

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^Φ ; f^S и f^Φ — 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^Φ — 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, λ^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 λ^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, вычисляются 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	∞	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 is in informative systems of ecological monitoring/ J. V. Doronina, V.O. Ryabovaya//Bulletin of NTU “KhPI”. Series: New desicions 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.