

УДК 519.876

## МЕТОДЫ ОЦЕНКИ УЩЕРБОВ В ЗАДАЧАХ КОЛИЧЕСТВЕННОГО АНАЛИЗА ЖИВУЧЕСТИ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ ОБЪЕКТОВ ИНФОРМАТИЗАЦИИ

Н.М. БОБОВИЧ, В.В. МАЛИКОВ

*Академия Министерства внутренних дел Республики Беларусь,  
пр. Машерова, 6, Минск, 220005, Беларусь*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь*

*Поступила в редакцию 6 декабря 2013*

Рассмотрены методы количественного анализа живучести критически важных объектов информатизации, базирующиеся на оценке ущербов при воздействии дестабилизирующих факторов. Показана взаимосвязь материального, функционального и структурного ущербов. Предложено осуществлять оценку функционального ущерба КВОИ на основе метода анализа случайных структур (систем) по производительности.

*Ключевые слова:* критически важный объект информатизации, живучесть, ущерб, производительность, структура, оператор сопряжения, однородная структура с заменяемостью.

### Введение

Критически важные объекты информатизации (КВОИ) представляют собой сложные системы, которые осуществляют (обеспечивают) выполнение ответственных функций, нарушение (прекращение) выполнения которых может привести к значительным негативным последствиям для национальной безопасности в политической, экономической, социальной, информационной, экологической, иных сферах [1, 2].

Отнесение объекта информатизации к КВОИ осуществляется на основании критерия важности объекта информатизации, который выполняет функции информационной системы или обеспечивает предоставление значительного объема информационных услуг, в случае если последствия от нарушения (прекращения) функционирования объекта информатизации соответствуют показателям уровня ущерба в политической, экономической, социальной, информационной, иных сферах в соответствии с перечнем [3].

### Постановка задачи

Основным штатным режимом функционирования КВОИ является выполнение функций в условиях воздействия внутренних и внешних дестабилизирующих факторов (структурных и параметрических воздействий), к которым относятся: сбои, отказы, ошибки в программном обеспечении, заклинивания, зависания, конфликты, тупиковые ситуации, вирусы, атаки хакеров, «спам», нарушения в работе механизмов синхронизации, архитектурное несовершенство, аварийные отключения электропитания, электромагнитные наводки техногенного и природного характера, «человеческий фактор» и др.).

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 возможных путей управления факторами, формирующими эти состояния. Для оценки возможных состояний сложных функционирующих систем чаще всего используются две взаимосвязанные характеристики: материальный и функциональный ущерб.

Материальный ущерб характеризует потери структурных элементов КВОИ (люди, технические и программные средства) и является случайной величиной. Под функциональным ущербом будем понимать величину снижения способности к функционированию отдельных элементов, подсистем и КВОИ в целом. Функциональный ущерб определяется двумя факторами: взаимосвязью между элементами системы, т.е. ее структурой, и распределением потерь между структурными элементами. Поскольку потери элементов есть величина случайная, то и зависящий от этих потерь функциональный ущерб также является случайной величиной. Следовательно, характеристиками функционального ущерба, как и в случае материальных потерь (материального ущерба), являются функции распределения и числовые характеристики величины снижения максимальной производительности КВОИ.

Разница между относительной величиной материального ущерба и относительной величиной функционального ущерба обусловлена функциональной структурой КВОИ и выходом из строя его элементов при наличии потерь. Эта разница называется структурным ущербом. Оценка материального ущерба КВОИ при случайном выходе из строя его составных элементов может быть осуществлена методами классической теории вероятностей. Ниже рассматривается один из возможных подходов к оценке возможных ущербов КВОИ для количественного анализа его живучести, основанный на использовании методов и моделей теории вероятностей.

### Результаты и обсуждение

В результате воздействия дестабилизирующих факторов элементы КВОИ могут оказаться в любом из  $k$  расчетных фиксированных состояний. Вероятности состояний, которые характеризуют исправное (работоспособное) состояние и уровень ущерба по принятым показателям [3] определяются по следующим формулам:

$p_3 = P_3 - P_4$  – катастрофический уровень ущерба (гибель людей или многочисленные повреждения с угрозой для жизни; срыв основных процессов, срыв задач управления – прекращение функционирования объекта);

$p_2 = P_2 - P_3$  – высокий уровень ущерба (повреждения с угрозой для жизни, вызывающие необходимость госпитализации; ухудшение управляемости объекта, снижение качества обслуживания, не совместимое с установленными требованиями качества);

$p_1 = P_1 - P_2$  – умеренный уровень ущерба (серьезные повреждения, требующие госпитализации или многократного обращения за медицинской помощью; снижение эффективности выполнения процессов, функций, задач; невыполнение одной или нескольких функций);

$p_0 = 1 - P_1$  – исправное (работоспособное) состояние.

Полагая  $p_0 \equiv 1$  и  $p_4 \equiv 0$ , вероятности состояний могут быть записаны в обобщенном виде через индекс принятого показателя ущерба:

$$p_k = P_k - P_{k+1} \quad (k = 0, 1, 2, 3). \quad (1)$$

Для вычисления средних статистических потерь групповых однородных элементов воспользуемся двумя важными следствиями из теоремы о числовых характеристиках.

Если для  $n$  объектов известны их вероятности выхода из строя  $p_1, p_2, \dots, p_n$ , то средняя статистическая величина потерь определяется суммированием вероятностей выхода из строя:

$$M[N] = p_1 + p_2 + \dots + p_n = \sum_{j=1}^n p_j, \quad (2)$$

где  $N$  – число элементов в группе ( $J = \overline{1, N}$ ).

Формула для случая, когда элементы группы находятся в одинаковых условиях, т.е. вероятности выхода из строя одинаковы  $p_1 = p_2 = \dots = p_n = p$ , преобразуется в произведение:  
 $M[N] = Np$

Дисперсия величины потерь определяется по формуле:

$$D[N] = \sum_{j=1}^N p_j (1 - p_j) + 2 \sum_{j < i} (p_{ji} - p_i p_j), \quad (3)$$

где  $p_{ji}$  – вероятность совместного выхода из строя двух элементов.

При вычислении средних статистических потерь неоднородных групповых элементов необходимо вычислить потери отдельно по каждой входящей в них однородной группе:

$$M[N_1] = \sum_{j=1}^{N_1} p_{1j},$$

$$M[N_2] = \sum_{j=1}^{N_2} p_{2j},$$

...

$$M[N_m] = \sum_{j=1}^{N_m} p_{mj},$$

где  $p_{ij}$  ( $i = \overline{1, m}$ ) – вероятность выхода из строя  $j$ -того элемента  $i$ -той группы.

Структура потерь элементов по показателю полученного ущерба определяется через вероятности состояний:

$$M[n_k] = \sum_{j=1}^N p_{kj} \quad (k = 0, 1, 2, 3), \quad (4)$$

где  $n_k$  – ущерб с заданной индексом  $k$  степенью тяжести.

Следует отметить, что расчет потерь по указанным формулам дает среднюю статистическую оценку, которая не обязательно будет целой величиной. В связи с этим не рекомендуется отбрасывать дробные части в результатах расчета, т.к. при расчетах по большому числу элементов ошибка будет накапливаться.

По результатам расчетов вероятностей состояний отдельных элементов может быть образована матрица, характеризующая состояние КВОИ в целом. В случае, когда элементы групп однотипных элементов находятся в одинаковых условиях размещения, матрица состояния КВОИ из  $m$  групп имеет вид:

$$S = \begin{bmatrix} p_0^{(1)} & p_1^{(1)} & \dots & p_k^{(1)} \\ p_0^{(2)} & p_1^{(2)} & \dots & p_k^{(2)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_0^{(m)} & p_1^{(m)} & \dots & p_k^{(m)} \end{bmatrix}, \quad (5)$$

где  $p_k^{(m)}$  – вероятность  $k$ -того состояния  $m$ -той группы однотипных элементов;  $\sum_{k=0}^3 p_k^{(m)} = 1$ .

Если элементы группы однотипных элементов находятся в различных (неодинаковых) условиях, то из вероятностей состояний элементов этой группы составляется отдельная матрица:

$$S^{(i)} = \begin{bmatrix} p_{10}^{(i)} & p_{11}^{(i)} & \dots & p_{1k}^{(i)} \\ p_{20}^{(i)} & p_{21}^{(i)} & \dots & p_{2k}^{(i)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{r0}^{(i)} & p_{r1}^{(i)} & \dots & p_{rk}^{(i)} \end{bmatrix}, \quad (6)$$

где  $r$  – индекс, характеризующий условия размещения,  $p_{rk}^{(i)}$  – вероятность того, что  $N_r^i$  элементов  $i$ -й группы окажутся в состоянии  $k$  ( $N^{(i)} = \sum_{k=0}^4 \sum_{r=1}^R N_{rk}^{(i)}$  – общее число элементов в  $i$ -й группе).

Потери или материальный ущерб по аналогии с матрицей состояний (6) также представим в виде матрицы. Для системы с группами, элементы которых размещены в одинаковых условиях, эта матрица имеет вид:

$$U_m = \begin{bmatrix} N_0^{(1)} N_1^{(1)} \dots N_k^{(1)} \\ N_0^{(2)} N_1^{(2)} \dots N_k^{(2)} \\ \dots \dots \dots \\ N_0^{(m)} N_1^{(m)} \dots N_k^{(m)} \end{bmatrix}, \quad (7)$$

где  $N_k^{(i)} (i=1, m)$  – количество элементов  $i$ -й группы, находящихся в  $k$ -м состоянии ( $k = 0, 1, 2, 3, 4$ );  $N^{(i)} = \sum_{k=0}^3 N_k^{(i)}$  – число элементов в  $i$ -й группе.

В случае, когда в одной или нескольких группах элементы размещаются не в одинаковых условиях, составляется матрица:

$$U_m^{(i)} = \begin{bmatrix} N_{10}^{(i)} N_{11}^{(i)} \dots N_{1k}^{(i)} \\ N_{20}^{(i)} N_{21}^{(i)} \dots N_{2k}^{(i)} \\ \dots \dots \dots \\ N_{r0}^{(i)} N_{r1}^{(i)} \dots N_{rk}^{(i)} \end{bmatrix}, \quad (8)$$

где  $N_{rk}^{(i)} (i=1, m)$  – число элементов в условиях размещения  $r$ , находящихся в состоянии  $k$ .

Матрица (6) позволяет определить средние статистические потери в группе, состоящей из однородных элементов. При этом достаточно просуммировать вероятности состояний, образующих  $k$ -й столбец матрицы:  $M[N^{(i)}] = \sum_{r=1}^R p_{rk}^{(i)}$ , где  $\tilde{k}$  – индекс выхода из строя,

соответствующий выходу из строя элементов  $i$ -й группы

Число сохранившихся работоспособных элементов в составе КВОИ и в отдельной  $i$ -той группе определяется с помощью матриц (7) и (8). Для этого производится суммирование в столбцах этих матриц, соответствующих степеням поражения, при которых элементы системы или элементы внутри  $i$ -й группы считаются сохранившимися (работоспособными).

Функциональный ущерб КВОИ достаточно полно характеризуется:

– максимально возможным результатом функционирования по основному назначению элемента, подсистемы и КВОИ на единичном отрезке времени – максимальная производительность  $I(t)$ ;

– максимальным результатом функционирования КВОИ на любом заданном отрезке времени, который определяется через максимальную производительность выражением:

$$W(t_1, t_2) = \int_{t_1}^{t_2} I(t) dt$$

В дальнейшем под функциональным ущербом КВОИ будем понимать величину снижения максимальной производительности  $\Delta I$ :

$$M[\Delta I] = I_0 - M[\tilde{I}], \quad (9)$$

где  $\Delta I$  – величина снижения максимальной производительности КВОИ;  $I_0$  – значение максимальной производительности КВОИ в исходном состоянии;  $\tilde{I}$  – сохраняемая производительность.

Термин производительность используется в общепринятом для промышленных и транспортных предприятий смысле (пропускная способность и т.п.).

Структурный ущерб, который обусловлен функциональной структурой КВОИ и ее разрушениями при наличии потерь определяется как разница между относительной величиной материального ущерба и относительной величиной функционального ущерба:

$$s = \frac{M[N]}{N_0} - \frac{M[\Delta I]}{I_0}, \quad (10)$$

где  $I_0, N_0$  – значения максимальной производительности КВОИ и общего числа его элементов в исходном состоянии.

Функциональный ущерб и оценка состояния сложных функционально связанных объектов могут быть определены с помощью различных методов, среди которых наиболее приемлемым является метод анализа случайных структур по производительности [4, 5]. Суть данного метода состоит в определении производительности (пропускной способности) исследуемой системы путем анализа ее структуры и устойчивости структурных элементов к воздействию дестабилизирующих факторов. При этом на первом этапе определяется алгоритм расчета производительности исходной (неслучайной) структуры. Второй этап состоит в преобразовании полученного алгоритма в алгоритм расчета статистических характеристик производительности при заданных случайных воздействиях дестабилизирующих факторов на структуру системы. Для приведения производительности элементов к производительности исследуемой системы процесс ее функционирования представляется в виде совокупности технологических операций, выполняемых или обеспечиваемых элементами системы.

Приведенная производительность определяется величиной обратной временным затратам на выполнение элементом одного полного цикла возложенных на него операций  $\Delta t_{ij}$ , умноженной на абсолютный показатель трудоемкости  $\beta_i$ :  $I_{ij} = \frac{\beta_i}{\Delta t_{ij}}$ .

В дальнейшем под структурой системы будем понимать совокупность ее элементов, объединенных между собой операторами сопряжения или аналитическими алгоритмами, позволяющими ввести элемент в систему.

Элементарными операторами сопряжения являются алгоритмы вычисления производительностей элементарных звеньев (суммирование)

$$I_i = \sum_{j=1}^{N_i} I_{ij} \quad (11)$$

и элементарных цепей (выбор минимума)

$$I = \min_{(i)} \{I_i\} (i = \overline{1, n}). \quad (12)$$

Операторы сопряжения для функциональных связей, отличных от последовательно-параллельных (11, 12), существенно зависят от управления структурой подсистемы, которое определяет распределение элементов между выполняемыми в подсистеме технологическими операциями. Поэтому эквивалентное преобразование таких функциональных связей к их последовательно-параллельным аналогам осуществляется при оптимальном распределении ресурса элементов подсистемы по критерию максимума производительности на ее выходе.

Достаточно адекватной моделью структуры отдельных подсистем и КВОИ в целом, элементы которых связаны между собой функциональными связями отличными от последовательно-параллельных, является однородная структура с заменяемостью [6].

Однородная структура с заменяемостью представляет собой структуру, в которой любой элемент может функционировать с отличной от нуля производительностью не более чем двух элементарных звеньях. При этом относительные трудоемкости операций в этих звеньях

отвечают условию:  $\beta_{lr}^{(k)}\beta_{rl}^{(k)} = 1$ , где  $\beta_{lr}^{(k)} = \frac{I_r^{(k)}}{I_l^{(k)}}$ ,  $\beta_{rl}^{(k)} = \frac{I_l^{(k)}}{I_r^{(k)}}$  – соответственно относительные

трудоемкости операций  $r$  относительно операций  $l$  и операций  $l$  относительно операций  $r$ .

Физически это условие означает, что перемещение элементов между подсистемами не увеличивает их совместной производительности, т.е. система в исходном состоянии оптимальна по распределению элементов между подсистемами.

Любая система со случайно фиксированной структурой может быть сбалансирована, если ресурс заменяемости позволяет сбалансировать ее по производительности всех элементарных звеньев. Производительность сбалансированной структуры для однородной структуры определяется величиной  $I_{\max\max} = \frac{\sum \beta_{ir} I_i}{\sum \beta_{ir}}$ , где  $r$  – фиксированный индекс

произвольно выбранного элемента подсистемы.

Если по ресурсу заменяемости структура не может быть сбалансирована, ее производительность будет определяться одним из звеньев, для которого ресурс заменяемости не компенсирует дефицита собственной производительности.

Полный оператор сопряжения однородной структуры имеет вид:

$$I = \min_{(i)} \left[ \min_{(j)} \left\{ \sum_{(j)} I_{ij} + I_{ji} \beta_{ji} \right\}, \frac{\sum_{(i)} \beta_{ir} I_i}{\sum_{(i)} \beta_{ir}} \right].$$

Алгоритмы вычисления производительности отдельных подсистем ( $l = \overline{1, L}$ ) через производительности их структурных элементов, можно обобщить на КВОИ в целом. Для этого достаточно его подсистемы объединить между собой соответствующими последовательно-параллельными связями.

### Заключение

Таким образом, использование метода анализа случайных структур по производительности для оценки ущербов КВОИ позволяет при относительной простоте расчетных алгоритмов и их незначительном усложнении с увеличением размерности исследуемого объекта обеспечить достаточно высокую точность получаемых результатов без существенных упрощений структуры КВОИ. К достоинствам метода также следует отнести возможность включения в расчетные алгоритмы человека (пользователя, обслуживающий персонал) как элемента системы, необходимого для ее функционирования. При этом возможна количественная оценка ущерба КВОИ как с использованием аналитических методов, так и методов статистического моделирования [7].

## METHODS FOR DAMAGES ASSESSMENT IN QUANTITATIVE ANALYSIS TASKS OF CRITICAL INFORMATIZATION OBJECTS SURVIVABILITY

N.M. BOBOVICH, V.V. MALIKOV

### Abstract

Methods of the quantitative analysis tasks of critical informatization objects survivability which are based on an assessment of damages at influence of destabilizing factors are considered. The interrelation of material, functional and structural damages is shown. The assessment of functional damage of KIOI is offered to be carried out on the basis of a method of the analysis of casual structures (systems) on productivity.

### Список литературы

1. Об утверждении Концепции национальной безопасности Республики Беларусь: Указ Президента Республики Беларусь от 9 ноября 2010 г. № 575 // [pravo.levonevsky.org](http://pravo.levonevsky.org) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pravo.levonevsky.org/bazaby11/republic04/text220.htm>. – Дата доступа: 20.09.2013.
2. О некоторых мерах по обеспечению безопасности критически важных объектов информатизации: Указ Президента Республики Беларусь от 25 октября 2011 г. № 486 // [levonevski.net](http://levonevski.net) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.levonevski.net/pravo/norm2013/num06/d06545.html> – Дата доступа: 25.09.2013.
3. О некоторых вопросах безопасной эксплуатации и надежного функционирования критически важных объектов информатизации: Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 30 марта 2012 г. № 293 // [levonevski.net](http://levonevski.net) [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.levonevski.net/pravo/norm2013/num05/d05400.html> – Дата доступа: 25.08.2013
4. *Ничипоренко В.И.* Структурный анализ систем. М., 1977.
5. *Бобович Н.М.* Влияние структуры ведомственной АИС на ее живучесть // Тез. докл. науч.- практ. конф. «Теоретические и прикладные аспекты информационной безопасности в Республике Беларусь». Минск, 21 июня 2012 г. С. 100–101.
6. *Росенко А.П.* Теоретические основы анализа и оценки влияния внутренних угроз на безопасность конфиденциальной информации. М., 2008.
7. *Маликов В.В.* Повышение эффективности информационных и инженерно-технических систем защиты критически важных объектов: Дис. ... канд. техн. наук. Минск, 2010.

Библиотека БГУИР