

Ю.В. ДОРОНИНА, В.О. РЯБОВАЯ  
**МЕТОД МОДЕРНИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ  
ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА  
ИХ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ НАГРУЗКИ**

---

*Дорогина Ю.В., Рябовая В.О. Метод модернизации информационных систем экологического мониторинга на основе анализа их функциональной нагрузки.*

**Аннотация.** В статье рассматривается метод модернизации информационных систем на основе анализа их функциональной нагрузки. Рассмотрены оценки структурно-функционального состава информационных систем экологического мониторинга для реализации и поиска оптимальных вариантов решения задач реструктуризации.

**Ключевые слова:** информационные системы, система мониторинга, реструктуризация, структурно-функциональный синтез, требование к системе, структура, избыточность.

*Doronica J.V., Ryabovaya V.O. Method for Modernizing Information Systems for Environmental Monitoring Based on Their Functionality.*

**Abstract.** The article aims to consider the modernization method of information systems based on the analysis of their functional capacity. Estimates of the structural and functional composition of environmental monitoring information systems for the realization and search of the optimal solutions to the problems of restructuring are considered.

**Keywords:** information systems; system of monitoring; restructuring; structurally functional synthesis; requirement to system; structure; redundancy.

---

**1. Введение.** Мониторинг и прогноз состояния экологической обстановки в Крымском регионе были и остаются важными научно-практическими задачами [1]. Существующие для их решения информационные системы экологического мониторинга (ИСЭМ), в том числе ориентированные на мониторинг водной среды, требуют постоянного совершенствования, что объясняется ухудшением качества среды обитания человека и необходимостью принятия срочных мер для анализа ситуации, с одной стороны, и новыми возможностями информационных систем и технологий — с другой.

Дадим определение некоторых терминов, используемых в дальнейшем. Под *реструктуризацией* информационной системы (ИС) понимается анализ и перестроение ИС с целью реализации ее в новом качестве [2]. В ИС выделяют три составляющие: функциональную (программное обеспечение), информационную (база данных) и подсистему управления функциональным и информационным блоками. *Модернизация* — улучшение ИС, исправление критичных ошибок при отсутствии кардинальных изменений в системе либо изменений, не связанных с изменением структуры. Основными причинами, требующими модернизации ИС, являются: ужесточение (повышение) требований к объему и

качеству информации, необходимой для принятия обоснованных решений соответствующими управленческими структурами; моральное и физическое устаревание ИС (информационных технологий, пользовательских и программных интерфейсов, износ аппаратных компонентов); причины организационного характера (связанные с окружением ИС, бизнес-процессами предприятия, пользователями системы, реализующими новые требования к ИС). Постоянного обновления (модернизации) требует и специализированный программный комплекс ИСЭМ (математические модели, используемые для анализа и прогноза).

Одной из основных проблем модернизации ИС является то, что она определена на концептуальном уровне и не зависит от какой-то одной программной технологии. Так, в [3] дается обзор методов модернизации ИС. К ним относятся: метод репликации баз данных, основанный на объектно-ориентированном подходе, методы оценки вариантов реинжиниринга ИС [4], методы извлечения знаний о существующей системе [5], методы трансформации (реконструкции) архитектуры ИС [6], методы автоматизации реинжиниринга программ [7, 8] и т.д. Область применения таких методов, характеризуется некоторым классом программных технологий. В наибольшей степени эта проблема исследуется в [2, 8, 9]. В тоже время, в [2] предлагается лишь «каркас», определяющий основной ход работ, в [9] даются рекомендации по выполнению основных видов деятельности по модернизации.

При возникновении новых требований (или их корректировки) к данным мониторинга (достоверность, своевременность и т.д.) и к работе самой системы (быстродействие, надежность, изменение частоты измерений, использование не всех элементов или введение новых) возможны проблемы структурного характера. Реализация некоторого требования, с ограничением по времени, может привести к преобразованию структуры системы (реструктуризации) и изменению функциональности исходной системы.

*Информационные системы экологического мониторинга с переменной структурой (ИСЭМ ПС) — системы мониторинга, функционирующие «по требованию» (запросу) относительно измеряемых параметров с ограничением по времени проведения мониторинга, достоверности получаемой информации, надежности и габаритов системы (например, ИСЭМ разлива нефтепродуктов, ИСЭМ добычных и подготовительных забоев и т.д.). Структура ИСЭМ меняется в зависимости от требований к системе, но не автоматически (за неимением ко-*

нечного множества структур), а с поэтапным уменьшением мощности множества допустимых вариантов решения и выбором единственного.

**2. Направление исследований.** В статье предлагается метод поэтапного структурного синтеза ИС, позволяющий реализовывать реструктуризацию (изменение состава структурных компонент ИС) в зависимости от текущего требования пользователя.

Для нахождения решения применяются два основных подхода [9]. Сущность первого подхода — исключить из анализа заведомо неприемлемые варианты решений (применение принципа Парето), тем самым сузив множество возможных альтернативных решений. Сущность второго подхода — использовать приемы и способы приведения многоцелевой задачи к типовой задаче с одним критерием. Под критериями эффективности ИСЭМ понимаются надежность системы, достоверность и своевременность информации. Представленные критерии характеризуются быстродействием процесса мониторинга и точностью его результатов, своевременным информированием (получением, обработкой, выдачей информации), реализацией требований к ИСЭМ, снижением затрат на переоснащение системы.

Разработанный в работе метод (рисунок 1) применим для ИСЭМ общего назначения и основан на комплексе взаимосвязанных этапов: на первом этапе генерируются варианты, исходя из экспертных оценок и минимально-необходимых функций, реализующих  $i$ -ю задачу; на втором этапе производится уменьшение мощности множества на основе расчета оценок структурной значимости элементов ИСЭМ с учетом требований, возникающих в процессе функционирования (что позволяет определить степень влияния каждого из элементов системы на ее функциональность); на третьем этапе выбор единственного решения осуществляется путем определения оптимальных структур и параметров, обеспечивающих модификацию ИСЭМ с целью снижения структурной и функциональной избыточности. Для прореживания множества допустимых решений определяется эффективность полученных вариантов ИСЭМ на основе векторного подхода [10], при котором объект оценивается не в целом, а по результатам сравнения отдельных его свойств. Таким образом, появляется возможность формализации процесса принятия решений.



Рис. 1. Метод структурно-функционального синтеза (реструктуризации) ИСЭМ

Преимущество представленного метода, по сравнению с существующими [3-8], заключается в том, что он позволяет за счет более полного учета данных минимизировать функциональную избыточность элементов системы в составе одного решения по мере наращивания задач.

**3. Анализ работы ИСЭМ и критерии ее эффективности.** Загрязнение нефтью Черного моря, поверхностного слоя и донных отложений говорит о значительной устойчивой деградации экосистемы. Многие нефтедобывающие компании, в частности “Черноморнефтегаз”, заинтересованы в качественном экологическом мониторинге относительно своей деятельности. Для реорганизации ИСЭМ данного предприятия (рисунок 2), необходимо провести анализ данных, синтез, прогноз состояний, их оценку и т.п.

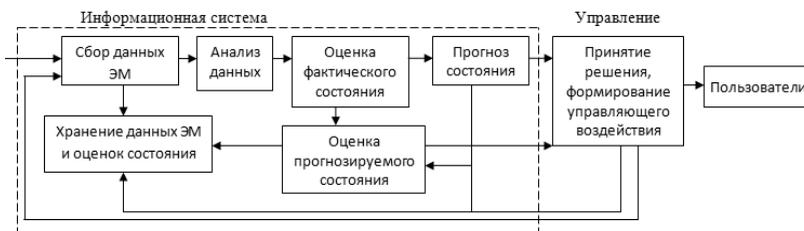


Рис. 2. Обобщенная структура информационной системы экологического мониторинга

На рисунке 2 показаны основные элементы ИСЭМ, соответствующие функциям своевременного обнаружения вредных компонентов и для сигнализации в том случае, если их концентрация превышает санитарные нормы, а также для контроля загрязнений.

Представленная ИСЭМ состоит из программных модулей и технических элементов, которые должны быть укомплектованы в корпус и перенесены на место разлива нефти. Превышение количества различных устройств (датчиков, обработчиков, радиотерминалов, преобразователей и т.д.) увеличивает время анализа данных (за счет программных модулей) и может не войти в корпус (за счет аппаратной части).

Данные о мониторинге состояния загрязнения Черного моря нефтяными углеводородами (среднегодовая и максимальная концентрация  $C^*$  (мг/л) и ПДК (предельно допустимая концентрация) загрязняющих веществ) в разных участках шельфа с 2012 г. по 2014 г. приведены в таблице 1. Данные получены в том числе на основании натуральных экспериментов, проведенных в Севастопольской гидрометеорологической обсерватории. Сбор и обработку представленных данных можно осуществить множеством способов, однако время модернизации ИСЭМ (в зависимости от поставленных целей) может быть различным.

Таблица 1. Данные о мониторинге состояния загрязнения Черного моря

Участки шельфа Черного моря	Измеряемые значения	2012		2013		2014	
		$C^*$ (мг/л)	ПДК	$C^*$ (мг/л)	ПДК	$C^*$ (мг/л)	ПДК
Юго-западный	Среднегод.	0,04	0,8	0,01	0,2	0,01	0,2
	Макс.	0,08	1,6	0,06	1,2	0,70	1,4
Юго-восточный	Среднегод.	0,17	3,4	0,26	5,2	0,24	5
	Макс.	0,78	15,6	0,86	17,2	0,66	13
Северо-западный	Среднегод.	0,14	2,8	0,17	3,4	0,23	5
	Макс.	1,1	22	0,78	15,6	0,88	18
Северо-восточный	Среднегод.	0,26	5,2	0,1	2	0,3	6
	Макс.	0,92	18,4	0,68	13,6	0,62	12
Прикерченский	Среднегод.	0,02	0,4	0,02	0,4	0,02	0,4
	Макс.	0,19	3,8	0,25	5	0,7	14

Добавление  $(n + 1)$ -го элемента может отрицательно сказаться на функциональности системы. Подобное возможно при реструктуризации ИСЭМ в реальном времени из-за существенного изменения исходных целей, например, срочной проверки концентрации нефти  $C^*(\text{мг/л})$  или превышении ПДК. В таком случае необходимо достичь не только максимального значения функции цели, но и минимального времени на реструктуризацию. При использовании предложенного в статье метода (рисунок 1) время этих мероприятий можно значительно сократить.

При анализе работы, ИСЭМ (с рисунка 2) рассматривается с точки зрения множеств элементов и их функций (рисунок 3).



Рис. 3. Обобщенная схема реструктуризации системы

Где  $G = \{g_1, \dots, g_m\}$  — исходное множество структурных компонент системы;  $F = \{f_1, \dots, f_n\}$  — исходное множество функций системы.  $G' = \{g'_1, \dots, g'_k\}$  — измененное множество структурных компонент системы (не обязательно непересекающееся с  $G$ ),  $F' = \{f'_1, \dots, f'_l\}$  — измененное множество функций системы (не обязательно непересекающееся с  $F$ );  $G' \in D$ , где  $D$  — множество допустимых вариантов ИСЭМ. Система мониторинга рассматривается в виде исходного множества

$$S = \langle F, G, R, \Theta, T \rangle, \quad (1)$$

где  $R$  — множество ресурсов (программных, аппаратных);  $\Theta$  — множество задач, решаемых системой;  $T$  — кортеж требований к системе.

Для описания функционирования системы с требованиями вводятся ряд параметрических ограничений на качество (достоверность, точность и т.п.) информации:  $\xi_{\tau_i}^X \geq \xi^X$ ,  $\xi_{\tau_i}^Y \geq \xi^Y$ , где  $X$  и  $Y$  — исходная и обработанная информация соответственно,  $\xi^X$  и  $\xi^Y$  — начальные показатели качества входных и выходных данных,  $\xi_{\tau_i}^X$  и  $\xi_{\tau_i}^Y$  — требуемые показатели качества входных и выходных данных мониторинга.

Требования к системе и уровень их важности могут быть представлены совокупностью:

$$T = \langle f_1, \dots, f_l; \xi_{\tau_i}^X, \xi_{\tau_i}^Y, t_i; g_1, \dots, g_k; R \rangle, \quad (2)$$

$$\tau_i = k^f \sum_1^n f_i + k^{\xi^X} (\max \xi^X) + k^{\xi^Y} (\max \xi^Y) + k^t (\min t_i) + k^g (\min g_k) + k^R (\min R_m)$$

где  $f_1, f_i$  — требуемые функции системы мониторинга;  $t_i$  — время реализации  $i$ -задачи мониторинга;  $g_1, \dots, g_k$  — запланированное множество структурных элементов системы (при необходимости);  $R$  — множество ресурсов ИСЭМ;  $k$  — показатель уровня важности требований (0 или 1).

При реализации реакции на требование система должна обеспечивать решение задач из множества допустимых  $F \subseteq \Theta$ , то есть ИСЭМ должна удовлетворять условию:

$$\Theta = \bigcup_{\forall k} \Theta_k(v_k) \mid \tau_i \rightarrow \left\{ F_{v_k}^{\tau_i} \right\}, \quad (3)$$

где  $v_k$  — некоторый вариант системы;  $\Theta_k(v_k)$  — множество задач для  $k$ -го варианта системы,  $k = \overline{1, K}$ ,  $K \in N$ ,  $\tau$  — совокупность требований, которые могут быть обслужены  $k$ -м вариантом системы;  $\tau_i$  — текущее требование к системе мониторинга;  $i = \overline{1, I}$   $I \in N$  ( $K, N$  — множество натуральных чисел);  $\left\{ F_{v_k}^{\tau_i} \right\}$  — функциональность системы (множество функций, реализуемых  $k$ -м вариантом, исходя из требований  $\tau_i$ ,  $F_{v_k}^{\tau_i} = \{F_{\min}, F_1 \dots F_n\}$ ).

Для оценки и отбора вариантов ИСЭМ после реструктуризации применяется критериальный подход. Под *критериями эффективности* понимаются количественные показатели свойств объекта, числовые значения которых являются мерой качества оценки объекта по отношению к данному свойству. Для современных ИСЭМ одной из основных особенностей является то, что их параметры и структуры на различных этапах жизненного цикла изменяются под действием объективных и субъективных причин. Другими словами, происходит постоянная структурная динамика ИСЭМ [11]. В этих условиях для повышения (сохранения) уровня работоспособности и возможностей ИСЭМ необходимо осуществлять контроль за следующими критериями:

– *достоверность информации*

$$PD(t_i) = 1 - P_{i\_ош}(t_i), \quad (4)$$

где  $P_{i\_ош}(t_i)$  — вероятность ошибочной информации за время выполнения  $i$ -го требования  $t_i$ ;

– своевременность реализации  $i$ -го требования

$$P_T(t_i) = 1 - \frac{T_{jk}(t_i) + T_{rk}(t_i)}{2}, \quad (5)$$

где  $T_{jk}(t_i)$  — временной ресурс формирования решения,  $T_{rk}(t_i)$  — временной ресурс реализации решения,  $t_i$  — время выполнения  $i$ -го требования, при

$$T_{jk}(t_i) = \frac{t_{jk} - t_0}{T_M - T_m}, \quad T_{rk}(t_i) = \frac{t_{rk} - t_0}{T_M - T_m}, \quad (6)$$

где  $t_0$  — время получения информации,  $t_{jk}$  — время окончания формирования решений для  $k$ -й ситуации,  $t_{rk}$  — время реализации решения,  $T_M$  и  $T_m$  — максимальная и минимальная длительности периода времени от момента начала формирования решения до момента его реализации;

– надежность ИСЭМ

$$P_N(t_i) = \Pr\{t_i \leq t_s, \phi(x) = 1\}, \quad (7)$$

где  $t_s$  — общее время работы ИСЭМ или ее варианта,  $\phi(x) = 1$  — значение структурной функции системы в момент реализации требования.

Вычисление критериев осуществляется при ограничениях  $t_i \leq t_{cp}$ , где  $t_{cp}$  — среднее время выполнения  $i$ -го требования,  $T_{cj}$  — время цикла ИСЭМ ПС:

$$t_{cp} = \frac{t_s}{\sum_{i=1}^n \tau_i} = \frac{\sum_{j=1}^k T_{c_j}}{\sum_{i=1}^n \tau_i}. \quad (8)$$

Требуется построить такое множество вариантов ИСЭМ и выбрать единственное решение (по заданным требованиям  $\tau_i$ ), характеризуемых множествами  $F_{v_k}^{\tau_i}$  и  $\Theta_k(v_k)$ ,  $k \in \{1, \dots, K\}$ , при котором эффективность реструктурированной системы максимальна:

$$Es(\tau_i) = \varphi(G'(\tau_i), F'(\tau_i)) \rightarrow \max. \quad (9)$$

В представленной многокритериальной задаче, для аналитической оценки эффективности иерархических структур, предлагается применить метод вложенных скалярных свертков [10].

Коэффициенты приоритета определялись по формуле:

$$p_{ik}^{(j-1)} = c_{ik} / \sum_{i=1}^{n_k^{(j-1)}} c_{ik}, \quad k \in [1, n^{(j)}], j \in [2, m], \quad (10)$$

где  $p_{ik}^{(j-1)}$  —  $i$ -я компонента вектора приоритета критерия на  $(j-1)$ -м уровне иерархии при расчете оценки эффективности  $k$ -го свойства  $j$ -го уровня;  $c_{ik}$  — оценка значимости  $i$ -го элемента  $(j-1)$ -го уровня для  $k$ -го свойства  $j$ -го уровня (определяется экспертами или лицом, принимающим решения (ЛПР), по шкале баллов).

Качественная (лингвистическая) оценка варианта получается сопоставлением оценки из рекуррентной формулы (10) с обращенной нормированной фундаментальной шкалой [12].

**4. Метод решения задачи.** Пусть  $G'_{\min}$  — базовая структура ИСЭМ (рисунок 4) с минимально-необходимым множеством функций  $F_{\min} = \{f_{E\_ДАТ}, f_{E\_ПСД}, f_{E\_ОД}, f_{E\_ФП}, f_{E\_СД}, f_{E\_СК}, f_{E\_ОП}\}$ , необходимая для решения минимального множества задач  $\Theta^*_{\min}$ .

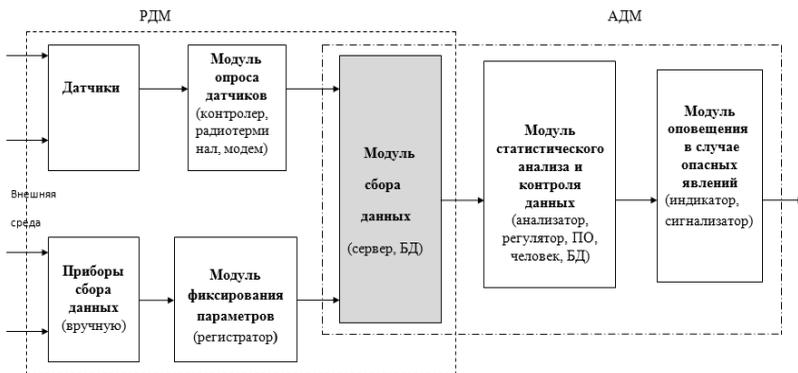


Рис. 4. Обобщенная структура ИСЭМ с минимально-необходимым множеством функций

При реализации  $(i+1)$ -задачи для ИСЭМ (рисунок 1), возможны:  $\Theta_{i+1} \rightarrow G_i \times G_{i+1}$  — структурная избыточность,  $\Theta_{i+1} \rightarrow F_i \times F_{i+1}$  — функциональная избыточность. В случае  $(i+1)$ -задачи рассматривается ИСЭМ с максимальной функциональностью  $F_{\max} = \{f_{E\_дат}, f_{E\_ПСД}, f_{E\_КПД}, f_{E\_ФП}, f_{E\_ОД}, f_{E\_СД}, f_{E\_АН}, f_{E\_УП}, f_{E\_КК}, f_{E\_ОП}, f_{E\_ХР}, f_{E\_ПР}\}$  (рисунок 5), где  $E$  — взаимосвязанные между собой элементы системы, представленные программными модулями с определенным набором функций.

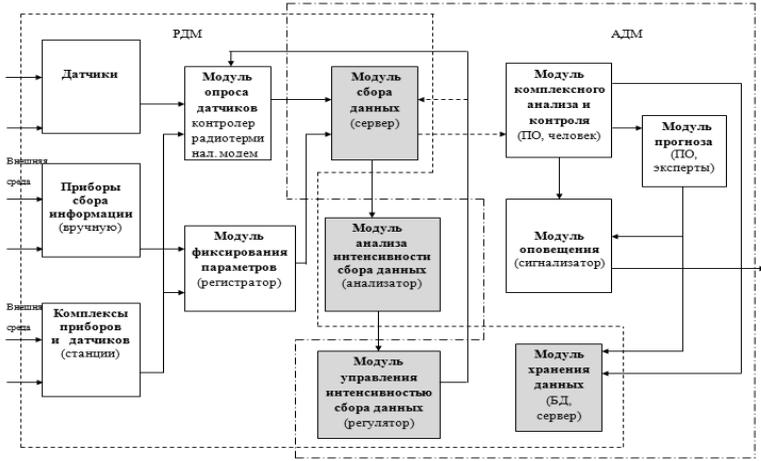


Рис. 5. ИСЭМ с максимальной функциональностью

Для формирования вариантов системы с различной функциональной нагрузкой применяется метод ранжировки экспертных оценок по отношению к каждому элементу. Ставится соответствие  $F_i$  и  $b_{ij}$ , где  $b_{ij}$  — весовые коэффициенты элементов системы:

$$b_{ij} = \frac{w_{ij}}{\sum_{i=1}^n w_{ij}}, \text{ при } w_{ij} = \frac{1}{m} \cdot \sum_{j=1}^l w_{ij}, \quad (11)$$

где  $w_{ij}$  — вес элемента в системе,  $m$  — минимально-допустимое количество экспертов.

На основе этих соответствий строится аддитивный критерий:

$$E^F = \sum_{i=1}^n b_{ij} g_i.$$

Генерируется множество вариантов ИСЭМ с функциональностью  $F = \{F_{\min}, F_{g1} \dots F_{gn}\}$  где  $F_{\min}$  — минимально-необходимое множество функций в вариантах ИСЭМ.

Для нахождения единственного варианта решения, при увеличении числа элементов ИСЭМ и количества генерируемых вариантов, предложено использовать индексные (структурные) матрицы мер сходства и включения вариантов, с учетом установленного ЛПР функционального ограничения  $\Delta$  [9]. Под мерой понимается приращение числа элементов к числу структур ИСЭМ. Общий вид структурной матрицы для пары описаний  $S_i$  и  $S_j$ :

$$B = \left\| x_{ij} \right\|_{i=1, p}^{j=1, 2}. \quad (12)$$

На основе (12) рассчитываются матрицы мер сходства  $C(S_i, S_j)$  и включения  $W(S_i, S_j)$  (13,14):

$$C(S_1, S_2) = \frac{2 \sum_{i=1}^p x_{i1} x_{i2}}{\sum_{i=1}^p x_{i1} + \sum_{i=1}^p x_{i2}}, \quad (13)$$

где  $x_{i1}x_{i2}$  — одно из двух значений рассматриваемых вариантов структурной матрицы ИСЭМ 0 или 1;

$$W(S_2; S_1) = \frac{m(S_1 \cap S_2)}{m(S_1)}, \quad W(S_1; S_2) = \frac{m(S_1 \cap S_2)}{m(S_2)}, \quad (14)$$

где  $m(S) = \sum_{i=1}^p x_i$  — обозначение числа элементов множества,

$m(S_1 \cap S_2) = \sum_{i=1}^p x_{i1}x_{i2}$  — количество элементов пересечения двух множеств  $S_1$  и  $S_2$ .

Отношение сходства или включения задается в следующем виде:

$$\begin{aligned} < C_{\Delta}, J >= \{S_i, S_j \in J \mid C(S_i, S_j) \geq \Delta\}, \\ < W_{\Delta}, J >= \{S_i, S_j \in J \mid W(S_i, S_j) \geq \Delta\}, \end{aligned} \quad (15)$$

где  $\Delta$  — соответствующее, заданное ЛПР, значение меры включения  $W_{\min}$  или  $W_{\max}$ , или базовой меры включения  $W_{const}$ , при  $W_{\min} \neq 0$

$0 < W_{const} \leq 1$  или  $W_{\min} < W_{const} \leq W_{\max}$ . Значение  $W_{const}$ ,  $W_{\min}$  и  $W_{\max}$  определяются ЛПР, исходя из условий ( $v_k$  — наилучший (оптимальный) вариант решения для  $i$ -го требования):

$$\begin{aligned} G'(v_k) &\rightarrow \max_{v_k \in D'}, F'(v_k) \rightarrow \max_{v_k \in D'}, \\ G'(v_k) &\rightarrow \min_{v_k \in D'}, F'(v_k) \rightarrow \max_{v_k \in D'}, \\ G'(v_k) &\rightarrow \min_{v_k \in D'}, F'(v_k) \rightarrow \min_{v_k \in D'}, \\ G'(v_k) &\rightarrow \max_{v_k \in D'}, F'(v_k) \rightarrow \min_{v_k \in D'}. \end{aligned}$$

При этом  $F^{RDM}$  — множество функций, необходимых для реализации заданного условия работы подсистемы регистрации данных (РДМ) в ИСЭМ,  $F^{RDM} \in F$ , а  $F^{ADM}$  — множество функций, необходимых для реализации заданного условия работы подсистемы анализа данных (АДМ) ИСЭМ, причем  $F^{ADM} \in F$  и  $F^{RDM} \cup F^{ADM} = F$ .  $f_i^{RDM}$  — множество функций, соответствующих  $ER_i$ . Аналогично,  $f_i^{ADM}$  — множество функций, соответствующих  $EA_j$ ,  $i = \overline{1, n}$ ,  $j = \overline{1, m}$ .  $F^{RDM}$  и  $F^{ADM}$  определяются формулами:

$$F^{RDM} = \bigcup_{i=1}^n f_i^{RDM}, \quad F^{ADM} = \bigcup_{i=1}^n f_i^{ADM},$$

где  $ER_i$ ,  $EA_j$  — элементы (программные модули) в подсистемах регистрации и анализа данных соответственно. Возможна ситуация, когда при добавлении  $(n+1)$ -го элемента он привнесет новые функции  $f$ , тогда  $f_{n+1}^{RDM} - f_i^{RDM} = \{f \mid f \in f_{n+1}^{RDM}, f \notin f_i^{RDM}\}$ .

Соответственно,  $F^{(RDM)*} - F_i^{RDM} = \{f \mid f \in F^{(RDM)*}, f \notin F_i^{RDM}\}$ , где

$F^{(RDM)*}$  — множество функций, необходимых для реализации заданного условия работы подсистемы регистрации данных мониторинга с добавлением  $(n+1)$ -го элемента. Если количество функций с привнесенным элементом больше исходного количества функций  $|f_{n+1}^{RDM}| \geq |f_i^{RDM}|$  и они переходят в область подсистемы анализа данных мониторинга (рисунок 6), необходима реструктуризация ИСЭМ.

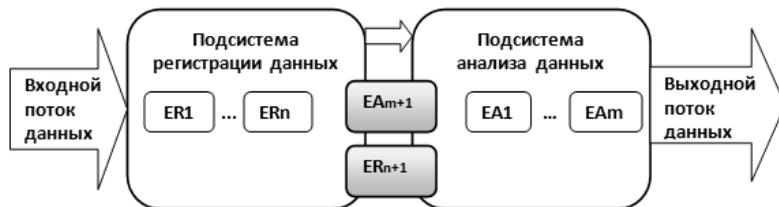


Рис. 6. Переход функций из подсистемы регистрации данных мониторинга в подсистему анализа данных мониторинга

В таком случае, рассматривается ИСЭМ с максимальной функциональностью (рисунок 6).

Исходя из средней оценки (степени) значимости функций элементов ИСЭМ с максимальной функциональностью (рисунок 6), в таблице 2 приведены весовые коэффициенты  $b_{ij}$  элементов (11), определяющие их важность в формировании требуемого варианта ИСЭМ.

Таблица 2. Экспертные оценки и весовые коэффициенты элементов ИСЭМ с максимальной функциональностью

Е Оценка	Е <sub>дат</sub> $g^1$	Е <sub>псд</sub> $g^2$	Е <sub>пси</sub> $g^3$	Е <sub>од</sub> $g^4$	Е <sub>кпд</sub> $g^5$	Е <sub>фп</sub> $g^6$	Е <sub>сд</sub> $g^7$	Е <sub>ск</sub> $g^8$	Е <sub>ли</sub> $g^9$	Е <sub>уи</sub> $g^{10}$	Е <sub>кк</sub> $g^{11}$	Е <sub>оп</sub> $g^{12}$	Е <sub>хр</sub> $g^{13}$	Е <sub>пр</sub> $g^{14}$
I эксперт	0,88	0,13	0,75	0,74	0,50	0,66	0,65	0,38	0,58	0,56	0,83	0,74	0,91	0,41
II эксперт	0,83	0,21	0,81	0,79	0,49	0,67	0,64	0,36	0,56	0,54	0,79	0,74	0,89	0,44
III эксперт	0,82	0,17	0,82	0,73	0,42	0,65	0,69	0,40	0,54	0,58	0,85	0,68	0,90	0,46
Вес элемента в система $w_{ij}$	0,84	0,17	0,79	0,75	0,47	0,66	0,66	0,38	0,56	0,56	0,82	0,72	0,90	0,44
Весовой коэфф. $b_{ij}$	0,10	0,02	0,09	0,09	0,05	0,08	0,08	0,04	0,06	0,06	0,09	0,08	0,10	0,05

На основе аддитивного критерия определяется ИСЭМ с искомой функциональностью:

$$E^F = 0,1(g_1 + g_{13}) + 0,09(g_3 + g_4 + g_{11}) + 0,08(g_6 + g_8 + g_{12}) + 0,06(g_9 + g_{10}) + 0,05(g_5 + g_{14}) + 0,04g_7 + 0,02g_{12}.$$

С помощью приведенного критерия и  $F_{\min}$  (рисунок 5), получено множество допустимых вариантов системы с различной функциональной нагрузкой (рисунок 7).

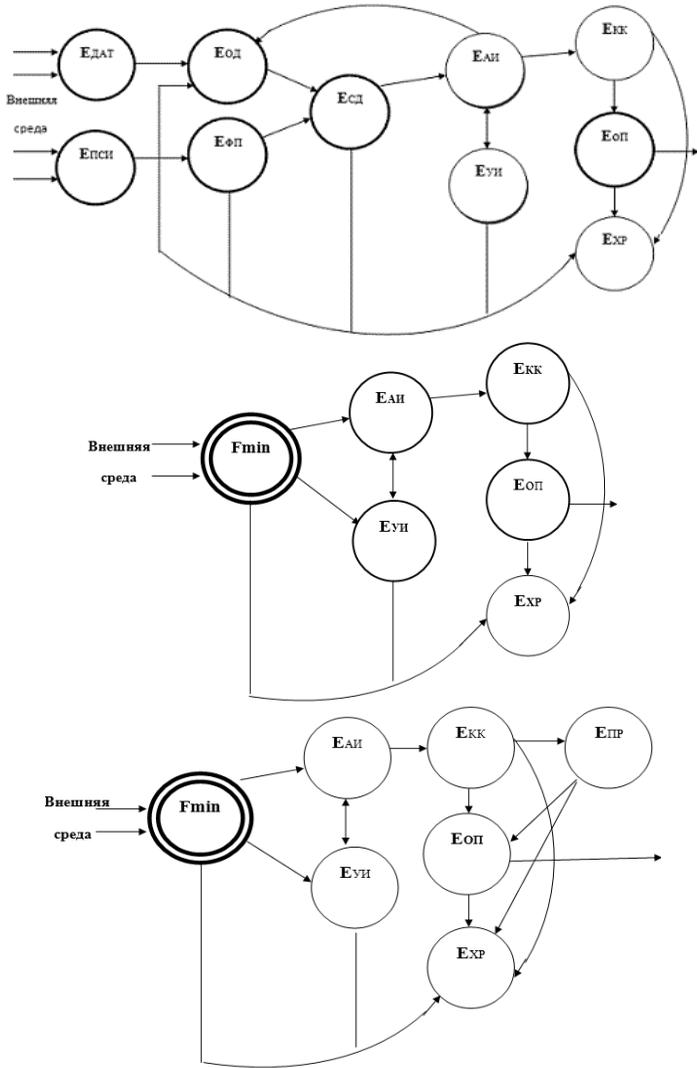


Рис. 7. Множество допустимых вариантов системы с учетом минимально необходимого множества функций

Коэффициент пересечения подмножеств функций в подсистемах регистрации и анализа данных мониторинга в области допустимых решений:

$$f_{n+1} \cap f_i = \{z \mid z \in f_{n+1}, z \in f_i\}, \quad \Pi_p = \frac{zV_p}{\sum_{i=1}^z V_i}, \quad (16)$$

$$F_{\min} = \min(\{f_1^{RDM}, f_2^{RDM} \dots f_n^{RDM}\} \cap \{f_1^{ADM}, f_2^{ADM} \dots f_m^{ADM}\}),$$

где  $\Pi_p$  — совокупный коэффициент пересечения,  $V_p$  — множество совокупных областей пересекающихся признаков подсистем,  $z$  — число пересекающихся информационных признаков (функций элементов подсистем варианта ИСЭМ),  $V_i$  — множество совокупных областей пересекающихся признаков в вариантах ИСЭМ при

$$F^{RDM} \cap F^{ADM} = F_{\min}, \quad (17)$$

где  $F_{\min}$  — конечное множество, имеющее систему подмножеств  $F_j \subset F_{\min}$ , причем такую, что  $\bigcup_{j=1}^k F_j = F_{\min}$  и  $f_k \in F_j$  ( $f_k$  — совокупный набор функций  $f_i^{RDM}$  и  $f_j^{ADM}$  в подмножестве  $F_j$ ). Каждому из подмножеств  $F_j$  поставлен в соответствие коэффициент  $\Pi_p$  и число пересекающихся информационных признаков —  $z$  (данные параметры определяются экспертами и проверяются на тестовых наборах).

По данным значениям получены варианты пересечения функциональных признаков в подсистемах регистрации и анализа данных мониторинга в виде графиков функций  $F^{RDM}$  и  $F^{ADM}$  (рисунок 8), некоторые из которых имеют области Парето-оптимальных решений, значит, условие (17) выполняется.

Для нахождения единственного варианта решения в области  $D'$  строятся структурные матрицы мер сходства и включения вариантов ИСЭМ (13,14), с учетом установленного ЛПР функционального ограничения  $\Delta = W_{\max} = 0.91$ .

Рассчитанные для пары вариантов S1 и S2 меры включения имеют следующие значения:  $W(S1; S2) = 1$ ,  $W(S2; S1) = 0,64$ . Мера включения первого описания во второе (0,64) показывает, что первый объект "оригинальнее" второго, т.е. описание первого варианта содержит больше специфических признаков, чем описание второго. С помощью (4,5,7) выбран и построен единственный вариант ИСЭМ с учетом  $F_{\min}$  (рисунок 9).

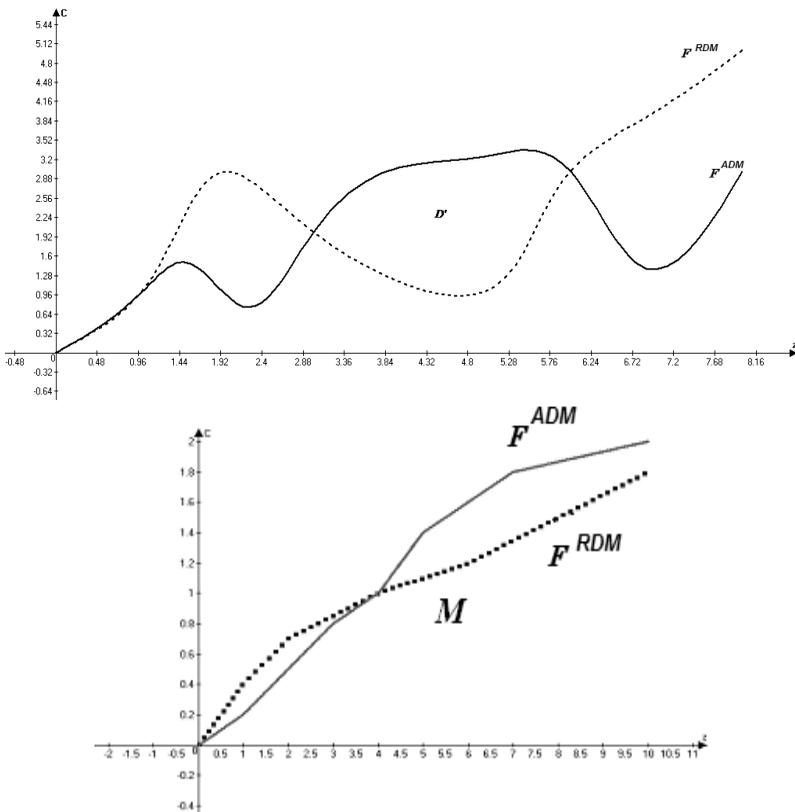


Рис. 8. Варианты пересечения функциональных признаков в подсистемах регистрации и анализа данных мониторинга

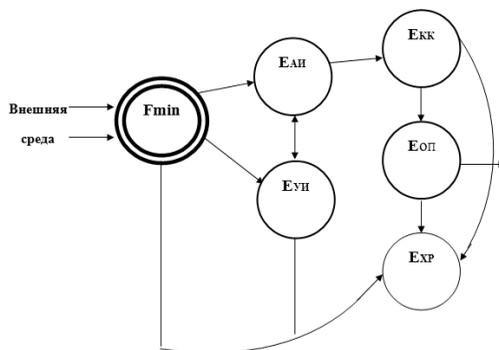


Рис. 9. Вариант ИСЭМ с учетом минимально-необходимого множества функций

Значения критериев эффективности и комплексные (аналитическая и качественная) оценки системы (10) приведены в таблице 3. ИСЭМ работает в режиме реального времени, что обеспечивает высокую степень ее оперативности. Данные мониторинга выдаются в минимальных временных интервалах (1-3 с.) и удобных для пользователя форматах. Полученные значения подтверждают результативность используемого метода, поскольку значительно сокращают сроки внедрения и адаптации системы, а также время выполнения задач в условиях своевременной реализации требований к ИСЭМ. При этом используются не все возможности ИС, что позволяет избежать избыточности данных при их обработке и повысить качество информации для оперативного принятия решений.

Таблица 3. Комплексные оценки значимости системы

Критерии эффективности ИСЭМ	Значения критериев эффективности ИСЭМ	Значения критериев эффективности варианта ИСЭМ
Достоверность информации	0,5	0,8
Своевременность	0,45	0,95
Надежность	0,625	0,8
Окупаемость	0,7	0,98
<i>Аналитическая оценка</i>	0,485	0,36
<i>Качественная оценка</i>	удовлетворительно	хорошо
<i>Временные интервалы и форматы выдачи данных ИС</i>		
<i>Исходная ИСЭМ</i>	15-30 мин.	.txt, .doc, .docx, .docm
<i>Вариант ИСЭМ</i>	1-3 с.	.txt, .doc, .docx, .docm, .pdf; .jpeg, .bmp; mp3, .gif; .mp4, QuickTime (.mov, .qt)

**5. Заключение.** В процессе реализации предложенного метода построена система поддержки принятия решений для случаев оперативной реструктуризации систем экологического мониторинга общего назначения, что позволило решать задачи снижения мощности множества, гибко реагируя на требования данного типа. Благодаря матрицам сходства и включения определяется наиболее подходящий для решения задачи реструктуризации вариант системы с учетом условий относительно требуемых структуры и функциональности. После решения основной задачи определения состава и функций элементов в системе, получено множество решений, которое затем прореживается на основе вновь введенных требований к структуре  $G$  системы  $S$ , в том числе и по снижению функциональной избыточности. Дальнейшее направление исследований связано с построением оценок эффективности системы при условиях переменной цикличности требований, что характерно для задач оперативного анализа ситуационных процессов.

## Литература

1. *Рябовая В.О., Доронина Ю.В.* Повышение эффективности систем экологического мониторинга // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2012. Вып. 4. № 6 (58). С. 41–44. Авторы 2012.
2. *Imboden D., Pfenninger S.* Introduction to Systems Analysis: Mathematically Modeling Natural Systems // Berlin, New York, Springer. 2013. vol. 8. pp. 235–252.
3. *Comella-Dorda S., Wallnau K., Seacord R.C., Robert J.* A Survey of Legacy System Modernization Approaches // Carnegie Mellon University. Tech. Note CMU/SEI-2000-TN-003. 2000. URL:<http://www.sei.cmu.edu/publications/documents/00.report/s/00tn003.html> (дата обращения: 16.01.2014).
4. *Доронина Ю.В.* Реинжиниринг мониторинговых информационных систем циклического типа // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2012. Вып. 1. № 62 (55). С. 12–14.
5. *Kazman Rick, Carriere Jeromy S.* View Extraction and View Fusion in Architectural Understanding // Proceedings of the Fifth International Conference on Software Reuse (ICSR). 1998. pp. 7–13.
6. *Kazman R., O'Brein L., Verhoef Ch.* Architecture Reconstruction Guidelines (SEI CMU) // CARNEGIE-MELLON UNIV PITTSBURGH PA SOFTWARE ENGINEERING INST. 2001. pp. 25–38.
7. *Терехов А.Н., Терехова А.А.* Автоматизированный реинжиниринг программ // Изд-во СПбГУ, 2000. 345 с.
8. Официальный сайт Института космических исследований РАН. URL: [www.d902.iki.rssi.ru/students/alekro/Dissertation/Papers/Reengineering/my\\_review.html](http://www.d902.iki.rssi.ru/students/alekro/Dissertation/Papers/Reengineering/my_review.html). (дата обращения: 16.01.2014).
9. *Доронина Ю.В., Рябовая В.О.* Метод структурно-функционального синтеза в задачах реструктуризации систем экологического мониторинга // Международный научно-технический журнал «Проблемы управления и информатики». 2013. №6. С. 79–89.
10. *Воронин А.Н.* Вложенные скалярные свертки векторного критерия // Международный научно-технический журнал «Проблемы управления и информатики». 2003. № 5. С. 10–21.
11. *Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М.* Интеллектуальные технологии мониторинга состояния и управления структурной динамикой сложных технических объектов // М.: 2005. 291 с.
12. *Заде Л.* Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений // М.: Мир. 1976. 165 с.

## References

1. Ryabovaya V.O., Doronina J.V. [Improving the efficiency of environmental monitoring systems]. *Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovih tehnologij – East European Journal of advanced technologies*. 2012. vol. 4. no. 6(58). pp. 41–44. (In Russ.).
2. Imboden D., Pfenninger S. Introduction to Systems Analysis: Mathematically Modeling Natural Systems. *Springer Science & Business Media*. 2013. no. 8. pp. 235–252.
3. Santiago C.-D., Wallnau K., Seacord R.C., Robert J. A Survey of Legacy System Modernization Approaches. Carnegie Mellon University. Tech. Note CMU. SEI-2000-TN-003. 2000.
4. Doronina J.V. [Reengineering of information systems monitoring the cyclic type]. *Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovih tehnologij. – East European Journal of advanced technologies*. 2012. vol. 1. no. 62 (55). pp. 12–14. (In Russ.).
5. Kazman R., Carriere J.S. View Extraction and View Fusion in Architectural Understanding. Proceedings of the Fifth International Conference on Software Reuse (ICSR). 1998. pp. 7–13.
6. Kazman R., O'Brein L., Verhoef Ch. Architecture Reconstruction Guidelines (SEI CMU). 2001. pp. 25–38.

7. Terehov A.N., Terehova A.A. *Avtomatizirovannyj reinzhiniring programm* [Automated re-engineering of program]. S.-Peterburg. 2000. 345 p. (In Russ.).
8. Official'nyj sajt Instituta kosmicheskikh issledovanij RAN. [Official web site of The Institute of Space Research]. Available at: [www.d902.iki.rssi.ru/students/alekro/Dissertation/Papers/Reengineering/my\\_review.html](http://www.d902.iki.rssi.ru/students/alekro/Dissertation/Papers/Reengineering/my_review.html). (accessed 16.01.2014). (In Russ.).
9. Doronina J.V., Rjabovaja V.O. [The method of structural and functional problems in the restructuring of environmental monitoring systems]. *Mezhdunarodnyj nauchno-tehnicheskij zhurnal «Problemy upravlenija i informatiki» – International Scientific and Technical Journal "Problems of control and informatics"*. 2013. no 6. pp. 79–89. (In Russ.).
10. Voronin A.N. [Nesting scalar convolution of the vector criterion]. *Mezhdunarodnyj nauchno-tehnicheskij zhurnal «Problemy upravlenija i informatiki» – International Scientific and Technical Journal "Problems of control and informatics"*. 2003. No 5. pp. 10–21. (In Russ.).
11. Ohtilev M.Ju., Sokolov B.V., Yusupov R.M. *Intellektual'nye tehnologii monitoringa sostojanija i upravlenija strukturnoj dinamikoj slozhnyh tehnicheskikh objektov* [Intelligent technology for monitoring the status and management of the structural dynamics of complex technical objects]. Moscow, 2005. 291 p. (In Russ.).
12. Zade L. *Ponjatie lingvisticheskoj peremennoj i ego primenenie k prinjatiju priblizhennyh reshenij* [The concept of linguistic variable and its application to decision-making close]. Moscow: Mir, 1976. 165 p. (In Russ.).

**Доронина Юлия Валентиновна** — д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры информационных систем института информационных технологий и управления в технических системах, Севастопольский государственный университет (СевГУ). Область научных интересов: совершенствование и реинжиниринг информационных систем, системная инженерия, технология СУБД, системы поддержки принятия решений. Число научных публикаций — 100. [juvado@yandex.ru](mailto:juvado@yandex.ru); ул. Университетская, 33, Севастополь, 299053; п.т.: +7(8692)435-038.

**Doronina Julia Valentinovna** — Ph.D., Dr. Sci., professor, professor of the information systems department of institute of information technologies and management in the technical systems, Sevastopol State University (SEVGU). Research interests: perfection and reengineering of the informations systems, systems engineering, technologies of databases, systems of support of making a decision. The number of publications — 100. [juvado@yandex.ru](mailto:juvado@yandex.ru); 33, Str. University, Sevastopol, 299053; office phone: +7(8692)435-038.

**Рябовая Валентина Олеговна** — старший преподаватель кафедры информационных систем института информационных технологий и управления в технических системах, Севастопольский государственный университет (СевГУ). Область научных интересов: системный анализ, теория вероятности и экспертных оценок, системы поддержки принятия решений, применение методов структурной оптимизации в системах мониторинга. Число научных публикаций — 35. [valentina\\_rb@mail.ru](mailto:valentina_rb@mail.ru); ул. Университетская, 33, Севастополь, 299053; п.т.: +7(8692)435-038.

**Ryabovaya Valentina Olegovna** — senior lecturer of the information systems department of institute of information technologies and management in the technical systems, Sevastopol State University (SEVGU). Research interests: system analysis, probability theory and expertise, decision support systems, application of structural optimization in monitoring systems. The number of publications — 35. [valentina\\_rb@mail.ru](mailto:valentina_rb@mail.ru); 33, Str. University, Sevastopol, 299053; office phone: +7(8692)435-038.

## РЕФЕРАТ

### *Доронина Ю.В., Рябовая В.О.* **Метод модернизации информационных систем экологического мониторинга на основе анализа их функциональной нагрузки.**

Разработка и развитие методов поддержки принятия решений в системах экологического мониторинга осуществляется с целью повышения эффективности их функционирования. На основе информационной модели системы мониторинга с переменной структурой (СМ ПС) решены основные задачи поддержки принятия решений и разработан метод, повышающий эффективность ее функционирования. Представленный метод модернизации СМ основан на: генерации вариантов СМ ПС, позволяющей определить связанные между собой элементы, относящиеся к разным подсистемам; оценке структурной значимости элементов СМ ПС с учетом требований, возникших в процессе функционирования системы; выборе оптимальных структур и параметров СМ ПС в соответствии с множеством их функций. На примере подсистем регистрации и анализа данных создана информационная технология поддержки принятия решений в системах мониторинга, требующая минимальных затрат и улучшающая такие критерии эффективности как надежность системы, достоверность и своевременность информации. Разработанный метод сокращает время выполнения поставленных задач вдвое и обеспечивает своевременное информирование о параметрах СМ, изменивших свои значения.

## SUMMARY

### *Doronina J.V., Ryabovaya V.O.* **Method for Modernizing Information Systems for Environmental Monitoring Based on Their Functionality.**

Design and development of decision support methods for environmental monitoring systems is carried out to improve the efficiency of their operation. Based on the information model of a monitoring system with variable structure (MS VS), the main tasks of supporting decision-making are solved, and a method increasing the efficiency of system's functioning is developed. The presented method for modernization of a monitoring system is based on: MS VS options generation, allowing one to identify the interconnected elements belonging to different sub-systems; assessment of the significance of the structural elements of the MS VS to meet the requirements encountered in the functioning of the system; selection of the optimal structures and parameters of MS VS in accordance with a variety of functions. Using the example of data recording and analysis sub-systems, information technology is created to support decision-making processes in systems for monitoring, which requires minimal cost and improve the effectiveness of such criteria as the reliability of the system, the accuracy and timeliness of information. The developed method reduces tasks performance time in half and provides timely information on the MS settings, which have changed their values.