

# Методический подход к задаче синтеза и оценке эффективности автоматизированной системы геофизического обеспечения

Ю.А. Полушковский, В.В. Кузнецов, И.В. Суровцева, В.О. Скрипачев, В.О. Умнов

**Аннотация.** Принятие обоснованных управленческих решений при эксплуатации сложных технических систем сопряжено, в частности, с необходимостью оперативного мониторинга внешних условий, что, в свою очередь, обуславливает прием и обработку большого объема разнородной информации от множества источников, поступающих по нескольким направлениям информационного обмена. На примере геофизического обеспечения заинтересованных служб - показана необходимость создания соответствующей автоматизированной системы. Система геофизического обеспечения авторами рассматривается как подсистема двух систем более высокого уровня: с одной стороны - системы-источника исходных данных (например, автоматизированная система информационного обмена Росгидромета, других ведомств), и с другой - системы-потребителя выходной информационной продукции. Предложена методика структурного синтеза автоматизированной системы геофизического обеспечения. Определены показатели информационной эффективности системы (информационная оперативность, информационная достоверность и информационная полнота) и способы ее оценки. Предложен методический подход по синтезу (выбору рационального состава комплексов технических средств) автоматизированной системы геофизического обеспечения при ограничении стоимости ее создания. При выборе рационального варианта системы по соотношению «информационная эффективность-стоимость» применен подход к анализу вариантов с использованием безусловного и условного критериев предпочтений. Оценка качества различных вариантов реализации технической структуры системы проведена с применением экспериментальных методов, экспертной оценки и метода сравнения с аналогом (неавтоматизированным). Обоснованы перспективы дальнейших исследований.

**Ключевые слова:** автоматизированная система, комплексы технических средств, геофизическая информация, структурный синтез, показатели

Статья получена 6 августа 2017.

Ю. А. Полушковский, к.т.н., ведущий научный сотрудник, Московский технологический университет (МИРЭА), Москва, Россия (e-mail: polushkovskij@mirea.ru).

В. В. Кузнецов, к.т.н., заведующий кафедрой ОЭПиС, Московский технологический университет (МИРЭА), Москва, Россия (e-mail: kuznetsov@mirea.ru).

И. В. Суровцева, ведущий инженер, Московский технологический университет (МИРЭА), Москва, Россия (e-mail: surovceva@mirea.ru).

В. О. Скрипачев, к.т.н., ведущий научный сотрудник, Московский технологический университет (МИРЭА), Москва, Россия (e-mail: skripachev@mirea.ru).

В. О. Умнов, к.т.н., начальник отдела, Московский технологический университет (МИРЭА), Москва, Россия (e-mail: umnov@mirea.ru).

информационной эффективности, критерий «стоимость-эффективность», коэффициент успешности, метод экспертной оценки, условный и безусловный критерии предпочтений.

## I. ВВЕДЕНИЕ

Прием и обработка большого объема разнородной информации от множества источников, поступающих по нескольким направлениям информационного обмена немислимы без широкого внедрения технологических процессов автоматизации.

Создание автоматизированных систем информационной поддержки управленческих решений сопряжено с трудностью их синтеза, основанного на выполнении требований по выбору рациональной структуры, с одной стороны, и соблюдение условий по ограничениям стоимости систем – с другой. Следовательно, необходимо выработать научно-методический подход к задаче синтеза перспективных автоматизированных систем.

Для оперативного учета потребителями параметров окружающей среды в целях повышения эффективности их деятельности необходима автоматизация процессов сбора, обработки и распределения геофизической информации, что возможно посредством создания автоматизированной системы геофизического обеспечения (АС ГФО) [1].

Актуальность создания АС ГФО обусловлена:

- неблагоприятными воздействиями факторов окружающей среды на функционирование космических аппаратов, в том числе их оптико-электронные комплексы, а также на наземные электро- и радиотехнические системы;

- отставанием от зарубежных аналогов существующих отечественных систем сбора, обработки и распределения геофизической информации, что связано с возросшими требованиями потребителей к объему, достоверности и оперативности получения такой информации.

Система геофизического обеспечения авторами рассматривается как подсистема систем более высокого уровня (рисунок 1): система-источник информации (например, автоматизированная система информационного обмена Росгидромета, других ведомств) и система-потребитель информации.



Рисунок 1 – Связь подсистемы геофизического обеспечения с системами более высокого уровня

При построении АС ГФО будем учитывать [2]:

- требования к автоматизированной системе, исходя из анализа современного состояния информационного обеспечения отечественных потребителей геофизической информацией;
- информативность существующих источников, состав и объем исходных данных, а также периодичность их поступления;
- показатели и критерии оценки эффективности перспективной автоматизированной системы, а также результаты сравнения с существующими системами.

Поскольку АС ГФО - это информационная система, то ее качество определяется информационной эффективностью ( $\mathcal{E}_c$ ). При этом  $\mathcal{E}_c$  характеризуется показателями: информационная оперативность  $T_c$ , информационная достоверность  $D_c$  и информационная полнота  $M_c$ , что в общем виде представляется выражением:

$$\mathcal{E}_c = \mathcal{E}(T_c, D_c, M_c)$$

Задача проведенного исследования заключается в обосновании методического подхода к синтезу и оценке эффективности АС ГФО, основанной на выборе рационального состава привлекаемых комплексов технических средств.

## II. МЕТОДИКА СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ГЕОФИЗИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Методический подход к синтезу перспективной автоматизированной системы геофизического обеспечения представляется следующим образом.

На первом этапе определяются совокупные исходные сведения  $r$  на входе системы, доступные к получению ею со всех источников за некоторый интервал времени и необходимые потребителю для принятия управленческих решений. Рассматриваем  $r$  как подмножество известного множества параметров  $R$ , описывающих состояние внешней среды в течение длительного интервала времени. То есть  $r \in R$ .

На втором этапе получаем  $r_u = F(r, s, p, x)$ , при  $r_u \in R_u$ , где  $r_u$  – геофизическая информация на выходе системы, необходимая потребителю для принятия управленческих решений в интервале времени;  $R_u$  – множество доступных от всех источников сведений о

состоянии окружающей среды на длительном интервале времени;  $s$  – структура системы, при этом  $s \in S$ , где  $S$  – совокупность возможных вариантов структуры системы;  $p$  – параметры системы;  $x$  – состояние системы.

На третьем этапе определяются показатели информационной эффективности  $\mathcal{E}_c$  системы:

$$\begin{aligned} T_c &= T(s, p, x, r_u) \\ D_c &= D(s, p, x, r_u) \\ M_c &= M(s, p, x, r_u) \end{aligned}$$

Каждый показатель оценивается следующим образом [3]:

1. Показатель информационной оперативности системы ( $T$ ) отражает суммарную продолжительность процессов сбора и обработки исходных данных и описывается выражением:

$$T = T_{пр}(V_{полн}) + T_{об}(V_{необх}) + T_{вп} + T_d,$$

где  $T_{пр}(V_{полн})$  – продолжительность автоматизированных процессов сбора полного объема  $V_{полн}$  исходных данных;

$T_{об}(V_{необх})$  – продолжительность предварительной обработки полного объема  $V_{необх}$ , необходимого для разработки выходных информационных продуктов;

$T_{вп}$  – продолжительность подготовки выходных информационных продуктов;

$T_d$  – продолжительность доведения их до потребителя.

При этом:

$$T_{пр} = \sum_{i=1}^n t_i(v_i)$$

$$T_{об} = \sum_{j=1}^m t_j(v_j)$$

где  $n$  и  $m$  – соответственно число принятых и обработанных сообщений для выполнения целевой функции АС ГФО;

$t_i(v_i)$  – продолжительность приема  $i$ -го сообщения в составе полного потока поступающих от источника данных;

$t_j(v_j)$  – продолжительность обработки  $j$ -го сообщения из числа необходимых для выполнения целевой функции.

2. Показатель информационной полноты ( $M$ ) отражает достаточность того объема данных, которые содержатся в составе входного информационного потока, для выполнения системой целевой функции. Полнота информации может быть представлена условием:

$$\bigcup_{j=1}^m v_j \in \bigcup_{i=1}^n v_i, \quad m < n,$$

где  $v_i$  – необходимое для выполнения целевой

функции одиночное сообщение в составе информационного потока;  $v_j$  – принятое одиночное сообщение в составе информационного потока.

Проведенный сравнительный анализ существующей и перспективной технологий информационного обмена показал существенные между ними отличия по форме, видам и содержанию сообщений, передаваемых по сетям информационного обмена. Тогда показатель информационной полноты  $M$  целесообразно оценивать не по совокупному числу единичных сообщений, которое регламентировано согласно [5] и на суточном интервале времени может достигать нескольких сотен, а по отношению числа  $N_{np}$  принятых к числу  $N_{mp}$  требуемых видов информационных сообщений. Как показал проведенный анализ, не все из требуемых видов информационных сообщений, необходимых для выполнения АС ГФО целевой функции, предоставлены системой-источником информации, то есть  $N_{mp} > N_{np}$ . Тогда показатель информационной полноты  $M$  описывается выражением:

$$M = 1 - \frac{(N_{тр} - N_{np})}{N_{тр}}$$

3. Показатель информационной достоверности ( $D$ ) характеризуется соответствием оцененных (измеренных, вычисленных, спрогнозированных) значений  $n$  параметров окружающей среды к их истинным значениям и может быть выражен:

$$D = \sum_{i=1}^n \left( 1 - \frac{|d_i^{ист} - d_i^{оц}|}{d_i^{ист}} \right), \text{ при этом всегда } 0 < D < 1,$$

где  $d_i^{ист}$ ,  $d_i^{оц}$  – соответственно истинные и оцененные количественные значения  $i$ -го параметра окружающей среды.

Очевидно, что в идеальном случае максимальная достоверность  $D = 1$  при  $d_i^{ист} = d_i^{оц}$  по всем параметрам окружающей среды.

Сравнение перспективной автоматизированной ( $a$ ) и существующей неавтоматизированной ( $на$ ) систем ГФО по представленным выше показателям осуществляется согласно выражениям:

$$\mathcal{E}_D = \frac{\left[ \sum_{i=1}^n \left( 1 - \frac{|d_i^{ист} - d_i^{оц}|}{d_i^{ист}} \right) \right]_{на}}{\left[ \sum_{i=1}^n \left( 1 - \frac{|d_i^{ист} - d_i^{оц}|}{d_i^{ист}} \right) \right]_a}$$

$$\mathcal{E}_M = \frac{\left[ 1 - \frac{(N_{тр} - N_{np})}{N_{тр}} \right]_{на}}{\left[ 1 - \frac{(N_{тр} - N_{np})}{N_{тр}} \right]_a}$$

$$\mathcal{E}_T = \frac{\left[ \sum_{i=1}^n t_i(v_i) + \sum_{j=1}^m t_j(v_j) + T_{об} + T_{д} \right]_{на}}{\left[ \sum_{i=1}^n t_i(v_i) + \sum_{j=1}^m t_j(v_j) + T_{об} + T_{д} \right]_a}$$

### III. ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО СОСТАВА КОМПЛЕКСА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ СИСТЕМЫ

Для обоснования рационального состава технических средств, реализующих АС ГФО, в качестве ограничения выбирается показатель предельного значения стоимости ее создания  $\bar{C}$  [4].

Предполагается, что в результате построения системы стоимостью  $C_c$  должно быть существование таких функциональных и технических структур  $s$  системы, которые обеспечивают максимальную информационную эффективность  $\mathcal{E}_c$  при ограничениях на ее стоимость, что в общем виде может быть представлено выражением:

$$S = \arg \max \mathcal{E}(s, r_u), \text{ при } C_c = C(s, r_u) \leq \bar{C} \quad (1)$$

АС ГФО рекомендуется синтезировать как совокупность подсистем  $P_1 \dots P_5$ , каждая из которых может быть реализована посредством некоторого множества комплексов технических средств (Таблица 1).

Таблица 1 - Возможный состав автоматизированной системы геофизического обеспечения

Подсистема	Функциональное назначение	Различные варианты реализации ( $a, b, c, d, e, f$ )
$P_1$	Прием исходных данных от системы-источника по наземным каналам	$P_{1a}, P_{1b}, P_{1c}, P_{1d}, P_{1e}$
$P_2$	Прием исходных данных от системы-источника по спутниковым каналам	$P_{2a}, P_{2b}, P_{2c}, P_{2d}$
$P_3$	Обработка полученных исходных данных с использованием ГИС-технологий	$P_{3a}, P_{3b}, P_{3c}, P_{3d}, P_{3e}$
$P_4$	Прием и обработка данных о состоянии околоземного космического пространства	$P_{4a}$
$P_5$	Прием спутниковых снимков от метеорологических космических аппаратов	$P_{5a}, P_{5b}, P_{5c}, P_{5d}, P_{5e}, P_{5f}$

Конечной целью процедур синтеза системы является выбор такого рационального варианта ее реализации, который в полной мере отвечает условию (1).

### IV. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ СИНТЕЗА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ГЕОФИЗИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Задача синтеза (выбор комплексов технических средств) перспективной АС ГФО по соотношению «эффективность-стоимость» решается последовательно:

Этап 1: Формирование возможных вариантов

реализации подсистем  $P_1...P_5$ .

Этап 2: Определение возможных вариантов построения системы (ограничение их числа по критерию используемых предпочтений; оценивание успешности выполнения функций каждым из комплексов методом экспертных оценок; оценка стоимости каждого варианта системы).

Этап 3: Отбор вариантов реализации по безусловному критерию предпочтений.

Этап 4: Выбор рационального варианта по условному критерию предпочтений.

Поэтому, поиск рационального состава технических средств, реализующих АС ГФО, проводился поэтапно.

На этапе 1 авторами выполнен анализ технических предложений и сравнение по результатам экспериментов технических характеристик известных аппаратно-программных комплексов, что позволило сформировать множество вариантов, различающихся стоимостью и качеством выполнения функций подсистем в составе АС ГФО.

Установлено, что для выполнения целевых функций в каждой из подсистем  $P_1...P_5$  могут быть востребованы комплексы, представленные в правом столбце табл. 1.

Поскольку каждая из рассматриваемых подсистем  $P_1...P_5$  реализуется любым сочетанием комплексов технических средств в соответствующей подсистеме, то множество возможных вариантов таких сочетаний для структурного синтеза АС ГФО определяется:

$$N = \prod_{i=1}^5 m_i, \quad (2)$$

где  $m_i$  – количество вариантов реализации в каждой подсистеме.

Анализ известных (находящихся в эксплуатации) и разрабатываемых комплексов технических средств, пригодных для функционирования в каждой из подсистем  $P_1...P_5$ , показал количество вариантов реализации  $m_1=5, m_2=4, m_3=5, m_4=1, m_5=6$ . Поэтому  $N$  возможных вариантов построения системы в целом составит 600. Очевидно, что при таком множестве вариантов затруднителен поиск рационального решения, удовлетворяющего условию (1).

На этапе 2 в целях минимизации количества возможных вариантов ( $a, b, c, d, e, f$ ) вводятся ограничения:

- комплексам, производимым серийно или находящимся в стадии подготовки к производству, отдается предпочтение по сравнению с оставшимися комплексами в группе, которые исключаются из дальнейшего рассмотрения;
- комплексам, сертифицированным Комиссией по приборам и методам Росгидромета, отдается предпочтение по сравнению с другими комплексами, которые исключаются из дальнейшего рассмотрения;
- комплексам, срок давности разработки которых менее 10 лет, отдается предпочтение по сравнению с иными комплексами в группе, которые исключаются из дальнейшего рассмотрения;
- безальтернативный комплекс оставлен в качестве перспективы.

В результате минимизации числа вариантов построения АС ГФО по критерию используемых предпочтений при  $m_1=4, m_2=2, m_3=2, m_4=1, m_5=2$ , согласно выражению (2):  $N=4*2*2*1*2=32$ .

Для сравнения и оценивания качества функционирования комплексов технических средств применялся метод экспертной оценки (анкетирование).

Для семи экспертов была поставлена задача: оценить успешность выполнения комплексами своих функций по следующей шкале: 1 балл – комплекс отлично решает поставленные задачи; 0,5 баллов - комплекс удовлетворительно решает поставленные задачи; 0 баллов – комплекс плохо решает задачи или имеет существенные недостатки; 0,25 и 0,75 баллов – промежуточные значения при сомнении эксперта.

Коэффициент успешности  $K_y$  решения задач для каждого проектного решения рассчитывался как среднее по оценкам всех экспертов. Стоимость рассматриваемых комплексов определена по данным, содержащимся в договорной документации, технико-экономических обоснованиях и конкурсных предложениях.

Результаты экспертных оценок и расчетов коэффициентов успешности, а также стоимости комплексов технических средств системы представлены в Таблице 2.

Таблица 2 - Экспертные оценки коэффициентов успешности и стоимость отдельных комплексов технических средств

№ эксперта	Подсистема и выбранный вариант комплекса ее реализации										
	P <sub>1</sub>				P <sub>2</sub>		P <sub>3</sub>		P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>	
	P <sub>1a</sub>	P <sub>1b</sub>	P <sub>1d</sub>	P <sub>1e</sub>	P <sub>2b</sub>	P <sub>2c</sub>	P <sub>3d</sub>	P <sub>3e</sub>	P <sub>4a</sub>	P <sub>5c</sub>	P <sub>5f</sub>
1	1	0,75	0,75	0,75	1	1	0,75	1	1	0,25	1
2	1	0,5	1	1	1	1	0,75	1	1	0,5	1
3	1	0,5	1	1	1	1	0,5	1	1	0,25	1
4	0,75	0,25	0,5	0,25	0,75	1	0,25	1	1	0,5	0,75
5	1	0,75	0,75	0,75	1	1	0,5	1	1	0,25	1
6	1	0,75	1	1	1	1	0,75	1	1	0,25	1
7	1	0,5	0,75	0,5	0,75	1	0,5	1	1	0,25	1
$K_y$	0,96	0,57	0,82	0,75	0,93	1,0	0,57	1,0	1,0	0,38	0,96
Стоимость, млн. руб.	0,41	0,34	0,9	0,12	0,27	0,13	0,36	0,28	0,61	2,6	3,0

В табл. 3 представлены 32 возможных варианта построения АС ГФО, как все возможные сочетания выбранных комплексов технических средств (Таблица 3) с оценкой коэффициента успешности выполнения функций и стоимости каждого из них.

Таблица 3 - Коэффициенты успешности выполнения функций вариантами построения АС ГФО и стоимость каждого из них

№ варианта	Сочетание комплексов в варианте реализации					Общая стоимость вариантов системы, млн. руб.	Общий коэффициент успешности $K_y$ выполнения функций вариантами реализации
	$P_{1a}$	$P_{2b}$	$P_{3d}$	$P_{4a}$	$P_{5c}$		
1	$P_{1a}$	$P_{2b}$	$P_{3d}$	$P_{4a}$	$P_{5c}$	4,25	3,84
2	$P_{1a}$	$P_{2b}$	$P_{3d}$	$P_{4a}$	$P_{5f}$	4,65	4,42
3	$P_{1a}$	$P_{2b}$	$P_{3e}$	$P_{4a}$	$P_{5c}$	4,17	4,27
4	$P_{1a}$	$P_{2b}$	$P_{3e}$	$P_{4a}$	$P_{5f}$	4,57	4,85
5	$P_{1a}$	$P_{2c}$	$P_{3d}$	$P_{4a}$	$P_{5c}$	4,11	3,91
6	$P_{1a}$	$P_{2c}$	$P_{3d}$	$P_{4a}$	$P_{5f}$	4,51	4,49
7	$P_{1a}$	$P_{2c}$	$P_{3e}$	$P_{4a}$	$P_{5c}$	4,03	4,34
8	$P_{1a}$	$P_{2c}$	$P_{3e}$	$P_{4a}$	$P_{5f}$	4,43	4,92
9	$P_{1b}$	$P_{2b}$	$P_{3d}$	$P_{4a}$	$P_{5c}$	4,18	3,45
10	$P_{1b}$	$P_{2b}$	$P_{3d}$	$P_{4a}$	$P_{5f}$	4,58	4,03
11	$P_{1b}$	$P_{2b}$	$P_{3e}$	$P_{4a}$	$P_{5c}$	4,10	3,88
12	$P_{1b}$	$P_{2b}$	$P_{3e}$	$P_{4a}$	$P_{5f}$	4,50	4,46
13	$P_{1b}$	$P_{2c}$	$P_{3d}$	$P_{4a}$	$P_{5c}$	4,04	3,52
14	$P_{1b}$	$P_{2c}$	$P_{3d}$	$P_{4a}$	$P_{5f}$	4,44	4,10
15	$P_{1b}$	$P_{2c}$	$P_{3e}$	$P_{4a}$	$P_{5c}$	3,96	3,95
16	$P_{1b}$	$P_{2c}$	$P_{3e}$	$P_{4a}$	$P_{5f}$	4,36	4,53
17	$P_{1d}$	$P_{2b}$	$P_{3d}$	$P_{4a}$	$P_{5c}$	4,74	3,70
18	$P_{1d}$	$P_{2b}$	$P_{3d}$	$P_{4a}$	$P_{5f}$	5,14	4,28
19	$P_{1d}$	$P_{2b}$	$P_{3e}$	$P_{4a}$	$P_{5c}$	4,66	4,13
20	$P_{1d}$	$P_{2b}$	$P_{3e}$	$P_{4a}$	$P_{5f}$	5,06	4,71
21	$P_{1d}$	$P_{2c}$	$P_{3d}$	$P_{4a}$	$P_{5c}$	4,60	3,77
22	$P_{1d}$	$P_{2c}$	$P_{3d}$	$P_{4a}$	$P_{5f}$	5,00	4,35
23	$P_{1d}$	$P_{2c}$	$P_{3e}$	$P_{4a}$	$P_{5c}$	4,52	4,20
24	$P_{1d}$	$P_{2c}$	$P_{3e}$	$P_{4a}$	$P_{5f}$	4,92	4,78
25	$P_{1e}$	$P_{2b}$	$P_{3d}$	$P_{4a}$	$P_{5c}$	3,96	3,63
26	$P_{1e}$	$P_{2b}$	$P_{3d}$	$P_{4a}$	$P_{5f}$	4,36	4,21
27	$P_{1e}$	$P_{2b}$	$P_{3e}$	$P_{4a}$	$P_{5c}$	3,88	4,06
28	$P_{1e}$	$P_{2b}$	$P_{3e}$	$P_{4a}$	$P_{5f}$	4,34	4,64
29	$P_{1e}$	$P_{2c}$	$P_{3d}$	$P_{4a}$	$P_{5c}$	3,82	3,70
30	$P_{1e}$	$P_{2c}$	$P_{3d}$	$P_{4a}$	$P_{5f}$	4,22	4,28
31	$P_{1e}$	$P_{2c}$	$P_{3e}$	$P_{4a}$	$P_{5c}$	3,74	4,13
32	$P_{1e}$	$P_{2c}$	$P_{3e}$	$P_{4a}$	$P_{5f}$	4,14	4,71

На этапе 3 для каждого варианта построения АС ГФО методом парного сравнения по безусловному критерию предпочтений проведена оценка по соотношению «стоимость-эффективность». Т.е. предпочтительным из пары вариантов является тот, который имеет меньшую стоимость и лучший коэффициент успешности выполнения функций, что описывается выражением:

$$N^I > N^{II}, \text{ если } K_c^I > K_c^{II}; C^I \leq C^{II},$$

где  $N^I$  и  $N^{II}$  - номера вариантов, сравниваемых в паре;  $K_c^I$  и  $K_c^{II}$  - значения обобщенных показателей качества системы, соответствующие сравниваемым вариантам;  $C^I$  и  $C^{II}$  - стоимости сравниваемых вариантов комплексов технических средств системы.

Для определения конечного проектного решения построения системы, отвечающего условию выражения (1), на рис. 2 графически представлено распределение маркеров, соответствующих сгенерированным вариантам АС ГФО по соотношению «коэффициент успешности - стоимость».

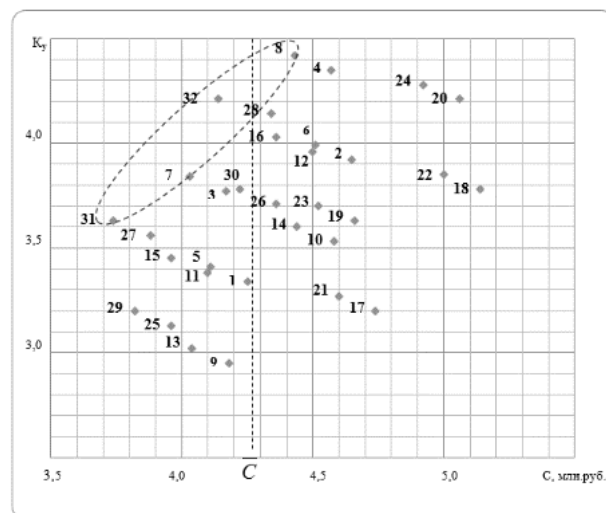


Рисунок 2 - Успешность функционирования и стоимость выбранных вариантов АС ГФО. Номер маркера соответствует варианту системы по таблице 3

Из рис. 2 очевидно, что лучшими проектными решениями построения АС ГФО являются варианты с номерами 31, 7, 32, 8.

На этапе 4 осуществлен выбор оптимального варианта и рационального состава системы методом сравнения по условному критерию предпочтений.

Задача сводилась к поиску из полученных на предыдущем этапе вариантов, такого, при котором обобщенный показатель качества системы стремится к максимально возможному, а стоимость реализации вариантов системы не превышает заданную, а именно:  $K_c \rightarrow \max$  при условии, что

$$C = \sum_{i=1}^n C_i \leq \bar{C}$$

где  $K_c$  – обобщенный показатель качества системы;  
 $C_i$  - стоимость реализации  $i$ -го варианта системы;  
 $\bar{C}$  - заданное предельное значение стоимости системы.

Например, согласно рис. 2 при заданной предельной стоимости системы 4,27 млн. рублей лучшим по показателям успешности выполнения функций АС ГФО будет вариант №32, расчетная стоимость которого составляет 4,14 млн. рублей. Для наглядности: по сравнению с № 32 лучший коэффициент успешности выполнения функций имеют также варианты № 8, 4, 24, однако их стоимость превышает заданную.

Таким образом, поэтапность решения задачи определения рационального состава системы, состоящей из некоторого множества  $P_i$  подсистем, каждая из которых может быть реализована  $N_j$  числом комплексов технических средств, при наличии ограничения на стоимость создания АС ГФО схематично представлена на рисунке 3.

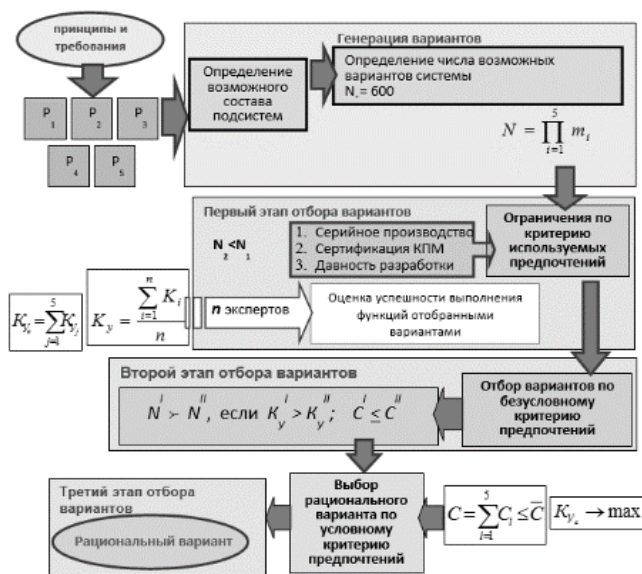


Рисунок 3 – Последовательность решения задачи определения рационального состава АС ГФО

Предложенный методический подход может быть применен при создании перспективных систем, например, в целях [6, 7]:

- мониторинга метеорологической обстановки в локальном и глобальном масштабах;
- мониторинга ионосферных предвестников повышенной сейсмической активности;
- диагностики состояния окружающей среды и прогноза ее воздействия на функционирование космических аппаратов в околоземном космическом пространстве;
- учета геофизических факторов на осуществление радиосвязи «земля-земля» и «космос-земля»;
- проведения научных исследований.

Отдельные положения предложенной методики структурного синтеза АС ГФО учтены при подаче заявок на изобретения, защищенные патентами РФ № 2465617 и №2564450 [6, 8].

## V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Неблагоприятное воздействие ряда факторов окружающей среды на функционирование различных технических систем обуславливает необходимость оперативного мониторинга окружающей среды, что с учетом возросших требований к оперативности, достоверности и полноте предоставления потребителям информационной продукции возможно посредством создания автоматизированной системы геофизического обеспечения.

Авторами предложена методика структурного синтеза автоматизированной системы геофизического обеспечения, качество которой определяется показателями информационной эффективности (оперативность, информационная достоверность и информационная полнота). Показано, что конечной целью поэтапности построения системы является выбор таких функциональных и технических структур, которые обеспечивают максимальную информационную эффективность при ограничениях на стоимость ее создания.

Предложена последовательность решения задачи синтеза автоматизированной системы геофизического обеспечения по отношению «эффективность-стоимость».

Проведено сравнение технических характеристик известных аппаратно-программных комплексов и в составе автоматизированной системы сформировано множество вариантов подсистем, различающихся стоимостью и качеством выполнения функций. При этом принятие проектных решений построения системы проводилось с учетом количественного ограничения, результатов экспертного оценивания успешности функционирования комплексов технических средств и определения индивидуальной стоимости проектных решений по составу системы.

Для каждого комплекса технических средств методом парного сравнения по безусловному критерию предпочтений проведена оценка стоимости по отношению «стоимость-эффективность», а выбор оптимального варианта и рационального состава автоматизированной системы осуществлен методом сравнения по условному критерию предпочтений.

Предложенный методический подход позволяет в дальнейших исследованиях выполнить разработку аппаратных и программных компонентов, составляющих автоматизированную систему геофизического обеспечения, в соответствии с выбранными критериями, с последующей апробацией ее рационального состава, обеспечивающего максимальную информационную эффективность системы при соблюдении ограничений на стоимость ее создания.

Благодаря функционированию такой системы возможно проведение экологического и геофизического мониторинга окружающей среды в интересах повышения экологической безопасности и оперативного принятия управленческих решений.

Направлением дальнейших исследований выбрано создание программного комплекса, обеспечивающего

информационную поддержку и автоматизацию процессов решения задач синтеза сложных информационных систем, аналогичных рассмотренной.

#### БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] Полушковский Ю.А., Алексеев О.А. Скрипачев В.О. Аппаратно-программный комплекс оперативного обеспечения потребителей спутниковой метеорологической и геофизической информацией. Труды 10-й Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». – М.: ИКИ РАН, 2012 - т.9, №3. С.332-335..
- [2] Антонов А.В. Системный анализ. – М.: Высшая школа, 2004. - 454 с.
- [3] Вдовин В.М., Суркова Л.Е., Валентинов В.А. Теория систем и системный анализ: учеб. - М.: Торговая корпорация «Дашков и Ко», 2010. – 640 с.
- [4] Мишук Э., Мюллер П. Методы принятия технических решений. – М.: Мир, 1990. – 208 с.
- [5] Регламент обмена данными наблюдений на метеорологической автоматизированной сети РФ. - М.: Росгидромет, 2003.
- [6] Способ и аппаратно-программный комплекс для приема и обработки заявок от внешних потребителей на проведение спутниковой съемки, комплексной обработки спутниковых данных и формирования выходных информационных продуктов для внешних потребителей // Патент РФ №2465617. 2012. / Полушковский Ю.А., Скрипачев В.О., Суровцева И.В., Спиричев Д.Л.
- [7] Биккузина А. И., Жуков А. О., Желнов И. И. Система поддержки принятия решений при информационно-аналитическом обеспечении оценки и прогноза экологического состояния территорий эксплуатации ракетно-космической техники // Наукоедение. - 2015. - Т. 7, № 2. - С. 1–11.
- [8] Способ приема и комплексной обработки данных от спутниковых навигационных приемников космических аппаратов для диагностики возмущения ионосферы и аппаратно-программный комплекс для его реализации// Патент РФ № 2564450. 2014. / Полушковский Ю.А., Гаврик А.Л., Скрипачев В.О.

# Methodical approach to the problem of synthesis and evaluation of the efficiency of an automated geophysical system

Yuriy Polushkovskiy, Vladimir Kuznetsov, Irina Surovceva, Vladimir Skripachev, Vladimir Umnov

**Abstract.** The adoption of valid management decisions in the operation of complex technical systems is, in particular, conjugated with the need for monitoring of external conditions. The last is determines the reception and processing of a large amount of heterogeneous information from a different sources coming from several channels of information exchange. The necessary of creating an appropriate automated system is shown by example of geophysical provision of interested services. The system of geophysical support is considered by authors as a subsystem of two systems of a higher level: on the one hand, the source system of the source data (for example, the automated information exchange system of Roshydromet, other departments), and, on the other, the consumer system of output information products. A technique for structural synthesis of an automated geophysical support system is proposed. Indicators of information effectiveness of the system (information efficiency, information reliability and information completeness) and ways of its evaluation are determined. A methodical approach is proposed for the synthesis (selection of the rational composition of technical equipment complexes) of an automated geophysical support system, while limiting the cost of its creation. When choosing a rational option of the system for the "information efficiency-cost" relationship, an approach to the analysis of options using unconditional and conditional preference criteria is applied. The evaluation of the quality of various options for the implementation of the technical structure of the system was carried out using experimental methods, peer review and a comparison method with an analog (non-automated). Prospects for further research are grounded.

**Keywords:** automated system, hardware components set, geophysical information, type synthesis, index of information efficiency, cost-effectiveness criterion, success ratio, method of expert assessment, conditional and unconditional criteria.