

УДК 528.8.04

**А. Д. Федоровский<sup>1</sup>, В. Г. Якимчук<sup>1</sup>, З. В. Козлов<sup>1</sup>, А. А. Колоколов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук Національної академії наук України, Київ

<sup>2</sup>Державне конструкторське бюро «Південне», Дніпропетровськ

## **Моделирование и оценка эффективности космических систем зондирования Земли**

*Надійшла до редакції 03.04.03*

Розглядається методика оцінки ефективності космічних систем дистанційного зондування Землі з використанням критеріїв приналежності і відповідності параметрів космічної системи характеристикам, що забезпечують виконання тематичних задач з найбільшою імовірністю. Визначення ефективності провадиться на основі статистичних іспитів імітаційної моделі.

Космические системы (КС) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) предназначены для получения информации, обеспечивающей решение широкого круга научных и прикладных задач. КС ДЗЗ состоят из различных по принципу действия и физико-технической природы подсистем (визирования земной поверхности, регистрации информации ДЗЗ, управления, передачи и приема информации, обработки и распространения информации), которые, взаимодействуя между собой, образуют многоуровневую иерархическую структуру. В связи с этим КС ДЗЗ можно отнести к сложным системам, для исследования которых используются методы системного анализа. Реализация методов в каждом конкретном случае требует формирования своих критериев и создания соответствующей процедуры принятия решений [5].

Известны работы по оценке эффективности сложных систем. Например, программный комплекс Satellite Tool Kit (STK), а также методы оценки проектов с использованием концепции компромиссов и шкал экспертной оценки [1, 2]. Недостаток последних заключается в том, что эксперты не всегда могут предусмотреть результаты нелинейных взаимодействий между подсистемами сложной системы, учесть эффекты запаздывания в вы-

полнении отдельных операций, а также одновременно анализировать большое число параметров. Эти обстоятельства затрудняют оценку эффективности и прогнозирование функционирования КС ДЗЗ в реальных условиях. С помощью программного комплекса STK имитируется орбитальное движение и ориентация КА, рассчитываются временные и качественные характеристики покрытия участков земной поверхности аппаратурой ДЗЗ, определяется надежность радиосвязи между КА и наземными станциями приема информации. Однако комплекс STK не позволяет определить степень соответствия параметров исследуемой КС ДЗЗ характеристикам, обеспечивающим выполнение программы ДЗЗ в полном объеме, в том числе характеристикам, которые являются информативными признаками объектов и процессов на земной поверхности. В связи с этим невозможно получить численную оценку влияния параметров каждой подсистемы КС на эффективность функционирования КС ДЗЗ в целом. Кроме того, в комплексе STK не предусмотрена возможность оптимизации состава КС ДЗЗ и определения требований к параметрам подсистем.

Задача работы заключается в разработке методической основы системных исследований КС ДЗЗ, которая позволит объективно анализировать при-

чинно-следственные связи в системе и получать численные оценки эффективности функционирования как отдельных подсистем, так и КС в целом. При этом в качестве критерия эффективности используются оценки вероятности решения тематических задач ДЗЗ. Под тематическими задачами ДЗЗ будем понимать получение информации ДЗЗ, которая, наряду с наземными наблюдениями, используется для решения научных и прикладных задач в различных отраслях хозяйственной деятельности.

На первом этапе необходимо разработать адаптируемую к изменяющейся ситуации модель и осуществить имитационное моделирование процесса функционирования КС при решении различных тематических задач ДЗЗ. Модель должна имитировать различные сценарии развития системы, из которых выбирается наиболее эффективный для достижения поставленной цели. Для создания такой модели необходимо иметь четкое представление о структуре и функционировании КС ДЗЗ, о протекающих в ней процессах и выявить причинно-следственные связи в системе. Переменные, играющие роль причин, называемые входными (параметры КС ДЗЗ и характеристики задач программы ДЗЗ), а переменные, отражающие последствия причин, — выходными (эффективности подсистем и КС ДЗЗ в целом).

Для построения динамических моделей КС ДЗЗ воспользуемся методом адаптивного баланса влияний [3], который является дальнейшим развитием метода системной динамики [6]. Английский вариант названия метода Adaptive Balance of Causes (ABC). Суть ABC-метода заключается в предположении, что модули, составляющие управляемую сложную систему, находятся в состоянии динамического равновесия, которое поддерживается функциями влияния, связывающими модули между собой. Поэтому внутри системы сохраняется режим динамического баланса влияний, а внешнее воздействие на систему управляет этим режимом. Использование ABC-метода для оценки эффективности КС ДЗЗ обусловлено тем, что при решении этой задачи возникает необходимость сбалансировать действие двух противоположных тенденций. С одной стороны, стремление повысить вероятность решения тематических задач ДЗЗ требует постоянного повышения качества получаемой информации ДЗЗ, а с другой — технические возможности и финансирование накладывают ограничения на улучшение параметров КС ДЗЗ. Концепция динамического баланса постулирует аддитивный характер влияний на каждый из модулей сложной системы со стороны других модулей и со стороны внешних сил. В связи с этим может быть получена

система уравнений, которая описывает взаимосвязи элементов КС ДЗЗ и динамический баланс системы в целом.

Процесс создания модели содержит несколько этапов: разработка концептуальной модели системы, разработка схемы основных причинно-следственных связей между компонентами системы; построение на основе последней системной диаграммы модели, формализация модели, т. е. получение в явном виде математических уравнений.

Концептуальная модель КС ДЗЗ представляет собой соединение целевых установок с основными конструктивными элементами (подсистемами), функционирование которых обеспечивает достижение поставленной цели. На основе концептуальной модели формируются основные причинно-следственные связи между уровнями модели, которые отражают характер функционирования подсистем КС ДЗЗ. Учитывая, что поставлена задача оценки эффективности как КС, так и отдельных подсистем, в схеме причинно-следственных связей в качестве уровней используются оценки эффективности функционирования подсистем КС ДЗЗ:  $Y_1$  — эффективность визирования земной поверхности,  $Y_2$  — эффективность регистрации информации,  $Y_3$  — эффективность управления,  $Y_4$  — эффективность передачи и приема информации.

На эффективность решения задач ДЗЗ ( $X_5$ ) влияют следующие показатели:  $X_1$  — качество информации ДЗЗ,  $X_2$  — оперативность получения информации,  $X_3$  — производительность КС ДЗЗ,  $X_4$  — вероятность дешифрирования космических снимков. Перечисленные показатели достаточно просты, наглядны, имеют ясный физический смысл и могут рассматриваться как частные критерии оценки эффективности выполнения программы ДЗЗ — вероятности решения тематических задач ДЗЗ.

Внешними элементами воздействия в модели являются: метеоусловия  $Z_1$ , методы дешифрирования  $Z_2$ , погрешности орбиты и ориентации космического аппарата (КА)  $Z_3$ , ресурс энергообеспечения КА  $Z_4$ , отказы аппаратуры  $Z_5$ .

Системная диаграмма модели КС ДЗЗ представлена в виде таблицы и состоит из уровней, объединенных цепями обратных связей. Взаимное влияние уровней и влияние на них внешних элементов в зависимости от направления воздействия обозначается стрелками двух видов:  $\uparrow$  или  $\downarrow$ . Обратные связи в уровнях показаны стрелками вида  $\Leftarrow$ ;  $X_6$  — характеристики, необходимые для решения тематических задач ДЗЗ,  $X_7$  — параметры КС ДЗЗ.

Для последующей формализации модели вводится интервал времени  $\tau$ , в течение которого значения влияющих функций можно приближенно счи-

Системная диаграмма модели КС ДЗЗ

Наименование и обозначение уровней	Уровни						
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>
Качество информации ДЗЗ	X <sub>1</sub>			↑			
Оперативность КС ДЗЗ	X <sub>2</sub>				↑		
Производительность КС ДЗЗ	X <sub>3</sub>				↑		
Вероятность дешифрирования	X <sub>4</sub>				↑		
Эффективность КС ДЗЗ	X <sub>5</sub>				↓		
Характеристики задач ДЗЗ	X <sub>6</sub>					↓	
Параметры КС ДЗЗ	X <sub>7</sub>						↓
Эффективность визирования	Y <sub>1</sub>	↑	↑			↓	↑
Эффективность функционирования	Y <sub>2</sub>	↑				↓	↑
Эффективность регистрации	Y <sub>3</sub>			↑		↓	↑
Эффективность передачи и приема	Y <sub>4</sub>		↑	↑		↓	↑
Метеоусловия съемки	Z <sub>1</sub>	↓					
Методы дешифрирования	Z <sub>2</sub>				↓		
Погрешности орбит. и ориентации КА	Z <sub>3</sub>	↓		↓			
Ресурс энергообеспечения КА	Z <sub>4</sub>			↓			
Отказы блоков АК	Z <sub>5</sub>		↓	↓			

тательными. Формализация АВС-модуля модели КС ДЗЗ производится в виде системы уравнений (1):

$$\begin{aligned}
 X_{1k} &= X_{1j} + \\
 &+ \tau \cdot X_{1j} [\alpha_{X_1}(\Delta Y_1) + \alpha_{X_1}(\Delta Y_2) + \alpha_{X_1}(\Delta Z_1) + \alpha_{X_1}(\Delta Z_3)], \\
 X_{2k} &= X_{2j} + \tau \cdot X_{2j} [\alpha_{X_2}(\Delta Y_1) + \alpha_{X_2}(\Delta Y_4) + \alpha_{X_2}(\Delta Z_5)], \\
 X_{3k} &= X_{3j} + \tau \cdot X_{3j} [\alpha_{X_3}(\Delta Y_3) + \alpha_{X_3}(\Delta Y_4) + \\
 &+ \alpha_{X_3}(\Delta Z_3) + \alpha_{X_3}(\Delta Z_4) + \alpha_{X_3}(\Delta Z_5)], \\
 X_{4k} &= X_{4j} + \tau \cdot X_{4j} [\alpha_{X_4}(\Delta X_1) + \alpha_{X_4}(\Delta Z_2)], \\
 X_{5k} &= X_{5j} + \tau \cdot X_{5j} [\alpha_{X_5}(\Delta X_2) + \alpha_{X_5}(\Delta X_3) + \alpha_{X_5}(\Delta X_4)], \\
 X_{6k} &= X_{6j} + \tau \cdot X_{6j} [\alpha_{X_6}(\Delta Y_1) + \alpha_{X_6}(\Delta Y_2) + \\
 &+ \alpha_{X_6}(\Delta Y_3) + \alpha_{X_6}(\Delta Y_4) + \beta_{X_6}(\Delta X_6)], \\
 X_{7k} &= X_{7j} + \tau \cdot X_{7j} [\alpha_{X_7}(\Delta Y_1) + \alpha_{X_7}(\Delta Y_2) + \\
 &+ \alpha_{X_7}(\Delta Y_3) + \alpha_{X_7}(\Delta Y_4) + \beta_{X_7}(\Delta X_7)], \quad (1)
 \end{aligned}$$

где  $k$  и  $j$  — номера временных отсчетов моделирования процесса ДЗЗ.

Алгоритм функционирования модели состоит в последовательном моделировании подсистем: визирования, регистрации информации, управления, передачи и приема информации наземным комп-

лексом, обработки и распространения информации. Для оценки эффективности функционирования и соответствия параметров каждой подсистемы КС ДЗЗ характеристикам, обеспечивающим решение тематических задач и программы ДЗЗ в целом, используется процедура системного анализа, основанная на вычислении функций соответствия и принадлежности параметров подсистем характеристикам задач [5]. В результате такого анализа характеристик задач ДЗЗ  $X_6$  и параметров КС ДЗЗ  $X_7$  определяются эффективности  $Y_1 \dots Y_4$ .

Допустим, что КС ДЗЗ ( $\{B\}$ ) состоит из множества подсистем  $B_i$ :  $B = (B_1, B_2, \dots, B_i, \dots, B_n)$ , где  $n$  — количество подсистем. Параметры каждой подсистемы КС ДЗЗ составляют множество  $b = \{b_1, b_2, \dots, b_m\}$ . Для подсистемы  $B_i$  параметры составляют множество  $B_i = \{b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{ij}, \dots, b_{im(i)}\}$ , где  $b_{ij}$  —  $j$ -й параметр  $i$ -й подсистемы,  $j = 1, 2, \dots, m(i)$ ,  $m(i)$  — количество параметров  $i$ -й подсистемы.

Программа тематических задач ДЗЗ ( $G$ ) состоит из множества подпрограмм  $G_k$ :  $G = \{G_1, G_2, \dots, G_k, \dots, G_q\}$ , где  $k$ -я подпрограмма  $G_k$  содержит множество задач  $A_{kp}$ :  $G_k = \{A_{k1}, A_{k2}, \dots, A_{kp}, \dots, A_{kl(k)}\}$ ,  $k = 1, 2, \dots, q$ ,  $p = 1, 2, \dots, l(k)$ ,  $q$  — количество подпрограмм,  $l(k)$  — количество задач  $k$ -й подпрограммы).

Характеристики, обеспечивающие решение каждой тематической задачи ДЗЗ в каждой подсистеме

КС ДЗЗ, составляют множество  $a = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ . Здесь принята единая нумерация во множествах  $b$  и  $a$ , хотя возможно отсутствие некоторых элементов в одном из множеств при их наличии в другом. Для тематической задачи  $A_{kp}$  характеристики, обеспечивающие ее решение в  $i$ -й подсистеме, составляют множество  $a_{ikp} = \{a_{ikp1}, a_{ikp2}, \dots, a_{ikpj}, \dots, a_{ikpm(ikp)}\}$ , где  $a_{ikpj}$  —  $j$ -я характеристика  $p$ -й задачи  $k$ -й подпрограммы в  $i$ -й подсистеме,  $j = 1, 2, \dots, m(ikp)$ ,  $m(ikp)$  — количество характеристик  $p$ -й задачи  $k$ -й подпрограммы в  $i$ -й подсистеме ( $kpj = 1, \dots, m$ ).

Чтобы оценить, насколько соответствуют параметры подсистем и КС ДЗЗ в целом характеристикам, необходимым для решение тематических задач подпрограмм и программы ДЗЗ, необходимо решить задачу классификации объектов  $B_i$  и  $B$  на множестве классов  $A_{kp}$ ,  $G_k$  и  $G$  ( $k = 1, \dots, q$ ;  $p = 1, \dots, l(k)$ ), т. е. на множестве всех задач каждой подпрограммы и всех подпрограмм.

С этой целью вычисляются функции соответствия для каждого параметра последовательно по всем подсистемам КС ДЗЗ

$$f(b_{ij}, a_{ikpj}) = 1 - S(b_{ij}, a_{ikpj}), \quad (2)$$

$$j = 1, \dots, m(kp), \quad p = 1, \dots, l(k), \\ k = 1, \dots, q, \quad i = 1, \dots, n.$$

где  $S(a_{ikpj}, b_{ij})$  — функции близости параметров подсистем характеристикам, обеспечивающим решение тематических задач. При этом параметры подсистем могут быть четырех видов — требующие максимизации, минимизации, нахождения в определенном диапазоне значений параметров и их совпадения с конкретным диапазоном характеристик тематических задач. В случае, когда для какой-нибудь характеристики тематической задачи отсутствует соответствующий параметр в КС ДЗЗ, тогда  $S(a_{ikpj}, b_{ij}) = 1$ .

Эффективности отдельных подсистем и КС ДЗЗ в целом определяются с помощью функций принадлежности (3)—(8) параметров подсистем ( $F_1$ ) и КС ДЗЗ ( $F$ ) характеристикам, которые необходимо обеспечить, чтобы решить тематические задачи с наибольшей вероятностью. Функции принадлежности определяются для каждой тематической задачи ( $F_{11}$ ,  $F_1$ ), подпрограмм ( $F_{12}$ ,  $F_2$ ) и программы ДЗЗ в целом ( $F_{13}$ ,  $F_3$ ). При этом учитываются весовые коэффициенты: характеристик тематических задач ( $\rho_1$ ), тематической задачи в подпрограмме ( $\rho_2$ ) и подпрограммы в программе ( $\rho_3$ ), а также соответствующие функции штрафа:  $F_{11}^*$ ,  $F_1^*$ ,  $F_{12}^*$ ,  $F_2^*$ ,  $F_{13}^*$ ,  $F_3^*$ .

Для тематических задач в  $i$ -й подсистеме имеем

$$F_{11}(B_i, A_{kp}) = \sum_{j=1}^{m(i)} \rho_1(A_{kp}, a_{ikpj}) f(b_{ij}, a_{ikpj}) - F_{11}^*, \quad (3)$$

$$j = 1, \dots, m(kp), \quad p = 1, \dots, l(k), \\ k = 1, \dots, q, \quad i = 1, \dots, n.$$

Для тематических задач в КС ДЗЗ:

$$F_1(B, A_{kp}) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m(i)} \rho_1(A_{kp}, a_{ikpj}) f(b_{ij}, a_{ikpj}) - F_1^*, \quad (4)$$

Для подпрограмм в  $i$ -й подсистеме:

$$F_{12}(B_i, G_k) = \sum_{p=1}^{l(k)} \left[ \rho_2(G_k, A_{kp}) \times \right. \\ \left. \times \sum_{j=1}^{m(i)} \rho_1(A_{kp}, a_{ikpj}) f(b_{ij}, a_{ikpj}) \right] - F_{12}^*. \quad (5)$$

Для подпрограмм в КС ДЗЗ:

$$F_2(B, G_k) = \sum_{i=1}^n \sum_{p=1}^{l(k)} \left[ \rho_2(G_k, A_{kp}) \sum_{j=1}^{m(i)} \rho_1(A_{kp}, a_{ikpj}) f(b_{ij}, a_{ikpj}) \right] - F_2^*. \quad (6)$$

Для программы в  $i$ -й подсистеме:

$$F_{13}(B_i, G) = \sum_{k=1}^q \left\{ \rho_3(G, G_k) \times \right. \\ \left. \times \sum_{p=1}^{l(k)} \left[ \rho_2(G_k, A_{kp}) \sum_{j=1}^{m(i)} \rho_1(A_{kp}, a_{ikpj}) f(b_{ij}, a_{ikpj}) \right] \right\} - F_{13}^*. \quad (7)$$

Для программы в КС ДЗЗ:

$$F_3(B, G) = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^q \left\{ \rho_3(G, G_k) \times \right. \\ \left. \times \sum_{p=1}^{l(k)} \left[ \rho_2(G_k, A_{kp}) \sum_{j=1}^{m(i)} \rho_1(A_{kp}, a_{ikpj}) f(b_{ij}, a_{ikpj}) \right] \right\} - F_3^*. \quad (8)$$

При этом должны выполняться условия

$$\sum_{j=1}^{m(i)} \rho_1(A_{kp}, a_{ikpj}) = \sum_{p=1}^{l(k)} \rho_2(G_k, A_{kp}) = \sum_{k=1}^q \rho_3(G, G_k) = 1.$$

Чем ближе значения параметров КС ДЗЗ к значениям характеристик задач, тем большее значение приобретает первая часть уравнений (3)—(8).

Вторая часть уравнений (3)—(8) выступает в роле функции штрафа за то, что в КС ДЗЗ есть параметры, которые не востребованы соответствующими характеристиками тематических задач, т. е. эти параметры не используются для обеспечения

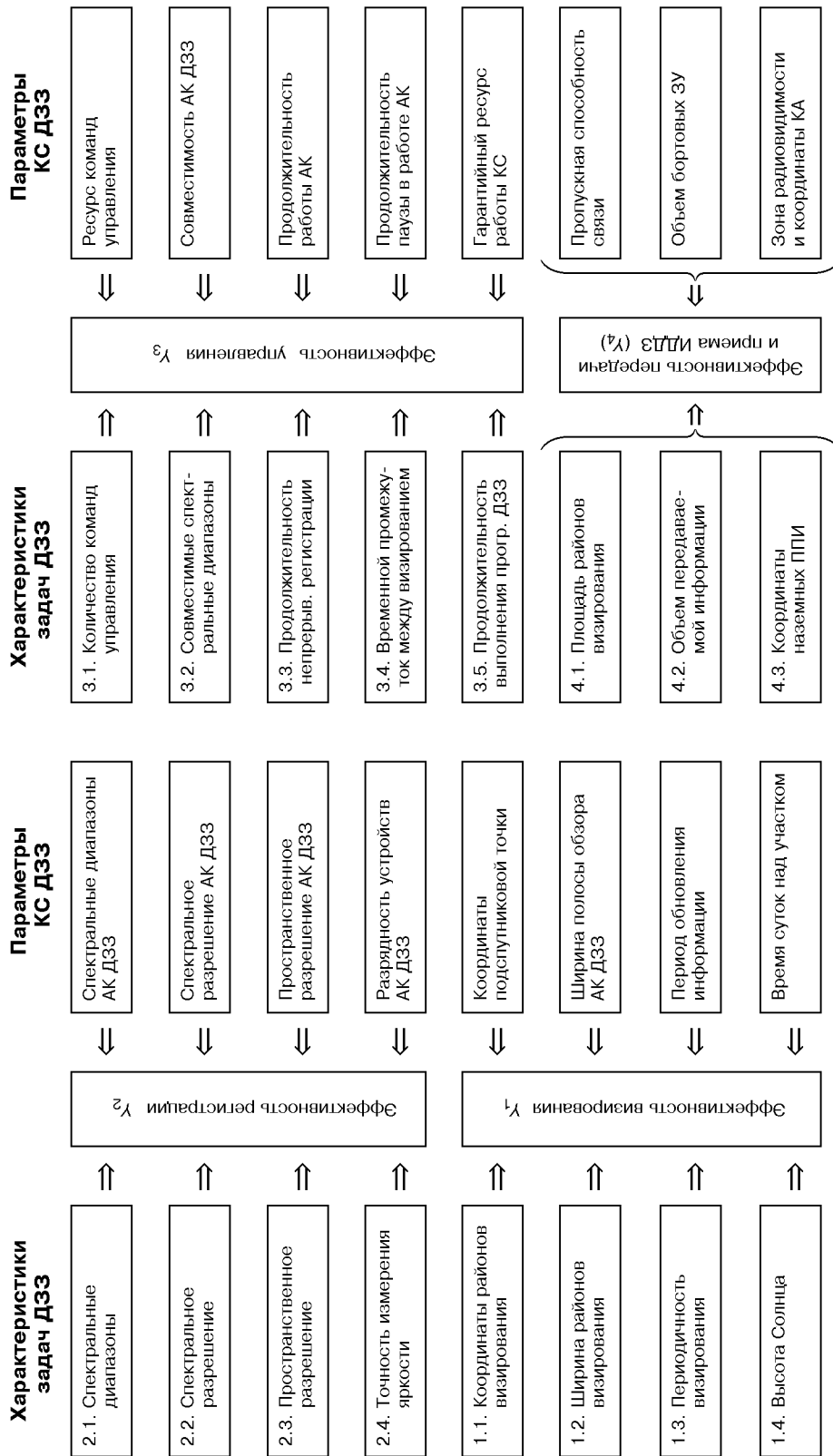


Рис. 1. Структурная схема оценки эффективности основных подсистем КС ДЗЗ

решения задач. Следовательно, в данном случае параметры КС ДЗЗ являются избыточными и увеличивают непроизводительную нагрузку. Функции штрафа увеличиваются с увеличением числа этих параметров и равны нулю, когда востребованы все параметры КС ДЗЗ.

Наибольшее значения функции принадлежности (3)—(8) достигают при полном совпадении значений параметров подсистем и КС ДЗЗ с аналогичными характеристиками, обеспечивающими решение тематических задач с наибольшей вероятностью, и равны числу соответствующих параметров. В противном случае значения функций (3)—(8) равны нулю. Следовательно, принятое в качестве критерия оценки вероятности решения тематических задач отношение значения функции принадлежности к числу параметров изменяется в диапазоне от максимального значения равного единице до минимального — ноль. Используя полученные выражения (3)—(8), в той же последовательности определяются коэффициенты эффективности для каждой подсистемы и КС ДЗЗ в целом:  $Y(B_i, A_{kp})$ ,  $Y(B, A_{kp})$  при решении тематических задач,  $Y(B_i, G_k)$ ,  $Y(B, G_k)$  при выполнении подпрограмм и  $Y(B_i, G)$ ,  $Y(B, G)$  для программы ДЗЗ в целом по следующим формулам:

$$\begin{aligned}
 Y(B_i, A_{kp}) &= F_{11}(B_i, A_{kp})/m(ikp), \\
 Y(B, A_{kp}) &= F_1(B, A_{kp})/\sum_{i=1}^n m(ikp), \\
 Y(B_i, G_k) &= F_{12}(B_i, G_k)/\sum_{p=1}^{l(k)} m(ikp), \\
 Y(B, G_k) &= F_2(B, G_k)/\sum_{i=1}^n \sum_{p=1}^{l(k)} m(ikp), \\
 Y(B_i, G) &= F_{11}(B_i, G)/\sum_{k=1}^q \sum_{p=1}^{l(k)} m(ikp), \\
 Y(B, G) &= F_3(B, G)/\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^q \sum_{p=1}^{l(k)} m(ikp).
 \end{aligned} \tag{9}$$

Уравнения (9) являются частью математической модели, определяющей эффективность подсистем и КС ДЗЗ.

Схема, в соответствии с которой определяется эффективность подсистем КС ДЗЗ в результате вычислений функций соответствия и принадлежности, представлена на рис. 1. В соответствии со схемой эффективность подсистемы визирования земной поверхности  $Y_1$  определяется путем вычис-

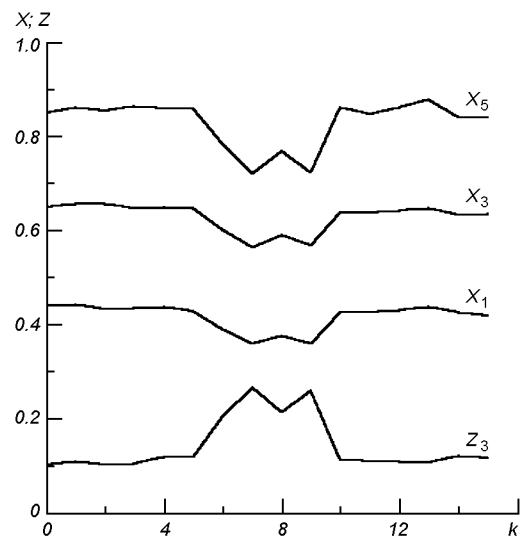


Рис. 2. Результаты моделирования КС ДЗЗ.  $Z_3$  — погрешности орбитальные и ориентации КА,  $X_1$  — качество информации ДЗЗ,  $X_3$  — производительность КС ДЗЗ,  $X_5$  — эффективность КС ДЗЗ,  $k$  — номер временного отсчета

лений функций соответствия и принадлежности на основе сравнения характеристик тематических задач ДЗЗ: координаты районов визирования — блок 1.1, ширина районов визирования — блок 1.2, периодичность визирования — блок 1.3, высота Солнца — блок 1.4 и соответствующих параметров подсистемы, представленных справа от блока  $Y_1$ . Аналогично определяются эффективности подсистем  $Y_2$ ,  $Y_3$  и  $Y_4$ .

Математическая модель КС ДЗЗ (1—9) была частично реализована программными средствами на ПЭВМ. На рис. 2 приведен пример, когда на процесс ДЗЗ оказали влияние погрешности орбитальные и ориентации КА  $Z_3$  (отсчеты  $k = 6...9$ ). Возникновение погрешности ориентации КА привело к снижению качества информации ДЗЗ ( $X_1$ ), производительности КС ДЗЗ ( $X_3$ ) и, естественно, — к уменьшению эффективности КС ДЗЗ ( $X_5$ ).

Рассмотренная модель не претендует на исчерпывающее описание КС ДЗЗ. В данной работе преследовалась цель изложить концепцию системного подхода к моделированию и оценке эффективности КС ДЗЗ с использованием метода адаптивного баланса влияний. На основе такого методического подхода предполагается разработать методику и соответствующую компьютерную программу для моделирования и прогнозирования сценариев раз-

вития КС ДЗЗ, нахождения варианта построения КС, обеспечивающего ее функционирование с наибольшей эффективностью. Для создания такого программного продукта потребуется дальнейшая работа по уточнению структуры и причинно-следственных связей между элементами КС, совершенствованию и развитию этапов системного подхода применительно к анализу КС ДЗЗ.

1. Волкович В. Л., Волошин А. Ф., Даргейко Л. Ф. и др. Методы и алгоритмы автоматизированного проектирования сложных систем управления. — Киев: Наук. думка, 1984.—216 с.
2. Подиновский В. В., Ногин В. Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. — Г.: Наука, 1982.—328 с.,
3. Тимченко И. Е., Игумнова Е. М., Тимченко И. И. Системный менеджмент и АВС-технологии устойчивого развития. — Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2000.—224 с.
4. Федоровский А. Д., Даргейко Л. Ф., Зубко В. П., Якимчук В. Г. Системный подход к оценке эффективности аппаратурных комплексов дистанционного зондирования

Земли // Космічна наука і технологія.—2001.—7, № 5/6.— С. 75—79.

5. Федоровский А. Д., Якимчук В. Г. Имитационное моделирование космических исследований ДЗЗ: постановка задачи и пути решения. // Космічна наука і технологія.—2002.—8, № 2/3.—С. 83—88.
6. Forrester J. W. Industrial Dynamics. — Cambridge MA, Productivity Press, 1961.—160 p.

---

**SIMULATION PROCESS AND ESTIMATION OF EFFICIENCY OF SPACE SYSTEMS FOR REMOTE SENSING OF THE EARTH**

A. D. Fedorovskyi, V. H. Yakymchuk, Z. V. Kozlov, A. A. Kolokolov

We consider a method for efficiency estimation of space systems for remote sensing of the Earth using criteria of conformity of space system parameters to the characteristics ensuring the execution of remote sensing theme problems with the most probability. The efficiency determination is made on the basis of simulation model statistical tests.