

**Ю. В. ДОРОНИНА**, канд. техн. наук, доц., СевНТУ», Севастополь;  
**В. О. РЯБОВАЯ**, ассистент, СевНТУ», Севастополь

## ОЦЕНКА СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ЗНАЧИМОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

В статье рассматривается метод оценки структурно-функциональной значимости элементов информационной системы экологического мониторинга с учетом требований, возникших в процессе её функционирования. Библиогр.: 4 назв.

**Ключевые слова:** мониторинговая система, требование к системе, оценка значимости, функциональность.

**Введение.** Использование принципов системного подхода в системах экологического мониторинга (СЭМ) — это творческий процесс. При построении функционально-эффективных вариантов СЭМ возникает задача оптимизации их структурного синтеза и исследование требует рассмотрения совокупности аспектов с учетом их взаимосвязи и использования общеизвестных системных положений.

**Целью работы.** Целью работы является исследование и выделение наиболее существенных компонент или элементов информационной системы экологического мониторинга на основе оценок структурно-функциональной значимости элементов СЭМ, при наличии требований, возникших в процессе её функционирования, с целью повышения эффективности её работоспособности.

**Методика экспериментов.** Анализ значимости элементов системы является традиционной составляющей при оценке её эффективности [1]. Суть анализа значимости состоит в определении степени влияния каждого из элементов системы на её функциональность. В рамках этого анализа вычисляется вероятность функционирования системы в зависимости от функций её элементов.

Функционирование СЭМ — это процесс, в котором она способна реализовать заданную функцию с установленными требованиями, в течение определенного периода времени. Предполагается, что описывающая объект структурная функция  $F^S = \phi(x)$  является монотонной. Это объясняется тем, что при ухудшении функциональности элемента системы, значение функционирования самой системы не может возрасть.

Таким образом, ставится задача определения наиболее значимых элементов СЭМ, в пределах её подсистем, с учетом изменения требований в процессе функционирования.

**Обсуждение результатов.** В общем случае при исследовании целостного объекта необходима его функциональная реструктуризация на основе согласования целей (требований).

Показатели эффективности СЭМ функционально связаны с её структурой, поэтому система  $S$  рассматривается как кортеж

$$S := \langle X, Y, F, G \in D, Z \rangle, \quad (1)$$

где  $X$  — входные данные (элементы СЭМ и их функции);  $Y$  — выходные данные (структуры СЭМ с необходимыми функциями элементов);  $F$  — функциональность системы (множество функций элементов);  $G$  — исходная структура СЭМ;  $\langle D, Z \rangle$  — кортеж свойств элементов СЭМ, в котором  $D$  — значение доминантности функциональных

признаков элементов;  $Z$  — важность элементов СЭМ для  $Y$ .

Целевая функция СЭМ:  $U = F_m(f_1, f_2 \dots f_n) \rightarrow \max$ , где  $m$  — число заданных для СЭМ целей, описываемых функциями  $f^S$  и  $f^\Phi$ ;  $f^S$  и  $f^\Phi$  — множество элементов и их функций соответственно;  $f = f^S \cap f^\Phi$  — функция пересечения структурно-функциональных признаков СЭМ. Описание оптимальной структуры СЭМ в соответствии с множеством необходимых функций следующее: пусть  $G$  — исходная структура СЭМ, а  $G'$  — новая структура СЭМ, при этом:

$$G \left\{ \sum_{i=1}^k f_i \right\} \equiv G' \left\{ \sum_{j=1}^n f_j \right\}, \quad (2)$$

где  $f_i$  — функции исходной структуры СЭМ,  $f_j$  — функции новой структуры СЭМ,  $k$  — количество функций структуры  $G$ ,  $n$  — количество функций структуры  $G'$  при  $k > n$ ,  $k < n$ , и  $k = n$ .

Подобные варианты возможны при наличии разных функциональных элементов в системе (элементов с разной функциональностью, которая и определяет эффективность работоспособности СЭМ)

Для повышения эффективности данных структур каждая из них разбивается на два множества:  $\{F^S\}$  и  $\{F^\Phi\}$ , где  $\{F^S\}$  — множество элементов структуры, а  $\{F^\Phi\}$  — множество функций элементов структуры.

Функция реструктуризации с учетом заданных требований:

$$F_M^R(x) = \sum_{i=1}^m c_i^* f^S(x) f^\Phi(x), \quad (3)$$

где  $c_i^*$ ,  $i = \overline{1, m}$  — коэффициенты (оценки) значимости элементов с учетом требований к СЭМ, возникших в процессе реструктуризации,  $f^S$  и  $f^\Phi$  — множество элементов и их функций соответственно.

Под реструктуризацией понимается целенаправленное изменение структуры информационной СЭМ на основе элементов, формирующих её функциональность, в связи с воздействиями, оказываемыми факторами внешней или внутренней среды. Определение требуемой функциональности  $Fx$  необходимого варианта СЭМ  $X^{F_i}$ , полученного методом реструктуризации, осуществляется с помощью функционального анализа и синтеза на уровне элементов системы [2].

В данном анализе элементы рассматриваются в пределах подсистем СЭМ. Исходная структура СЭМ состоит из  $n$  элементов и  $m$  подсистем, и задана структурной функцией  $\phi(x_1, x_2 \dots x_n)$ .

Для варианта СЭМ, состоящего из  $n=7$  элементов, выделяется две подсистемы  $m$  по  $n_1 = 3$  и  $n_2 = 5$  элемента в каждой. Каждая подсистема рассматривается в случае, когда её элементы имеют два варианта работоспособности ( $0$  — при  $x_i \in G'$ ,  $1$  — при  $x_i \notin G'$ ). Структурная функция задается:

— аналитический, когда уровень функционирования подсистемы равен максимальному уровню функционирования любого из её элементов  $\phi(x) = \max(x_1, x_2 \dots x_n)$ ;

— таблично, когда структурная функция принимает значение «1» при обязательном использовании одного или нескольких элементов.

Рассмотрим подсистему с  $n_1 = 3$ , структурная функция которой  $\phi(x) = \max(x_1, x_2, x_3)$  приведена в табл. 1.

Таблица 1 – Значение структурной функции СЭМ при  $n_1 = 3$ .

Элементы СЭМ и их состояния								
$x_1$	0	0	0	0	1	1	1	1
$x_2$	0	0	1	1	0	0	1	1
$x_3$	0	1	0	1	0	1	0	1
Структурная функция								
$\phi(x)$	0	0	0	0	0	1	1	1

Каждый  $i$ -й элемент системы характеризуется вероятностью наличия требуемой функциональности:  $p(x_i) = \Pr\{x_i = s\}$ , где  $s = \{0, \dots, m-1\}$  — возможные состояния  $i$ -го элемента. Функция надежности определяется как вероятность нахождения системы в состоянии функционирования в течение заданного периода времени. Для СЭМ эта функция вычисляется как вероятность того, что в заданный временной промежуток структурная функция системы будет иметь единичное значение.

Для анализа значимости отдельных элементов системы предлагается использовать булевы производные (булевы разности) по  $i$ -й переменной:

$$\partial\phi(x)/\partial x_i = \phi(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n) \oplus \phi(x_1, \dots, \bar{x}_i, \dots, x_n), \quad (4)$$

где  $\phi(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n)$  — структурная функция подсистемы СЭМ,  $\phi(x_1, \dots, \bar{x}_i, \dots, x_n)$  — структурная функция, в алгебраическом представлении которой переменная  $x_i$  заменяется на её отрицание  $\bar{x}_i$ ;  $\oplus$  — символ логического сложения по модулю два.

Для монотонной булевой функции, которой является структурная функция подсистемы СЭМ, имеет смысл рассматривать равнонаправленную производную вида:  $\partial\phi(1 \rightarrow 0)/\partial x_i(1 \rightarrow 0) = \partial\phi(x)/\partial x_i$ .

Оценка структурной значимости элемента системы определяется как степень влияния исследуемого элемента с учетом топологических особенностей системы и может интерпретироваться как вероятность понижения эффективности системы при отсутствии в структурном варианте  $i$ -го элемента  $x_i$ . Вычисление этой оценки определяется формулой:

$$C_S(x_i) = \frac{p_i}{2^{n-1} \lambda^i} \quad (5)$$

где  $p_i$  — число состояний системы, для которых отсутствие  $i$ -го элемента системы  $x_i$  приводит к понижению эффективности самой системы,  $\lambda^i$  — показатель требований, которые могут быть обслужены функциями элемента СЭМ.

Значение  $p_i$  определяется как число ненулевых элементов вектора значений направленной булевой производной  $\partial\phi(1 \rightarrow 0)/\partial x_i(1 \rightarrow 0)$  структурной функции, вычисляемой по формуле (4). Оценка структурной значимости, как правило, называется весом элемента [3].

Оценка модифицированной структурной значимости элемента определяется как вероятность неэффективной работы системы при отсутствии  $i$ -го элемента системы  $x_i$

$$C_{MS}(x_i) = \frac{p_i}{p_i^{(1,1)} \lambda^i}, \quad (6)$$

где значение  $p_i$  и  $\lambda^i$  используются из формулы (5), а  $p_i^{(1,1)}$  — число эффективных состояний системы при наличии  $i$ -го элемента системы  $x_i$ :  $\phi(1, x) = 1$ . Эти состояния определяются на основе анализа элементов структурной функции  $\phi(x)$ .

При решении практических задач часто возникает ситуация, когда требуется проанализировать одновременное изменение функциональности нескольких элементов системы [4]. В этом случае оценки значимости нужно рассчитывать не для одного элемента системы, а для группы из нескольких элементов.

Структурная значимость и модифицированная структурная значимость  $k$ - элементов системы позволяет определить вероятность снижения уровня функционирования системы при условии снижения состояния функциональности  $k$ - элементов с точки зрения топологических особенностей и требований к СЭМ:

$$C_S(kx_i) = \frac{P_{ik}}{2^{n-k} \lambda^i}, \quad C_{MS}(kx_i) = \frac{P_{ik}}{P_{ik}^{(1,1)}}, \quad (7)$$

где  $p_{ik}$  — число состояний системы, для которых изменения функциональности  $k$ - элементов обуславливает изменение уровня функционирования системы и соответствует числу ненулевых элементов направленной булевой производной  $\phi(x)$ ,  $p_{ik}^{(1,1)}$  — число состояний системы при функционировании  $k$ - элементов (в таком случае имеет смысл замены двух элементов одним).

Коэффициент положительного вклада элемента интерпретируется как увеличение потенциала функционирования системы при использовании  $i$ -го элемента системы  $x_i$ .

$$C_{PW}(x_i) = \frac{\Pr\{\varphi(1_i, x) = 1\}}{R}, \quad (8)$$

где  $\Pr\{\varphi(1_i, x) = 1\} = \Pr\{\varphi(x_1 \dots x_n) = 1\}$  — вероятность функционирования системы, при условии использования  $i$ -го элемента системы  $x_i$ ;

$R$ —значение функции надежности.

Коэффициент отрицательного вклада значимости элемента противоположен по смыслу коэффициенту  $C_{PW}(x_i)$  и представляет потенциал отрицательного влияния  $i$ -го элемента системы  $x_i$ :

$$C_{NW}(x_i) = \frac{R}{\Pr\{\varphi(0, \dots x) = 1\}} \quad (9)$$

Оценки структурной значимости и модифицированной структурной значимости для трех элементов СЭМ и коэффициенты положительного и отрицательного вкладов, вычисляется с использованием направленных булевых производных и приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Оценки значимости и коэффициенты вкладов элементов СЭМ

$i$	$C_S(x_i)$	$C_{MS}(x_i)$	$C_{PW}(x_i)$	$C_{NW}(x_i)$	$i$	$C_S(kx_i)$	$C_{MS}(kx_i)$
$x_1$	0.75	1	1	$\infty$	$x_1$ и $x_2$	1	0.5
$x_2$	0.25	0.5	0.745	3.92	$x_1$ и $x_3$	1	0.5
$x_3$	0.25	0.5	0.851	6.71	$x_2$ и $x_3$	0.5	0.25

Анализ результатов табл. 2 показывает, что обе оценки характеризуют первый элемент, имеющий максимальное влияние на функциональность системы, с точки зрения её топологических особенностей. Второй и третий элементы характеризуются одинаковым влиянием на снижение функциональности.

Представленные оценки позволяют всесторонне проанализировать влияние изменения функциональности элемента на изменение функционирования системы. Достоинство такого подхода состоит в том, что вычисление оценок значимости для одного и нескольких элементов системы осуществляется с единых методологических позиций, позволяя учитывать постоянно меняющиеся требования к СЭМ.

**Выводы.** Для анализа значимости элементов СЭМ, с целью определения степени влияния каждого из элементов системы на её функциональность, предложен метод оценки структурной значимости элемента системы с учетом заданных ограничений и требований к входным и выходным параметрам СЭМ, возникших до или в процессе её эксплуатации, что позволяет определить и реализовать необходимые функции.

Рассмотренные оценки значимости одного и нескольких элементов СЭМ позволяют всесторонне проанализировать влияние изменения функциональности элемента на изменение функционирования системы. Важным обстоятельством является вычисление всех оценок значимости с единых методологических позиций на основании математических методов многозначной логики и, в частности, логического дифференциального исчисления.

**Список литературы:** 1. Безопасность критических инфраструктур: математические и инженерные методы анализа обеспечения [Текст] / под ред. Харченко В.С. — Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ». — 2011. — 603 с. 2. Рябовая, В. О., Доронина, Ю. В. Повышение эффективности систем экологического мониторинга / В.О. Рябовая, Ю.В. Доронина // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2012. — Выпуск 4/6 (58) — Харьков: Изд-во Технологический Центр, 2012. — С. 41- 44 3. Рябинин, И. А. Определение «веса» и «значимости» отдельных элементов при оценке надежности сложной системы [Текст] / И.А. Рябинин, Ю.М. Парфенов // Известия АН СССР. Энергетика и транспорт. —1978. — №6. —С.22-32 4. Доронина, Ю. В., Рябовая, В.О. Метод структурно-функционального синтеза в задачах реструктуризации систем экологического мониторинга / Ю.В. Доронина, В.О. Рябовая // Международный научно-технический журнал «Проблемы управления и информатики». — 2013. — № 6. — С. 79-89.

*Поступила в редколлегию 30.01.2014*

УДК 004.9

**Оценка структурно-функциональной значимости элементов в информационных системах экологического мониторинга/ Доронина Ю. В., Рябовая В. О. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2014. - № 7 (1050). – С.111-115. – Бібліогр.: 4 назв. ISSN 2079-5459**

У статті розглядається метод оцінки структурно-функціональної значущості елементів інформаційної системи екологічного моніторингу з врахуванням вимог, які виникли в процесі її функціонування.

**Ключові слова:** моніторингова система, вимога до системи, оцінка значущості, функціональність.

**Estimation of structural-functional meaningfulness of elements in informative systems of ecological monitoring/ J. V. Doronina, V.O. Ryabovaya//Bulletin of NTU “KhPI”. Series: New decisions of modern technologies. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2014.-№ 7 (1050).- P.00-00. Bibliogr.:4 . ISSN 2079-5459**

In the article the method of estimation of structural-functional meaningfulness of elements of the ecological monitoring's system is examined taking into account requirements, in the process of it's functioning.

**Keywords:** monitoring system, system requirement, estimation of meaningfulness, functionality.