

*А.В. Корсун*  
(ФГУП "СТАНДАРТИНФОРМ"; e-mail: strecha@gostinfo.ru)

## **РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОСМИЧЕСКИХ СРЕДСТВ**

*Проведён анализ развития информационного обеспечения эксплуатации космических средств, показаны недостатки действующей системы и предлагается подход к её совершенствованию.*

*Ключевые слова: информационное обеспечение, эксплуатация, космические средства, надежность, техническое состояние.*

*A.V. Korsun*

## **DEVELOPMENT OF SYSTEM INFORMATION PROVISION THE OPERATION OF SPACE ASSETS**

*Analyzes the development of system information provision the operation of space assets, shows the shortcomings of existing systems and propose an approach to improve it.*

*Key words. information provision, operation, space assets, reliability, technical condition.*

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 1 марта 2011 г.

Информационное обеспечение эксплуатации космических средств (КСр) осуществляется на основе ГОСТа РВ 51217-98. "Системы и комплексы космические. Система информации о техническом состоянии и надежности космических комплексов и входящих в их состав изделий".

Система информации (СИ) предусматривает проведение анализа информации о техническом состоянии КСр, отказах, отклонениях от требований документации, оценку показателей надежности, разработку и реализацию мер по обеспечению надежности, устранению отказов и отклонений от требований и норм, выдачу рекомендаций по совершенствованию системы информационного обеспечения эксплуатации КСр.

Несмотря на определенный положительный опыт применения существующей системы информации, действующая система информационного обеспечения управления эксплуатацией КСр функционирует недостаточно эффективно, что оказывает отрицательное влияние на результаты работ по обеспечению надежности и безопасности эксплуатации КСр. К таким причинам можно отнести следующие:

- первичной информацией в действующей СИ являются сведения об уже происшедших отказах и неисправностях КСр без фиксации динамики изменения параметров ТС, приводящих к отказам, что исключает возможность принятия мер по профилактике отказов и неисправностей, не позволяет получать прогнозные значения показателей надежности и безопасности индивидуально для каждого конкретного средства, препятствует в конечном итоге внедрению в

практику эксплуатации КСр перспективной комплексной стратегии эксплуатации;

- обработка информации в действующей СИ носит обобщающий по группам однотипных изделий характер, сосредоточена главным образом на верхних иерархических уровнях системы информации, что приводит к задержкам в обработке больших массивов информации, снижению достоверности оценок показателей надежности и безопасности, невозможности оперативного и "точечного" индивидуального реагирования на снижение уровня надежности и безопасности КСр;

- в СИ отсутствует информация по качеству производства, причинам конструктивных производственных дефектов, перечням мероприятий по предотвращению причин отказов и неисправностей на стадиях производства и эксплуатации КСр;

- в ряде случаев информация, представляемая эксплуатирующими КСр организациями, не в полной мере соответствует требуемым единым формам, что затрудняет её обработку, а также полный и качественный анализ надежности и безопасности эксплуатации КСр;

- используемые средства и методы сбора, передачи и обработки информации о техническом состоянии, надежности и эксплуатационных процессах на КСр не соответствуют средствам и методам современных информационных технологий, в частности, действующая СИ не позволяет использовать CALS-технологии сквозного электронного информационного сопровождения всех стадий жизненного цикла КСр.

Перечисленные недостатки действующей СИ отрицательным образом сказываются на обеспечении готовности КСр, особенно в тех случаях, когда в эксплуатации находится большая доля средств с длительными сроками эксплуатации. При этом наблюдается тенденция к увеличению времени "простоев" КСр, причинами которых в большинстве случаев являются задержки в выполнении ремонтно-восстановительных работ из-за отсутствия информационной базы для заблаговременного прогнозирования появления отказов и неисправностей.

Проведенный анализ показал, что, несмотря на большое количество работ в области исследования различных аспектов создания и развития систем информационного обеспечения процессов управления, вопросы разработки методологических основ информационного обеспечения надежной и безопасной эксплуатации КСр, исследованы недостаточно. В частности, отсутствуют работы, где в прямой постановке описывались бы особенности формирования функциональной и технической структур информационной подсистемы системы эксплуатации КСр. В связи с этим можно говорить об актуальности и практической важности данного научного направления.

Учитывая, что СИ по своему иерархическому положению в системе управления эксплуатацией является подчиненной подсистемой относительно системы управления (которая для СИ является системой макро уровня), формирование облика СИ заключается в поиске наиболее рационального способа информационного обеспечения задач управления эксплуатацией с использовани-

ем достигнутого на сегодняшний день уровня развития основ построения технической и функциональной структур СИ [1].

Под *рациональным вариантом построения СИ* будем понимать совокупность территориально распределенных средств сбора и обработки информации, каналов сбора и передачи данных с зафиксированными на данных элементах функциональными задачами, при которой достигаются требования по достоверности и своевременности решения указанных задач при наименьших затратах на сбор, обработку и передачу необходимой информации.

Общая задача исследований заключается в разработке методики обоснования рационального варианта построения информационной подсистемы системы эксплуатации КСр, позволяющей своевременно снабжать органы управления достоверной информацией для оперативного принятия решений по организации надежной и безопасной эксплуатации КСр.

При этом предполагаются известными сведения:

- о составе задач, решаемых в системе управления эксплуатацией при обеспечении надежной и безопасной эксплуатации КСр;
- о требованиях к количеству и качеству исходных данных для решения задач обеспечения надежной и безопасной эксплуатации КСр, достоверности и оперативности их решения;
- о составе и качественных параметрах элементов существующей технической структуры информационной подсистемы.

Общая задача исследований является достаточно сложной для непосредственного решения и поэтому она декомпозирована на ряд следующих частных задач:

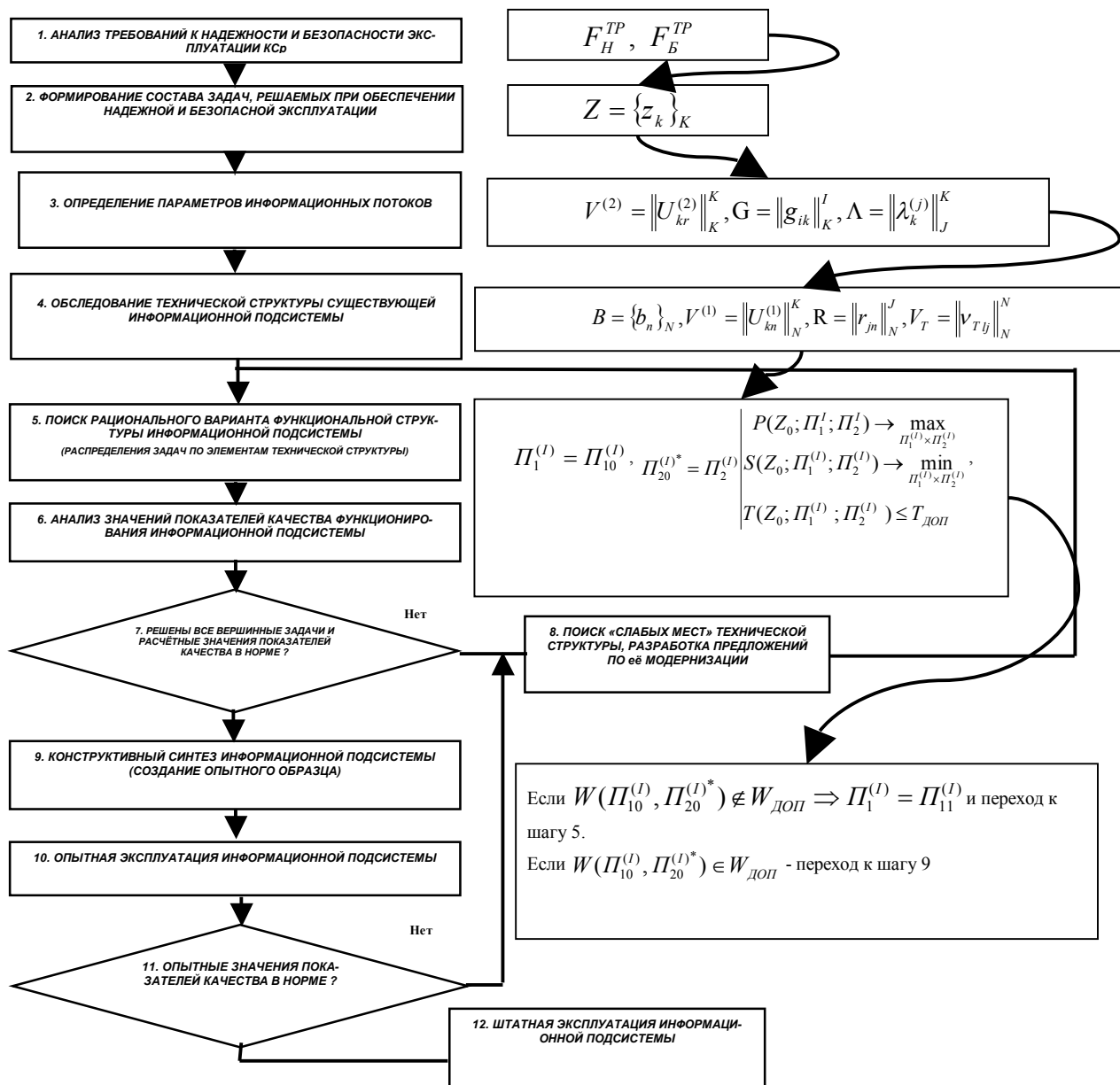
- разработка итерационного алгоритма обоснования рационального варианта построения информационной подсистемы;
- разработка математической модели и алгоритма построения оптимальной функциональной структуры информационной подсистемы;
- разработка математических моделей оценивания значений показателей качества функционирования СИ.

В ходе исследований разработан итерационный алгоритм обоснования рационального варианта построения информационной подсистемы, представленный на рис. 1.

Последовательность обоснования рационального варианта построения СИ, согласно представленному алгоритму, кратко можно пояснить следующим образом.

На основе анализа требований к надежности и безопасности эксплуатации КСр формируется множество задач, подлежащих решению в ходе управления эксплуатацией. Данное множество подвергается анализу с определением информационной взаимосвязи задач, очередности их решения и потребных ресурсов.

Существующая техническая структура действующей СИ обследуется с определением состава элементов, наличия на них первичной информации и ресурсов для решения множества выделенных задач, а также конкретной конфигурации и характеристик каналов сети передачи данных между элементами.



**Рис. 1.** Блок-схема алгоритма обоснования рационального варианта построения информационной подсистемы

Далее решается задача поиска оптимального варианта распределения задач по элементам технической структуры, критериям достоверности, финансовым и временным затратам. Если такое решение существует и по показателям качества удовлетворяет пользователя, то процедура обоснования рационального варианта построения СИ считается завершенной.

В противном случае проводится поиск "слабых мест" технической структуры, разрабатываются конкретные предложения по её модернизации и задача поиска оптимальной функциональной структуры СИ решается итерационно на новой технической структуре до тех пор, пока не будет достигнут приемлемый для пользователя результат.

Из всех основных операций рассматриваемого алгоритма наименее исследованными в научном плане являются операции 5 и 6, то есть поиска оптимального варианта функциональной структуры СИ и расчёта значений показателей качества функционирования СИ.

В связи с этим разработаны математическая модель и алгоритм построения оптимальной функциональной структуры СИ. Построение данной модели происходит в несколько этапов:

1. Сначала проводится формализованное описание структуры задач, решаемых в СИ. Оно включает:

- описание состава множества задач по сбору и обработке информации в СИ  $Z = \{z_k\}_K = \{z_1, z_2, \dots, z_K\}$ ;

- описание информационных взаимосвязей между задачами  $V^{(2)} = \left\| U_{kr}^{(2)} \right\|_K^K$  с выделением множества вершинных (то есть конечных) задач  $Z = Z_{np} \cup Z_0$ ;

- описание очередности решения информационно связанных задач  $G = \left\| g_{ik} \right\|_K^I$ ,

где  $g_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{если очередность } k\text{-й задачи равна } i, \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases}$ ,

$I$  – число классов задач, которые могут решаться одновременно;

- описание потребностей в ресурсах для всей совокупности решаемых задач  $\Lambda = \left\| \lambda_k^{(j)} \right\|_J^K$ ,

где  $\lambda_k^{(j)}$  – потребность в ресурсах  $j$ -го вида для решения  $k$ -й задачи,

$\lambda_k = \langle \lambda_k^{(1)}, \lambda_k^{(2)}, \dots, \lambda_k^{(j)}, \dots, \lambda_k^J \rangle$  – общие потребности в ресурсах на решение задачи  $z_k$ ;

$J$  – число видов ресурсов.

2. На следующем этапе проводится формализованное описание технической структуры СИ. Оно включает:

- описание состава множества элементов технической структуры СИ на различных уровнях иерархии  $B = \{b_n\}_N = \{b_1, b_2, \dots, b_N\}$ ;

- описание наличия на элементах СИ первичной информации  $V^{(1)} = \left\| U_{kn}^{(1)} \right\|_N^K$ ;

- описание необходимых для решения задач ресурсов  $R^{(j)} = \langle R_1^{(j)}, R_2^{(j)}, \dots, R_n^{(j)}, \dots, R_N^{(j)} \rangle$ ,  $j = \overline{1, J}$ ;

- описание структуры сети связи между элементами технической структуры СИ различных уровней  $V_T = \left\| v_{Tij} \right\|_N^N$ .

Построение функциональной структуры СИ можно представить в виде задачи многокритериального выбора варианта распределения задач по элементам технической структуры СИ с двухкомпонентной векторной целевой функ-

цией, включающей максимизацию показателя достоверности и минимизацию показателя затрат на решение вершинных (конечных для пользователя) задач

$$f_1(X) = \min_{z_j \in Z_0} P(z_j) \Rightarrow \max, \quad (1)$$

$$f_2(X) = \max_{z_j \in Z_0} S(z_j) \Rightarrow \min, \quad (2)$$

где  $P(z_j)$  – показатель достоверности решения вершинной задачи  $Z_j$ ;

$S(z_j)$  – показатель затрат на решение вершинной задачи  $Z_j$

при ограничениях:

$$\sum_{k \in \Gamma_i} g_{ik} x_{kn} \leq 1; \quad i = \overline{1, I}; \quad n = \overline{1, N}, \quad (3)$$

где  $\Gamma_i$  – множество номеров задач из класса  $Z^{(i)}$ ;

$$\max_{k=1, K} x_{kn} \lambda_k^{(j)} \leq R_n^{(j)}; \quad j = \overline{1, J}; \quad n = \overline{1, N}; \quad (4)$$

$$g_{ik} x_{kn} \lambda_k^{(j)} \leq R_n^{(j)}; \quad k \in \Gamma_i; \quad i = \overline{1, I}; \quad n = \overline{1, N}; \quad (5)$$

$$x_{kn} d_{kn} = 1; \quad k = \overline{1, K}; \quad n = \overline{1, N}; \quad (6)$$

$$\sum_{n=1}^N x_{kn} \sum_{r=1}^K \sum_{l=1}^N v_{kl}^{(1)} \beta_{nl} = \sum_{l=1}^N v_{kl}^{(1)}; \quad k = \overline{1, K}; \quad (7)$$

$$\sum_{n=1}^N x_{kn} \sum_{r=1}^K \sum_{l=1}^N x_{rl} \beta_{nl} v^{(2)} = \sum_{r=1}^N v_{kr}^{(2)}; \quad k = \overline{1, K}; \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^K \sum_{n=1}^N x_{kn} \left( \sum_{l=1}^N v_{kl}^{(1)} \beta_{nl} + \sum_{r=1}^K \sum_{l=1}^N v_{kr}^{(2)} x_{rl} \beta_{nl} \right) \leq V_{\text{Доп}}, \quad (9)$$

где  $\beta_{nl} = \text{sign} [v_{Tnl}]$ ;

$$\max_{z_j} T(z_j) \leq T_{\text{Доп}}. \quad (10)$$

### Сущность ограничений:

- (3) – каждую задачу из класса  $Z^{(i)}$  можно выполнять на любом одном элементе;

- (4) – промежуточные задачи одного класса не могут решаться одновременно, то есть на любом элементе системы не должно выполняться более одной задачи  $z_k \in Z^{(i)}$ ;

- (5) – необходимость обеспечения соответствия потребных ресурсов на решение задачи  $z_k$  с ресурсами элемента  $b_n$ ;

- (6) – совместимость задач с элементами системы при заданной матрице  $D = \|d_{kn}\|_N^K$ ;

- (7), (8) и (9) – ограничения по возможностям сети связи;

- (10) – ограничение на время решения вершинных задач.

Сформулированная задача относится к классу задач целочисленного комбинаторного программирования, решение которых методом полного перебора вариантов затруднено в силу ограниченности вычислительных ресурсов порогом Бремермана-Эшби. Поэтому предложен алгоритм её решения, заключающийся в сужении множества вариантов распределения задач по элементам технической структуры СИ методом целенаправленного перебора альтернатив на множестве информационно несвязанных задач.

Для количественного оценивания отдельных вариантов построения функциональной структуры СИ разработаны математические модели оценивания значений показателей качества функционирования СИ, включая оценивание

- показателей достоверности:

**Вероятность неискажения выходной информации  
при решении вершинной задачи**

$$P^{(I)} = P(\Psi) = P(\Psi^{(1)})P(\Psi^{(2)})P(\Psi^{(3)}), \quad (11)$$

где  $P(\Psi^{(1)})$ ,  $P(\Psi^{(2)})$ ,  $P(\Psi^{(3)})$  – вероятности неискажения информации в процессе контроля, передачи и обработки информации;

$$P(\Psi) = \prod_{k=1}^k \prod_{n=1}^N [p_{kn}(\Psi^{(1)})]^{y_{kn}} [p_{kn}(\Psi^{(3)})]^{x_{kn}} \prod_{i=1}^N [p_{ln}(\Psi^{(3)})]^{\alpha_{kl}}, \quad (12)$$

где  $p_{kn}(\Psi^{(1)})$ ,  $p_{kn}(\Psi^{(3)})$  – достоверности преобразования информации при реализации  $k$ -й процедуры на  $n$ -м элементе соответственно для процедур сбора и обработки информации;

$p_{ln}(\Psi^{(3)})$  – достоверность преобразования при передаче информации по каналу связи между  $l$ -м и  $n$ -м элементами;

$$y_{kn} = \text{sign} V_{kn}^{(1)};$$

$$\alpha_{kl} = \text{sign}(x_{kl} + \sum_{r=1}^k x_{rn} V_{rk}^{(2)});$$

- стоимостных показателей:

**1. Суммарные приведённые затраты на построение СИ**

$$S_0 = E_n \sum_{i=1}^I S_{k_i}, \quad (13)$$

где  $E_n$  – нормативный коэффициент сравнительной эффективности капитальных вложений,  $E_n=0,15$ ;

$S_{k_i}$  – капитальные затраты на элементы СИ  $i$ -го вида, включая: капитальные вложения на аппаратуру контроля, обнаружения, диагностирования отказов, сбора, хранения, обработки и передачи информации;

## 2. Суммарные приведенные эксплуатационные затраты

$$S^{(1)} = \sum_{k=1}^k \sum_{n=1}^N x_{kn} \left[ S_{kn} + \sum_{l=1}^N v_{kl}^{(2)} c_{nl} + \sum_{r=1}^k \sum_{i=1}^N v_{kr}^{(2)} x_{ri} c_{nl} \right], \quad (14)$$

где  $S_{kn}$  – затраты на решение  $k$ -й задачи на  $n$ -м элементе;

$c_{ln}$  – затраты на передачу единицы объёма информации между элементами  $n$  и  $l$ ;

- временных показателей:

### 1. Среднее время решения вершинной задачи

$$\overline{T^{(i)}} = \sum_{i=1}^I \tau_{i \max}; \quad (15)$$

### 2. Верхняя оценка времени решения вершинной задачи

$$T_{\max}^{(i)} = \sum_{i=1}^I \max_{k \in k} \max_{n=1, N} x_{kn} g_{ik} [t_{kn} + \max_{l=1, N} (V_{kl}^{(1)} v_{Tln}^{-1} + \max_{r=1, k} \sum_{l=1}^I x_{rl} V_{kr}^{(2)} v_{Tln}^{-1})]. \quad (16)$$

Проведенные расчёты показателей качества функционирования СИ с оптимизированной (на основании разработанных в ходе исследований модели и алгоритма) функциональной структурой показали, что при этом достигаются приемлемые для пользователя значения данных показателей. Применение разработанного научно-методического обеспечения позволяет обеспечить решение всего спектра задач по внедрению современной стратегии эксплуатации, основанной на комплексном сочетании принципов группового и индивидуального оценивания ТС при выполнении требований к надёжности и безопасности.

Оптимизация технической и функциональной структур СИ позволяет обеспечить требования к необходимой достоверности решения задач в СИ при снижении в 3,5-4 раза финансовых и в 7,5-9 раз временных затрат на сбор, обработку исходной информации и решение задач обеспечения надёжной и безопасной эксплуатации.

## Литература

1. *Эксплуатация* космических средств: теория и практика. Учебник / Сизяков Н.П., Баранов Л.Т., Гузенко В.Л. и др. С.-Пб: ВКА им. А.Ф.Можайского, 2003. – Ч.1, 287 с., Ч.2, 482 с.