

УДК 519.876

## АНАЛИТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ВЕРОЯТНОСТИ ПОРАЖЕНИЯ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНОГО ОБЪЕКТА ИНФОРМАТИЗАЦИИ В ЗАДАЧАХ ОЦЕНКИ ЕГО ЖИВУЧЕСТИ

*канд. техн. наук, доц. Н.М. БОБОВИЧ*  
(Академия МВД Республики Беларусь, Минск)

*Рассмотрен аналитический алгоритм расчета вероятности выхода из строя структурных элементов критически важного объекта информатизации в результате воздействия внешних дестабилизирующих факторов. Количественное значение этой вероятности является исходным для последующих разработки комплекса моделей количественной оценки и исследования живучести критически важного объекта информатизации методом анализа случайных структур (систем) по производительности.*

**Ключевые слова:** информатизация, дестабилизирующий фактор, аналитический алгоритм, объект информатизации, структурные элементы критически важного объекта информатизации, комплекс моделей количественной оценки живучести критически важного объекта информатизации, метод анализа случайных структур по производительности.

**Введение.** Способность критически важных объектов информатизации (КВОИ) выполнять возлагаемые на них задачи в условиях целенаправленных и нецеленаправленных дестабилизирующих воздействий определяется их живучестью.

Основой исследования живучести сложных систем является прогноз их возможных состояний при дестабилизирующих воздействиях и анализ осуществимых путей управления факторами, формирующими эти состояния [1].

Рассмотрение методов расчета живучести сложных организационно-технических систем показало, что для количественной оценки живучести территориально распределенного КВОИ целесообразно использовать метод анализа случайных структур (систем) по производительности, суть которого состоит в определении производительности исследуемой системы путем изучения ее структуры и устойчивости структурных элементов к воздействию дестабилизирующих факторов [2].

**Основная часть.** Общей особенностью количественной оценки показателей живучести является статистический характер оцениваемых показателей на всех иерархических уровнях: элемент-подсистема-система в целом. Возможность представления производительности на высших уровнях в виде операторов сопряжения, представляющих собой ее функциональную зависимость от производительностей на более низких уровнях, позволяет свести задачу количественной оценки живучести КВОИ по показателю «производительность» к задачам расчета статистических характеристик функций случайных аргументов вида [2]:

$$I_i = \sum_{j=1}^{m_i} I_{ij} \left( j = \overline{1, m_i} \right), \quad (1)$$

$$I = \min_{(i)} \{ I_i \} \left( i = \overline{1, n} \right), \quad (2)$$

где  $n$  – число технологических звеньев в системе;

$m_i$  – число элементов, выполняющих (обеспечивающих выполнение)  $i$ -ю технологическую операцию.

Расчет математических ожиданий и дисперсий функций случайных аргументов вида (1) и (2) основывается на определении вероятности выхода из строя структурных элементов КВОИ.

При целенаправленных воздействиях внешних дестабилизирующих факторов вероятность выхода из строя элементов КВОИ может быть определена как вероятность выполнения следующих условий:

- $y_1$  – обнаружение района расположений объекта;
- $y_2$  – доразведка до получения сведений, достаточных для принятия решения об осуществлении воздействия;
- $y_3$  – принятие решения о воздействии на объект;
- $y_4$  – доставка средств воздействия в район дислокации объекта;
- $y_5$  – превышение воздействия на элемент предела его физической устойчивости или блокирование элемента в зонах разрушения, заражения.

В соответствии с этим вероятность поражения элемента может быть определена в виде следующего произведения вероятностей [3]:

$$p = p(y_1) p(y_2 / y_1) p(y_3 / y_1 y_2) p(y_4 / y_1 y_2 y_3) p(y_5 / y_1 y_2 y_3 y_4).$$

Последний сомножитель может быть представлен в виде суммы:

$$p(y_5 / y_1 y_2 y_3 y_4) = p(y_n / y_1 y_2 y_3 y_4) + p(y_6 / y_1 y_2 y_3 y_4),$$

где первое слагаемое характеризует физическое поражение, а второе – вероятность блокирования элемента в зоне поражающего воздействия. Зависимость блокирования элемента от мощности и расстояния до центра взрыва  $G(R_0, R)$  определяется для конкретного района дислокации и имеет вид, аналогичный координатному закону поражения (КЗП).

Совместное выполнение условий  $y_1, y_2, y_3, y_4, y_5$  можно рассматривать как последовательно развивающийся во времени случайный процесс: разведка – доразведка – принятие решения – подготовка воздействия и его осуществление [3]. Обозначив через  $F_i(t_i)$  функции распределения моментов окончания составляющих процесса и пренебрегая временем принятия решения по сравнению со временем протекания остальных составляющих, формула для функции распределения момента воздействия приобретает следующий вид:

$$p_y(t) = p(T_y < t) = p(y_3 / y_1 y_2) \iint_{(t)} F_4(t_4 / t_1 t_2) dF_2(t_4 / t_1) dF_1(t_1).$$

Вероятность выхода из строя элемента или его блокирования при осуществлении воздействия по району дислокации КВОИ определяется осреднением КЗП по всем возможным координатам взрыва:

$$p_i = \iint_{(\infty)} G(R_i, R) f(R_i, B_n, x, y) dx dy,$$

где  $i = n$  – индекс поражения элемента;

$i = \bar{b}$  – индекс блокирования;

$R_i$  – радиус поражения (блокирования) – параметр КЗП;

$R_{ip}, B_n$  – смещение точки прицеливания относительно элемента и вероятность отклонения (параметры закона рассеивания координат взрыва).

Радиус поражения определяется видом элемента, его защищенностью и выбираемой противником мощности взрыва. Мощность взрыва выбирается противником по располагаемым данным о размере района дислокации ( $L_{max}$ ), защищенности элементов  $R_{nlp}$  (радиус поражения расчетного объекта при взрыве мощностью 1 тыс. т) и точности средств доставки  $B_n$ . Величина  $R_{ip}$  определяется выбором точки прицеливания по известным данным о конфигурации района дислокации и размещении основных элементов КВОИ на площади дислокации.

Вероятность принятия решения о нанесении удара  $p_3 = p(y_3 / y_1 y_2)$  оценивается по соотношению числа объектов ударов в системе и выделяемых для ее поражения боеприпасов с учетом целераспределения [3].

В общем виде алгоритм вычисления вероятности поражения может быть представлен следующими зависимостями:

$$R_n = R_n(i, q, h),$$

$$q = q(L_{max}, R_{nlp}, B_n),$$

$$R_{ip} = R_{ip}(x_{\xi}, y_{\xi}),$$

$$p_3 = \frac{n_{\bar{o}}}{n_{o\bar{o}}} K, \quad p_3 \leq 1, \quad 0 \leq K \leq \frac{n_{o\bar{o}}}{n_{\bar{o}}},$$

где  $K$  – коэффициент, учитывающий целераспределение;

$n_{o\bar{o}}$  – число подсистем, являющихся объектами ударов;

$n_{\bar{o}}$  – число выделяемых на поражение КВОИ боеприпасов.

Объем восстановления определяется структурой потерь по степени тяжести поражения:

$$r_k = p(R_{nk}) - p(R_{nk-1}),$$

где  $R_{nk}$  – радиус  $k$ -й степени поражения ( $k = 1, 2, 3, 4$ ).

Динамика восстановления может быть получена методом баланса сохраняемой производительности КВОИ ремонта (восстановления) и потребного ресурса на восстановление.

Окончательно производительность КВОИ определяется суммой производительностей сохраняемого и восстанавливаемого ресурсов, например, через их математические ожидания:

$$M[I(t)] = M \left[ I_c \left( \sum_{(j)} I_{ij}, \min\{I_i\} \right) \right] + M[\Delta I(I_c, t, r_{ik})],$$

где  $I_c$  – сохраняемая производительность,  
 $\Delta I$  – восстанавливаемая производительность.

Для получения количественной меры живучести через параметры системы и характеристики боевых воздействий в явном виде введем следующие, не противоречащие реальным процессам и ситуациям, допущения:

1. Разведка и доразведка осуществляются путем периодического наблюдения района дислокации КВОИ. Обнаруженная и доразведанная подсистема подвергается обстрелу до первого разрыва в районе ее дислокации. Потоки наблюдений и выстрелов считаются пуассоновскими.

2. Примем альтернативную модель выбора исходных данных для расчета мощности взрыва и определения точки прицеливания: противник использует фактические данные о размерах, компоновке и защищенности, если устанавливает их к моменту обстрела, в противном случае использует данные, предлагаемые проводимыми на подсистеме мероприятиями маскировки.

3. Для координатного закона поражения принимается аналитическая аппроксимация вида [4, 5]:

$$G(R_n, R) = \sum_{(l)} B_l a^{-a_l \frac{R^2}{R_n^2}},$$

где  $B_l, a_l$  – коэффициенты аппроксимирующей функции КЗП.

С учетом принятых допущений получим следующие аналитические зависимости для расчета количественной меры живучести КВОИ [2].

Вероятность поражения элемента:

$$p_{ij} = p_y(t) p_n.$$

Вероятность удара по району дислокации подсистемы:

$$p_y(t) = p(y_3) \left\{ p(y_1, y_2) - \frac{\Lambda_p}{(\Lambda_p - \Lambda_\delta)(\Lambda_\delta - \Lambda_y)} (\Lambda_\delta e^{-\Lambda_p t} - \Lambda_p e^{-\Lambda_y t}) - \frac{\Lambda_p}{(\Lambda_p - \Lambda_y)(\Lambda_\delta - \Lambda_y)} (\Lambda_y e^{-\Lambda_\delta t} - \Lambda_\delta e^{-\Lambda_y t}) \right\},$$

где  $\Lambda_p = \lambda_p r p_p$  – частота успешных разведок ( $\lambda_p$  – частота наблюдений при разведке;  $r$  – вероятность преодоления контура защиты;  $p_p$  – вероятность обнаружения при однократном наблюдении);

$\Lambda_\delta = \lambda_\delta r p_\delta$  – частота успешных доразведок ( $\lambda_\delta$  – частота наблюдений при доразведке,  $p_\delta$  – вероятность решения задачи доразведки при однократном наблюдении);

$\Lambda_y = \lambda_y r p_y$  – частота успешных выстрелов ( $\lambda_y$  – частота обстрела,  $p_y$  – вероятность обнаружения района дислокации подсистемы).

Вероятность успешных доразведок по признаку  $\varphi$ :

$$p(y_1, y_2) = 1 - e^{-\Lambda_\varphi t} - \frac{\Lambda_p}{\Lambda_\varphi - \Lambda_p} (e^{-\Lambda_\varphi t} - e^{-\Lambda_p t}), \quad \varphi \in \{g, R_y, R_{n1p}, L_{max}\},$$

где  $\Lambda_\varphi = \lambda_\varphi r p_\varphi$  – частота успешных доразведок по признаку  $\varphi$  ( $R_y$  – выявление оптимальной точки прицеливания;  $L_{max}$  – выявление размера района дислокации подсистемы;  $R_{n1p}$  – выявление защищенности элементов подсистемы).

Вероятность принятия решения о нанесении удара:

$$p(y_3) = 1, \text{ при } n_\delta \geq n_{\delta\delta},$$

$$p(y_3) = \frac{n_\delta}{n_{\delta\delta}} K, \text{ при } n_\delta \leq n_{\delta\delta},$$

$$0 \leq K \leq \frac{n_{об}}{n_{\sigma}},$$

где  $n_{об} = n_{\sigma} + n_{эл}$  – число объектов удара в КВОИ ( $n_{\sigma}$  – число действительных объектов в составе КВОИ,  $n_{эл}$  – число эффективно существующих ложных объектов – обнаружен, но не распознан как ложный, – определяют по формуле

$$n_{эл} = \sum_{j=1}^{n_{\sigma}} p_j(y_1) - p_j(y_1, y_2),$$

$n_{\sigma}$  – число ложных объектов).

Мощность боеприпасов, выделенных для поражения подсистемы:

$$q = \left[ \frac{1,5}{R_{n1p\phi}} \left( 0,35L_{\max\phi} + 2,8 \frac{R_p^2}{L_{\max\phi}} \right) \right]^3,$$

где  $R_p = \sqrt{2}\sigma$  – радиус рассеивания (характеристика ошибки стрельбы).

Вероятность поражения при нанесении удара:

$$p_n = \sum_{(l)} \frac{B_l R_n^2}{R_n^2 + a_l R_p^2} e^{-\frac{a_l R_n^2}{R_n^2 + a_l R_p^2}}$$

где  $R_n$  – радиус поражения структурного элемента КВОИ;

$R_l$  – удаление элемента от точки прицеливания.

**Заключение.** Предложенный аналитический алгоритм расчета живучести КВОИ определяет непрерывную область значений ее количественной меры и конкретизирует множества параметров КВОИ и внешних дестабилизирующих факторов в виде количественных параметров, влияющих на живучесть. Анализ путей влияния на эти параметры позволит выявить те свойства КВОИ, которые определяют ее живучесть, и установить область и алгоритмы управления живучестью КВОИ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. О некоторых мерах по обеспечению безопасности критически важных объектов информатизации [Электронный ресурс] : Указ Президента Республики Беларусь от 25 октября 2011 г. № 486 // levonevski.net. – Режим доступа: <http://www.levonevski.net/pravo/norm2013/num06/d06545.html>. – Дата доступа: 25.09.2015.
2. Бобович, Н.М. Аналитическая оценка живучести критически важного объекта информатизации / Н.М. Бобович, В.В. Маликов, С.А. Чюруканов // Доклады БГУИР. – 2015. – № 3(89). – С. 96–100.
3. Вентцель, Е.С. Введение в исследование операций / Е.С. Вентцель. – М. : Советское радио, 1964. – С. 369.
4. Чепиженко, А.З. Радиоэлектронная аппаратура и ядерный взрыв / А.З. Чепиженко – М. : Воениздат, 1997. – С. 210.
5. Мырова, Л.О. Анализ стойкости систем связи к воздействию излучений / Л.О. Мырова, В.Д. Попов, В.И. Верхотуров. – М. : Радио и связь, 1993. – С. 186.

Поступила 15.03.2016

#### ANALYSIS ALGORITHM OF CALCULATING THE PROBABILITY OF STRUCTURAL COMPONENTS OF CRITICAL INFORMATION OF THE OBJECT IN THE ASSESSMENT TASKS ITS SURVIVABILITY

*N. BOBOVICH*

The article discusses the analytical algorithm for calculating the probability of failure of the structural elements of the critical information of an object by external destabilizing factors. The quantitative value of this probability is the source for the subsequent development of a set of models to quantify and study survivability critical information of the object method of analysis of random structures (systems) performance.

**Keywords:** *informatization, the destabilizing factor, analytical algorithm, object of informatization, structural elements of crucial object of informatization, complex of models of a quantitative assessment of a survivability critical of important object of informatization, method of the analysis of casual structures on productivity.*