----------------------------|--|-----------------|---|
| 1 | 12 | 1 | 0 | 12 | 1,0 | 0,000 |
| 2 | 66 | 1 | 2 | 3 | 0,0045 | 0,090 |
| | | 2 | 1 | 6 | 0,090 | |
| | | 3 | 0 | 57 | 0,864 | |
| 3 | 220 | 1 | 6 | 1 | 0,0045 | 0,263 |
| | | 2 | 4 | 3 | 0,0136 | |
| | | 3 | 3 | 6 | 0,0272 | |
| | | 4 | 2 | 39 | 0,177 | |
| | | 5 | 1 | 60 | 0,273 | |
| | | 6 | 0 | 111 | 0,505 | |
| 4 | 495 | 1 | 6 | 12 | 0,024 | 0,500 |
| | | 2 | 5 | 6 | 0,012 | |
| | | 3 | 4 | 39 | 0,079 | |
| | | 4 | 3 | 66 | 0,133 | |
| | | 5 | 2 | 177 | 0,357 | |
| | | 6 | 1 | 180 | 0,363 | |
| | | 7 | 0 | 15 | 0,03 | |
| 5 | 792 | 1 | 6 | 60 | 0,076 | 0,629 |
| | | 2 | 5 | 48 | 0,061 | |
| | | 3 | 4 | 165 | 0,208 | |
| | | 4 | 3 | 228 | 0,288 | |
| | | 5 | 2 | 245 | 0,322 | |
| | | 6 | 1 | 36 | 0,045 | |

Таблица 2

Значение показателя живучести $\Pi_{ж}^{(l)}$ при различных q для системы SA

| Вероятность поражения, q | Кратность воздействия, l | | | | | |
|----------------------------|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| $q = 0,12$ | 0,663 | 0,578 | 0,450 | 0,313 | 0,196 | 0,109 |
| $q^* = 0,416$ | 0,755 | 0,530 | 0,367 | 0,258 | 0,174 | 0,103 |
| $q = 0,6$ | 0,857 | 0,638 | 0,427 | 0,261 | 0,152 | 0,085 |

Очевидно, что наибольшее поражение системы произойдет при кратности воздействия I , соответствующей максимальному значению $\Xi^{(i)}$. Анализ результатов исследования эффективности воздействия позволил сделать вывод, что поражение выбранной структуры достигается только при существенных кратностях воздействия $I \geq 4$.

Поражающие свойства воздействия характеризуются распределением частоты f_i появления n_i -кратных поражений объектов управления при различных кратностях воздействия I , где f_i определяется выражением (2).

Предлагаемая трактовка свойства эффективности и полученное аналитическое выражение для вычисления её показателя при математическом моделировании позволили решить задачу определения параметров экстремального воздействия, приводящего к максимальному снижению живучести при заданной эффективности. Такой подход позволяет оценить наиболее вероятное количество поражаемых объектов управления. Полученные результаты убедительно свидетельствуют о практической необходимости решения поставленной задачи при разработке мероприятий по поддержанию живучести систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Олифер В.Г., Олифер Н.А. *Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы.* – СПб.: Питер, 1999. – 672 с.
2. Батуков А.П., Скляр В.В. *Моделирование и оценка живучести управляющих систем при биномиальном распределении вероятности поражения их элементов // Электронное моделирование.* – 2001. – 23, № 6. – С. 92 - 101.
3. Венцель Е.С., Овчаров Л.А. *Теория вероятности и её инженерные приложения.* – М.: Высш. шк., 2000. – 480 с.

Поступила 2.07.2002

БАТУКОВ Анатолий Петрович, канд. техн. наук, доцент, доцент Харьковского военного университета. В 1961 году окончил Харьковское высшее авиационное инженерное военное училище. Область научных исследований – надёжность и живучесть управляющих систем летательных комплексов.

СКЛЯР Владимир Владимирович, канд. техн. наук, преподаватель Харьковского военного университета. В 1992 году окончил Харьковское ВВКИУ РВ. Область научных исследований – методы оценки и обеспечения отказоустойчивости аппаратных и программных средств управляющих и вычислительных систем.

ДЕГТЯРЕНКО Виталий Викторович, адъюнкт Харьковского военного университета. В 1993 году окончил ХВВКИУ РВ. Область научных исследований – методы оценки и обеспечения живучести управляющих систем летательных комплексов.