

Подводя итог, можно отметить необходимость применения данной методики для определения рекомендуемых значений соотношения стойкости шарошечного долота и скорости бурения, соответствующего оптимальной эффективности функционирования технической системы «буровой станок – шарошечное долото – горная порода». В свою очередь значения стойкости долота и скорости бурения должны контролироваться в постоянном режиме с учетом изменяющихся свойств горной породы.

Библиографические ссылки

1. Шигина А. А., Шигин А. О., Ступина А. А. Сравнительная оценка методов анализа эффективности функционирования буровых станков // Современ. проблемы науки и образования. 2012. № 6.
2. Подэрни Р. Ю. Горные машины и комплексы для открытых работ : учеб. пособие. 4-е изд. М. : Изд-во МГГУ, 2001.
3. Техника, технология и опыт бурения скважин на карьерах / под ред. В. А. Перетолчина. М. : Недра, 1993.
4. Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя : в 3 т. Т. 2. 8-е изд., перераб. и доп. / под ред. И. Н. Жестковой. М. : Машиностроение, 2001.
5. Решетов Д. Н. Детали машин : учебник. 4-е изд. М. : Машиностроение, 1989.

6. Шигин А. О., Гилев А. В. Методика расчета усталостной прочности как основного фактора стойкости шарошечных долот // Вестн. Иркут. гос. техн. ун-та. 2012. № 3. С. 22–27.

7. Борисов А. А. Механика горных пород и массивов. М. : Недра, 1980.

References

1. Shigina A. A., Shigin A. O., Stupina A. A. *Sovremennye problemy nauki i obrazovanija*, 2012, no. 6, available at: www.science-education.ru/106-7924.
2. Podjerni R. Ju. *Gornye mashiny i komplekсы dlja otkrytyh работ* (Mining machines and complexes for open cast mining). Moscow, MGGU, 2001, 422 p.
3. Equipment, technology and experience of bore-hole drilling on quarries (*Tehnika, tehnologija i opyt burenija skvazhin na kar'erah*). Moscow, Nedra, 1993, 286 p.
4. Anurev V. I. *Spravochnik konstruktora-mashinostroitelja* (Directory of the designer-mechanician). Moscow, Mashinostroenie, 2001, 912 p.
5. Reshetov D. N. *Detali mashin* (Machinery). Moscow, Mashinostroenie, 1989, 496 p.
6. Shigin A. O., Gilev A. V. *Vestnik Irkutskogo Gosudarstvennogo Tehnicheskogo Universiteta*, 2012, no. 3 (62), pp. 22–27.
7. Borisov A. A. *Mehanika gornyh porod i massivov* (Rock mechanics and massifs). Moscow, Nedra, 1980, 360 p.

© Ступина А. А., Шигина А. А., Шигин А. О., 2013

УДК 681.34

ФОРМИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ АСУ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ СВЯЗИ И НАВИГАЦИИ*

Р. Ю. Царев¹, Д. В. Капулин², Г. А. Сидорова¹, М. А. Сержантова¹, Н. А. Бесчастная¹

¹Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева
Россия, 660014, Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31. E-mail: rahatamatahata@mail.ru

²Сибирский федеральный университет
Россия, 660074, Красноярск, ул. Академика Киренского, 26а

Определены задачи и этапы формирования структуры АСУ космических систем связи и навигации, выделены уровни детализации построения системы. Разработана схема комбинированной реализации оптимизационных и имитационных моделей для формирования оптимальной структуры АСУ космических систем связи и навигации.

Ключевые слова: космические системы, формирование, оптимизация, структура, система управления.

* Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение 14.В37.21.0116 «Модели, методы и алгоритмы синтеза и управления развитием кластерных структур АСУ космических систем связи и навигации».

**FORMATION OF OPTIMUM STRUCTURE OF ACS
OF SPACE COMMUNICATION SYSTEMS AND NAVIGATION ***

R. Yu. Tsarev¹, D. V. Kapulin², G. A. Sidorova¹, M. A. Serzhantova¹, N. A. Beschastnaya¹

¹Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev
31 “Krasnoyarsky Rabochy” prosp., Krasnoyarsk, 660014, Russia. E-mail: rahatamatahata@mail.ru

²Siberian Federal University
26a Kirenskiy st., Krasnoyarsk, 660074, Russia

In the article tasks and stages of formation of structure of ACS of space communication systems and navigation are defined, levels of specification of creation of the system are allocated. The scheme of the combined realization of optimizing and imitating models is developed for formation of optimum structure of ACS of space communication systems and navigation.

Keywords: space systems, formation, optimization, structure, control system.

Автоматизированные системы управления космических систем связи и навигации представляют собой иерархические многофункциональные и многоконтурные комплексы с развитыми средствами связи между управляющими узлами. Они включают в себя совокупность наземных измерительных пунктов различных типов, распределенных по значительной территории, каналы связи, обеспечивающие передачу информации между элементами системы, узлы связи и управляющие узлы различных уровней иерархии.

Появление новых классов космических аппаратов и расширение их функций требуют совершенствования структуры автоматизированных систем управления космических систем (АСУ КС). Проектирование подобных систем включает определение элементов и подсистем АСУ КС в пространстве, выбор комплекса технических средств, обеспечивающих выполнение функций управления с учетом пространственного размещения комплекса и доступности узлов, распределение множества выполняемых функций по узлам системы с учетом взаимосвязи по технологии обработки информации и управления. При этом должны быть обеспечены требования к качеству управления системой.

Постановка задачи. При синтезе структуры АСУ КС возникают задачи рационального распределения функций между управляющим комплексом и остальными узлами системы, задачи выбора технических

средств в узлах системы и каналов связи между ними с учетом различных тактико-технических и технико-экономических требований к функционированию АСУ КС [1–3]. Возникающие при этом математические постановки задачи синтеза структуры системы могут быть формализованы с использованием дискретных переменных различного уровня детализации системы. Необходимо определить последовательность задач и этапов формирования структуры АСУ космической системы связи и навигации и решить задачу выбора пунктов управления АСУ космической системы за счет комбинированной реализации оптимизационных и имитационных моделей.

Метод решения. Последовательность задач и этапов формирования структуры АСУ КС приведена на рис. 1. На начальных этапах формулируются требования к разрабатываемой АСУ КС, выбирается состав характеристик и критериев эффективности вариантов структуры системы. Определяется возможный состав узлов, вариантов их построения и территориального расположения, а также характеристики этих вариантов. Выделяются функции управления в системе, которые детализируются до комплекса взаимосвязанных задач управления и вариантов их решения (или до вариантов построения процедур обработки информации и информационных массивов), обеспечивающих выполнение заданных функций управления (рис. 1).

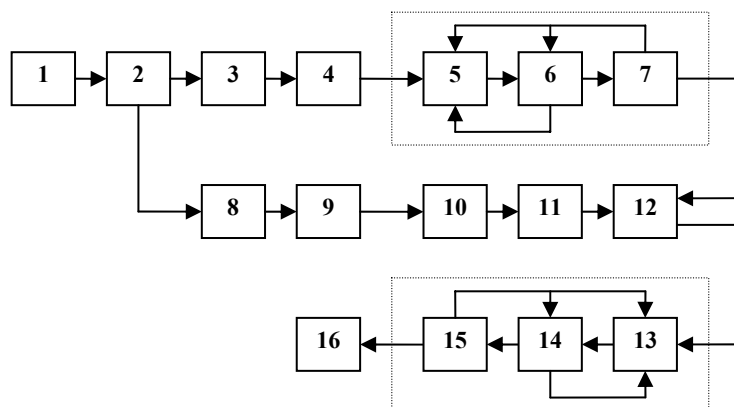


Рис. 1. Последовательность задач и этапов формирования структуры АСУ космической системы связи и навигации

Последовательность задач и этапов формирования структуры АСУ космической системы связи и навигации, представленных на рис. 1:

- 1 – формулировка задачи формирования структуры АСУ космической системы связи и навигации;
- 2 – уточнение и выбор состава учитываемых характеристик и критериев эффективности вариантов структуры;
- 3 – определение возможного состава узлов управления и их взаимосвязей;
- 4 – формализация вариантов построения топологической структуры системы (построения графа взаимосвязанной совокупности задач управления, выполняемых АСУ КС, G_J);
- 5 – модель оптимизации топологической структуры (выбор $G_J^* \subset G_J$);
- 6 – имитационная модель топологической структуры АСУ космической системы связи и навигации;
- 7 – блок анализа и коррекции решения;
- 8 – определение состава функций задач управления и их взаимосвязей;
- 9 – определение вариантов выполнения функций и задач управления;
- 10 – определение возможного набора технических средств выполнения функций и задач управления;
- 11 – формализация вариантов выполнения функций и задач (построение графа топологической структуры АСУ КС, отражающего набор возможных вариантов построения и пространственного размещения управляющих узлов системы и каналов связи между ними, G_I);
- 12 – формализация построения функциональной структуры АСУ космической системы связи и навигации (построение отображения G_I на G_J);
- 13 – модель оптимизации функциональной структуры системы;
- 14 – имитационная модель функциональной структуры системы;
- 15 – блок анализа и коррекции решения;
- 16 – получение оптимального варианта структуры системы.

Далее выделенные варианты построения комплекса взаимосвязанных задач управления и варианты построения управляющих узлов (включая варианты оснащения их техническими средствами управления) формализуются в виде графов G_I и G_J , которые служат основой для формализованных этапов синтеза топологической и функциональной структуры системы (выделенные блоки 5–7, 13–15 на рис. 1).

Рассматриваемые задачи могут быть формализованы с использованием аппарата графов и отображений. Общая схема формирования структуры АСУ КС включает следующие этапы:

- 1) построение графа топологической структуры АСУ КС G_I , отражающего набор возможных вариантов построения и пространственного размещения управляющих узлов системы и каналов связи между ними;
- 2) построение графа взаимосвязанной совокупности задач управления G_J , выполняемых АСУ КС;
- 3) формализация отображения графов G_I на G_J .

Таким образом, задача синтеза топологической структуры системы состоит в поиске оптимального подграфа на графе G_J узлов АСУ КС, а задача синтеза функциональной структуры – в поиске оптимального отображения графа G_I на граф G_J топологической структуры системы.

Для АСУ КС целесообразно выделять следующие уровни детализации построения системы [4]:

- выбор состава и топологии наземных пунктов управления (агрегированная переменная X);
- выбор варианта защищенности пунктов управления от внешних воздействий и выбор комплексов технических средств в узлах (агрегированная переменная Y);
- выбор варианта распределения функций и задач управления между выбранными узлами управления и техническими средствами (агрегированная переменная Z).

При этом общую задачу формирования структуры АСУ КС можно записать следующим образом [5]:

$$\text{extr } F(X, Y, Z) = f_1(X) + f_2(X, Y) + f_3(X, Y, Z);$$

$$X \in G_1, \quad Y \in G_2(X), \quad Z \in G_3(X, Y),$$

где $X = \{x_j\}$, $Y = \{y_{jk}\}$, $Z = \{z_{ijk}\}$ – булевы векторы, связанные между собой следующим образом: для всех $j \in J$, $k \in K$, $i \in I$; $y_{jk} \geq 0$, если $x_j > 0$; $y_{jk} > 0$, если $x_j = 0$; $z_{ijk} \geq 0$, если $y_{jk} > 0$; $z_{ijk} = 0$, если $y_{jk} = 0$.

Можно отметить, что в общем случае ряд ограничений задачи может быть задан алгоритмически, что требует, в свою очередь, организации итеративных схем решения указанных задач с учетом итераций решения общей задачи формирования структуры АСУ КС. На практике такие сложные процедуры реализуются в виде человеко-машинных схем синтеза, включающих возможности «конструктора системы» в режиме диалога вмешиваться и корректировать результаты промежуточных решений и ход оптимизации.

Для решения проблем синтеза структуры распределенных АСУ КС на основе методологии синтеза структуры сложных систем при выполнении исследовании по проекту «Модели, методы и алгоритмы синтеза и управления развитием кластерных структур АСУ космических систем связи и навигации» (при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение 14.В37.21.0116) разработан комплекс взаимосвязанных моделей и алгоритмов и итеративные схемы их взаимодействия при синтезе топологической (пространственной) и функциональной структуры системы (рис. 2).

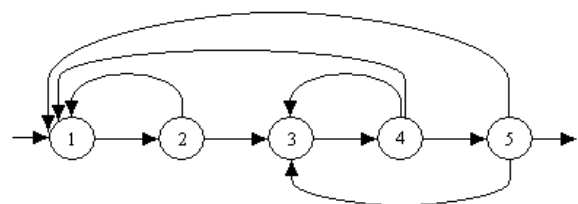


Рис. 2. Схема комбинированной реализации оптимизационных и имитационных моделей для выбора пунктов управления

На первом этапе синтеза АСУ КС (блок 1) решается задача выбора состава и пространственного размещения управляющих узлов с учетом затрат на их организацию, доступность и глобальность управления различными классами космических аппаратов (КА).

Предполагается, что на заданной территории определено множество пунктов, входящих в АСУ КС, в которых могут создаваться узлы управления, непосредственно взаимодействующие с КА. Зоны видимости различных пунктов управления разбивают проекции траекторий движения КА на участки. Совокупность участков различных пунктов определяет доступность КА пунктами управления и глобальность АСУ КС. Задача синтеза структуры АСУ КС состоит в выборе совокупности узлов управления, минимизирующей затраты на их создание при условии выполнения требований к глобальности управления для каждого класса КА и некоторых других требований, например, к количеству узлов, взаимодействующих с каждым классом объектов, и др. [6].

Для определения алгоритмически заданных характеристик функционирования синтезированного варианта структуры АСУ КС предназначены имитационные модели взаимодействия элементов заданной топологической структуры (блок 2). Модель позволяет анализировать функционирование системы с различным числом и расположением наземных пунктов управления, различным количеством классов КА и числом КА в каждом классе, различным числом типов управляющих взаимодействий между пунктами управления и КА. В результате моделирования определяются характеристики эффективности работы наземных пунктов управления (общая загрузка, загрузка по типам взаимодействия и классам КА) и качество управления совокупностью КА различных классов (число взаимодействий, их длительность, число несущественных взаимодействий и т. д.).

В блоках 3, 4 для выбранной совокупности пунктов управления и их взаимосвязей определяются варианты построения узлов и связей между ними, обеспечивающие повышение живучести системы, определяемой вероятностью выполнения системой функций управления с учетом возможных неблагоприятных внешних воздействий.

Различные варианты построения узлов АСУ КС и связей между ними, направленные на увеличение живучести системы, формализуются в виде графа G_j . Для повышения живучести используется дублирование узлов и каналов связи, повышение защищенности узлов и т.д. Каждый вариант построения узлов или каналов связи характеризуется затратами на их осуществление и вероятностью выхода из строя за рассматриваемый интервал времени. Для каждого класса объектов задается минимальная совокупность узлов, функционирование которых обеспечивает выполнение заданных функций управления. Предполагается, что такой совокупностью являются элементы, соединяющие объект с центром управления.

Задача определения вариантов построения АСУ КС состоит в минимизации затрат на мероприятия,

обеспечивающие выполнение системой функций управления при ограничениях, характеризующих живучесть системы управления для различных классов объектов.

Такой выбор осуществляется в результате реализации аналитико-имитационной процедуры, выполняющей взаимодействие в процессе синтеза оптимизационной модели выбора вариантов реализации элементов системы (блок 3) и имитационной модели (блок 4).

Для детального учета вероятностных характеристик функционирования сгенерированных вариантов построения и обеспечения живучести системы предназначен комплекс имитационных моделей (блок 4), который позволяет анализировать функционирование системы при различных величинах интенсивности и для различных законов распределения выхода из строя элементов системы (узлов управления, каналов связи и др.).

В соответствии с общей методологией синтеза структуры сложных систем генерирование вариантов для их детального анализа и выбора осуществляется с помощью моделей оптимизации (блок 3). При этом предполагаются заданными следующие величины:

$P_{ik} (k = \overline{1, K_i}, i = \overline{1, I})$, $P_{jk} (k = \overline{1, K_j}, j = \overline{1, J})$, $P_{Rk} (k = \overline{1, K_R})$ – вероятности надежной работы k -го варианта построения i -го объекта, j -го узла АСУ КС, R -го ретранслятора за рассматриваемый интервал времени с учетом неблагоприятных внешних воздействий; индекс $j = 0$ соответствует центральному узлу управления, а индексы $j = \overline{1, J}$ – совокупности наземных узлов управления; P_{ijk} , P_{iRk} , P_{Rjk} , P_{j0k} – вероятности успешной работы вариантов построения каналов связи между объектом и наземным узлом управления, объектом и ретрансляторами, ретрансляторами и наземным узлом управления, наземным узлом управления и центром за рассматриваемый интервал времени с учетом неблагоприятных воздействий; C_{ik} , C_{jk} , C_{Rk} , C_{ijk} , C_{iRk} , C_{Rjk} , C_{j0k} – затраты на организацию вариантов построения объектов, ретрансляторов, центра и каналов связи, наземных узлов управления.

Задача выбора вариантов построения элементов АСУ КС состоит в минимизации затрат:

$$\min \left(\sum_{\alpha} \sum_k C_{\alpha k} + \sum_{\beta} \sum_k C_{\beta k} x_{\beta k} \right)$$

при ограничениях

$$P_{i0} (x_{ik}, x_{0k}) [P_{Rk} (x_{Rk}, x_{iRk}) (1 - P_{ijk} (x_{ijk}, x_{Rjk}, x_{jk})) + (1 - P_{Rk} (x_{Rk}, x_{iRk})) (1 - P_{ij} (x_{ijk}, x_{jk}))] \geq P_i^{\text{нон}}, \quad i = \overline{1, I};$$

$$\sum_k x_{\alpha k} = 1, \quad \alpha = i, j, R;$$

$$\sum_k x_{\beta k} = 1, \quad \beta = \{iR, ij, jR, j0\},$$

где $x_{ik} = 1$, если выбирается k -й вариант построения i -го объекта; $x_{jk} = 1$, если выбирается k -й вариант

построения j -го узла; $x_{Rk} = 1$, если выбирается k -й вариант построения ретранслятора; $x_{imk} = 1$, если выбирается k -й вариант связи соответственно между элементами i и j , i и R , R и j , j и 0 (центральный узел управления); $x_{ik} = x_{jk} = x_{Rk} = x_{imk} = 0$ – в противном случае.

Величины P_{i0} , P_{Rk} , P_{ijk} , P_{ij} вычислены по следующим формулам:

$$P_{i0}(x_{ik}, x_{0k}) = \left(\sum_k P_{ik} x_{ik} \right) \left(\sum_k P_{0k} x_{0k} \right);$$

$$P_{Rk}(x_{Rk}, x_{iRk}) = \left(\sum_k P_{Rk} x_{Rk} \right) \left(\sum_k P_{iRk} x_{iRk} \right);$$

$$P_{ij}(x_{ijk}, x_{jk}) = \prod_j \left[1 - \left(\sum_k P_{ijk} x_{ijk} \right) \left(\sum_k P_{jk} x_{jk} \right) \right];$$

$$P_{ijk}(x_{ijk}, x_{Rjk}, x_{jk}) = \prod_j \left[1 - \left(1 - \sum_k P_{ijk} x_{ijk} \right) \left(1 - \sum_k P_{jk} x_{jk} \right) \right].$$

Для решения задачи предлагается использовать алгоритм, основанный на методе ветвей и границ [7]. В целях сокращения размерности задачи на графе G_j вариантов построения узлов системы и их взаимосвязей предусмотрено выделение последовательных участков, определение агрегированных вариантов построения выделенных участков и их характеристик. При этом из графа G_j исключаются агрегированные варианты участков, над которыми доминируют оставшиеся.

На последующем этапе синтеза (блок 5) для найденного множества узлов АСУ КС, работающих с объектами различных классов, и заданных функций управления по каждому классу объектов определяется оптимальное распределение задач взаимосвязанных подсистем по уровням и узлам системы и выбирается состав комплекса технических средств. Функции управления задаются в виде множества задач, выполняемых различными подсистемами (контурами) управления.

Типовая подсистема управления АСУ КС предназначена для выполнения последовательности взаимосвязанных функций (задач) по измерению, передаче и обработке информации о совокупности контролируемых параметров КА, выработке управляющих воздействий и контролю за их реализацией [8]. Проблема состоит в оптимизации распределения задач, входящих в контур управления, по уровням и управляющим узлам АСУ КС и определении набора технических средств, минимизирующих затраты на оснащение узлов техническими средствами и их эксплуатацию, при выполнении ограничений по оперативности, аппаратной надежности выполнения задач управления, массе и энергопотреблению бортовой аппаратуры, загрузке узлов и др.

Варианты распределения функций и задач по уровням и узлам АСУ КС формализуются в виде со-

вокупности взаимосвязанных графов G_0 . Специфика АСУ КС заключается в том, что каждый путь отдельного графа соответствует некоторому варианту построения соответствующего контура управления системы. Подграф, состоящий из набора путей графов, задает структуру всей системы.

Таким образом, в рамках единого подхода определены задачи и этапы формирования структуры АСУ космической системы связи и навигации, включая последовательность решения взаимосвязанных задач формирования основных элементов и частей системы, а также выбор рационального варианта структуры создаваемой АСУ космической системы связи и навигации. Проведенный анализ задач формирования структуры АСУ космических систем связи и навигации показал, что целесообразно выделять следующие уровни детализации построения системы:

- выбор состава и топологии наземных пунктов управления;
- выбор варианта защищенности от внешних воздействий;
- выбор комплексов технических средств в узлах АСУ космической системы связи и навигации;
- выбор варианта распределения функций и задач управления между выбранными узлами управления и техническими средствами.

Для решения задачи выбора пунктов управления АСУ космической системы связи и навигации разработана схема комбинированной реализации оптимизационных и имитационных моделей. Такая схема позволяет эффективно использовать указанные модели в рамках единого оптимизационно-имитационного подхода к формированию структуры АСУ космических систем связи и навигации, что обеспечивает рациональное распределение функций между управляющим комплексом АСУ и остальными узлами системы, а также позволяет проводить обоснованный выбор технических средств с учетом различных требований к функционированию АСУ космических систем связи и навигации.

Библиографические ссылки

1. Антамошкин О. А. Применение метода многоатрибутивного принятия решений для выбора состава бортовой системы обмена информацией // Вестник СибГАУ. 2005. Вып. 6. С. 96–99.
2. Синтез и управление развитием кластерных структур АСУ космических систем / Р. Ю. Царев, Д. В. Капулин, А. В. Штарик, Е. Н. Штарик // Вестник СибГАУ. 2012. Вып. 2 (42). С. 80–84.
3. Тюпкин М. В. Аппаратно-информационные технологии управления космическими аппаратами // Успехи совр. естествознания. 2006. № 9. С. 111–113.
4. Оптимизационно-имитационный подход к синтезу автоматизированных систем управления / И. В. Ковалев, М. В. Тюпкин, Р. Ю. Царев, Ю. Д. Цветков // Программные продукты и системы. 2007. № 3. С. 73–74.
5. Цвиркун, А. Д., Акинфиев В. К., Филиппов В. А. Имитационное моделирование в задачах синтеза структуры сложных систем. М. : Наука, 1985.

6. Усольцев А. А., Антамошкин О. А., Ковалев И. В. Совершенствование процессов проектирования бортовых систем обмена информацией // Вестник НИИ СУВПТ. 2003. Вып. 12. С. 60–69.

7. Островский Г. М. Современные методы оптимизации сложных систем. Оптимизация технических систем в условиях неопределенности. М.: МИСиС, 2007.

8. Усольцев А. А. Анализ методов структурно-параметрического описания объекта проектирования // Вестник НИИ СУВПТ. 2003. Вып. 12. С. 19–27.

Referens

1. Antamoshkin O. A. *Vestnik SibGAU*. 2005, № 6, pp. 96–99.

2. Tsarev R. Yu., Kapulin D. V., Shtarik A. V., Shtarik Ye. N. *Vestnik SibGAU*. 2012, № 2 (42), pp. 80–84.

3. Tyupkin M. V. *Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya*. 2006, № 9, pp. 111–113.

4. Kovalev I. V., Tyupkin M. V., Tsarev R. Yu., Tsvetkov Yu. D. *Programmnyye produkty i sistemy*. 2007, № 3, pp. 73–74.

5. Tsvirkun, A. D., Akinfiyev V. K., Filippov V. A. *Imitatsionnoye modelirovaniye v zadachakh sinteza struktury slozhnykh system* (Simulation modeling in the synthesis of the structure of complex systems). Moscow, Nauka, 1985, 173 p.

6. Usoltsev A. A., Antamoshkin O. A., Kovalev I. V. *Vestnik NII SUVPT*. Krasnoyarsk, NII SUVPT, 2003, vol. 12, pp. 60–69.

7. Ostrovskiy G. M. *Sovremennyye metody optimizatsii slozhnykh sistem. Optimizatsiya tekhnicheskikh sistem v usloviyakh neopredelennosti* (Modern methods of optimization of complex systems. Optimization of technical systems in the face of uncertainty). Moscow, MISiS, 2007, 127 p.

8. Usoltsev A. A. *Vestnik NII SUVPT*. Krasnoyarsk, NII SUVPT, 2003, vol. 12, pp. 19–27.

© Царев Р. Ю., Капулин Д. В., Сидорова Г. А., Сержантова М. А., Бесчастная Н. А., 2013

УДК 681.34

АНАЛИТИКО-ИМИТАЦИОННАЯ ПРОЦЕДУРА ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ АСУ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ СВЯЗИ И НАВИГАЦИИ*

Р. Ю. Царев¹, А. В. Прокопенко², С. В. Литошик¹, П. В. Зеленков¹, В. В. Брезицкая¹

¹Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева
Россия, 660014, Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31. E-mail: rahatamatahata@mail.ru

²Сибирский федеральный университет
660074, Красноярск, ул. Академика Киренского, 26а

Представлено описание моделей и методов поддержки принятия решений при выборе пунктов управления космическими аппаратами связи и навигации, в частности, аналитико-имитационная процедура формирования базового множества пунктов управления космическими аппаратами, включающая имитационную модель отсева варианта структуры по алгоритмически заданным ограничениям на атрибуты.

Ключевые слова: формирование структуры АСУ, аналитико-имитационная процедура.

ANALYTICAL AND SIMULATION PROCEDURE OF FORMATION OF STRUCTURE OF ACS OF SPACE COMMUNICATION SYSTEMS AND NAVIGATION

R. Yu. Tsarev¹, A. V. Prokopenko², S. V. Litoshik¹, P. V. Zelenkov¹, V. V. Brezitskaya¹

¹Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev
31 “Krasnoyarskiy Rabochiy” prosp., Krasnoyarsk, 660014, Russia. E-mail: rahatamatahata@mail.ru

²Siberian Federal University
26a Kirenskiy st., Krasnoyarsk, 660074, Russia

The description of models and methods of support of decision-making is presented in article at the choice of points of communication and navigation spacecrafts control, in particular the analytical and simulation procedure of formation of the basic set of points of spacecrafts control, including imitating model of sifting of structure variants according to algorithmically set restrictions on attributes.

Keywords: formation of structure of ACS, analytical and simulation procedure.

*Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение 14.В37.21.0116 «Модели, методы и алгоритмы синтеза и управления развитием кластерных структур АСУ космических систем связи и навигации».