

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНО УСТОЙЧИВЫХ НАВИГАЦИОННО-ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

А. Н. КОРОЛЕВ<sup>1</sup>, О. В. КЕМ<sup>2</sup>, В. А. МИРОНИЧЕВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> „НИИ КС имени А. А. Максимова“ – филиал АО „ГКНПЦ им. М. В. Хруничева“,  
141091, Московская область, г. Королев, Россия  
E-mail: info@niiks.com

<sup>2</sup> Государственная корпорация по космической деятельности „Роскосмос“,  
129110, Москва, Россия

Рассматриваются общие проблемы моделирования навигационно-информационных систем с использованием математического аппарата теории категорий и теории графов для анализа и оценки возможности обеспечения функциональной устойчивости систем при деструктивных воздействиях.

**Ключевые слова:** навигационно-информационные системы, функциональная устойчивость, качество функционирования, теория категорий, иерархические системы

Навигационно-информационные системы (НИС) представляют собой достаточно широкий обособленный класс автоматизированных информационно-управляющих систем, обеспечивающих обработку пространственно-временных и иных данных; основой НИС служит навигационная и телеметрическая информация о подвижных объектах управления (ОУ) и контроля.

В общем случае в состав НИС входят: управляющий орган, который может иметь достаточно сложную территориально-распределенную иерархическую структуру; подсистема подвижной радиосвязи, обеспечивающая передачу телеметрической информации от объекта (объектов) управления управляющему органу и команд управления обратно; объект (объекты) управления, на котором имеются взаимодействующие с навигационными полями средства определения параметров движения, местоположения и времени, средства определения состояния объекта и окружающей среды; исполнительные органы управления объектом. В зависимости от типа НИС ее структура может содержать или не содержать отдельные элементы. Так, в НИС, в которых управляющий орган находится на объекте управления (например, автомобильные и персональные навигаторы), отсутствует система подвижной связи.

Навигационные поля могут быть естественного или искусственного происхождения. К естественным навигационным полям можно отнести, например, магнитное и гравитационное поля Земли. В этих случаях навигационное поле строится как поле пространственно-распределенных аномалий (гравитационных или магнитных), измерение которых соответствующими датчиками, установленными на объекте, позволяет получить информацию о его текущем местоположении. Другим примером происхождения естественных навигационных полей можно считать построение инерциального базиса в пространстве для использования методов инерциальной навигации или астронавигацию по картам звездного неба. Преимуществом использования естественных навигационных полей является отсутствие затрат на их создание и поддержание, недостатки — низкая точность (поля гравитационных или магнитных аномалий), низкая доступность (астронавигация), накопление ошибок (инерциальная навигация). Искусственные навигационные поля, в отличие от естественных, формируются специальными навигационными системами. По способу базирования выделяют спутниковые и наземные навигационные системы [1], по зоне действия — глобальные навигационные спутнико-

вые системы (ГНСС), системы ближней и дальней навигации. Искусственные навигационные поля, как правило, представляют собой зоны распространения навигационных радиосигналов, поэтому эти поля называют радионавигационными. Наибольшее распространение в настоящее время получили НИС, использующие радионавигационные поля ГНСС. Этот факт обусловлен тем, что ГНСС ГЛОНАСС (РФ), GPS (США), а в ближайшей перспективе и Galileo (ЕС) обеспечивают глобальную зону покрытия, высокую точность и доступность. Еще одним немаловажным фактором является то, что ГНСС ГЛОНАСС и GPS обеспечивают бесплатный доступ к навигационным радиосигналам гражданского назначения.

Любая НИС так или иначе представляет собой разновидность автоматизированной системы управления, которая состоит из персонала и комплекса средств автоматизации его деятельности, реализующих информационную технологию выполнения установленных функций. При этом на работоспособность НИС, помимо внутренних и внешних (окружающая среда) деструктивных воздействий, существенное влияние оказывает связанная с движением объектов управления пространственная реконфигурация системы вследствие пространственно-временных неоднородностей телекоммуникационной среды и искусственных навигационных полей ГНСС. В связи с этим одним из наиболее существенных свойств НИС является ее функциональная устойчивость, т.е. свойство сохранять или восстанавливать (полностью или частично) возможность выполнения возложенных на нее функций.

Для реализуемого НИС набора  $F$  из  $N$  функций можно сформировать множество  $Q$  уровней качества функционирования системы, состоящее из непересекающихся частично упорядоченных подмножеств  $\{Q^i\}$  с элементами  $q_k^i \in Q^i, i = \overline{1, N}$ . В свою очередь, на множестве  $Q$  можно построить множество векторов  $A = \{a_j\}, a_j = \{q_i^j\}, q_i^j \in Q^i$ , где каждый вектор  $a_j$  определяет некий уровень качества реализации набора функций  $F$  НИС. При этом на множестве векторов  $A$  должен быть введен частичный порядок, такой что для любых двух векторов  $a_i$  и  $a_j$  вектор  $a_i$  предпочтительнее  $a_j$ , если для каждой задачи  $f_m$  из набора  $F$  качество ее реализации  $q_m^i \in a_i$  не хуже качества реализации этой функции  $q_m^j \in a_j$ .

Тогда функциональная устойчивость НИС может быть определена следующим образом: система является функционально устойчивой на интервале времени  $\Delta t$ , если при любом наборе деструктивных воздействий  $R_{\Delta t}$  в течение этого интервала существует хотя бы одно работоспособное распределение  $k^*(Z_{\Delta t})$  доступных на интервале  $\Delta t$  ресурсов НИС  $Z_{\Delta t}$ , обеспечивающее с учетом состояния навигационного и связного полей реализацию набора функций  $F$  с уровнем качества не ниже  $a_{\lim}[2]$ :

$$\forall (R_{\Delta t} \in R, e_m^N \in E_{\Delta t}^N, e_m^G \in E_{\Delta t}^G), \exists k^*(Z_{\Delta t}) \in K, a(k^*, e_m^N, e_m^G) \succeq a_{\lim}.$$

Таким образом, для оценки функциональной устойчивости НИС необходимо иметь модели, идентифицирующие следующие отображения.

1. Модель угроз:

$$\zeta_1 : R \times T \rightarrow R_{\Delta t}.$$

Отображение  $\zeta_1$  определяет возможную совокупность (в общем случае и ее внутреннюю структуру) деструктивных воздействий  $R_{\Delta t}$  на НИС на интервале  $\Delta t$ .

2. Модель деградации связных полей:

$$\zeta_2 : E^N \times R_{\Delta t} \rightarrow E_{\Delta t}^N.$$

Отображение  $\zeta_2$  определяет доступный уровень пространственно-временной идентификации объектов управления НИС с учетом пространственно-временных неоднородности навигационных полей и неопределенности расположения ОУ, рассматриваемых также как деструктивные воздействия.

3. Модель деградации навигационных полей:

$$\zeta_3 : E^G \times R_{\Delta t} \rightarrow E_{\Delta t}^G.$$

Отображение  $\zeta_3$  определяет доступный уровень качества информационного обмена с объектами управления НИС с учетом пространственно-временных неоднородности связных полей и неопределенности расположения ОУ, рассматриваемых как деструктивные воздействия.

4. Модель деградации ресурсов НИС:

$$\zeta_4 : Z \times R_{\Delta t} \rightarrow Z_{\Delta t}.$$

Отображение  $\zeta_4$  определяет набор ресурсов НИС, оставшихся в работоспособном состоянии после деструктивных воздействий  $R_{\Delta t}$  на НИС на интервале  $\Delta t$ .

5. Модель качества функционирования НИС:

$$\zeta_5 : K(Z_{\Delta t}) \times E_{\Delta t}^G \times E_{\Delta t}^N \rightarrow \mathbf{a}_\tau.$$

Отображение  $\zeta_5$  позволяет определить уровень качества реализации заданных функций НИС при деструктивных воздействиях  $R_{\Delta t}$  на систему на интервале  $\Delta t$ .

Процесс построения модели качества функционирования НИС является наименее исследованным, поэтому в рамках настоящей статьи рассматривается только последняя из приведенных моделей.

Традиционно иерархическая система автоматизированного управления изображается в виде дерева, каждый узел которого объединяет в себе как информационные, так и управляющие функции. При этом каждый узел  $i$ -го уровня получает информацию от  $m$  узлов  $i-1$ -го уровня и передает информацию на один узел  $i+1$ -го уровня, а также воспринимает управляющие воздействия от одного узла  $i+1$ -го уровня и передает управляющие воздействия на  $m$  узлов  $i-1$ -го уровня. Такую структуру принято называть структурой „треугольного“ типа.

Функционально работу узла  $i$ -го уровня можно представить с помощью следующих отображений:

— формирование информации на узле  $i$ -го уровня с корректировкой по информации, получаемой от узлов низших уровней:

$$\Phi_I : I_{i-} \times I_i \rightarrow I_i;$$

— формирование управляющих воздействий с учетом сформированной информации и корректирующих управляющих воздействий, полученных от узлов высших уровней:

$$\Phi_U : I_i \times U_{i+} \rightarrow U_i.$$

Однако тот факт, что каждый узел системы выполняет два разнотипных комплекса функций — информационных и управленческих, в значительной степени затрудняет анализ систем. В связи с этим в работе [3] предложено заменить „треугольную“ исходную структурную схему системы автоматизированного управления на эквивалентную ромбовидную структуру, в которой узлы системы разделены на управляющие, реализующие отображение  $\Phi_U$ , и информационные, реализующие отображение  $\Phi_I$ .

Основываясь на данной структуре, можно представить НИС в терминах теории категорий [4].

Пусть  $\mathcal{H} = \langle \text{Ob}(\mathcal{H}), \text{Mor}(\mathcal{H}) \rangle$  — категория, описывающая некую навигационно-информационную систему, и  $F = \{f_i\}, \|F\| = N$  — множество функций, реализуемое этой системой. Класс объектов  $\text{Ob}(\mathcal{H}) = \{\{\tilde{I}_{i,j}\}, \{\tilde{U}_{i,l}\}\}$  представляет собой совокупность множеств информационных  $\tilde{I}_{i,j}$  и управляющих  $\tilde{U}_{k,l}$  сигналов, где  $\tilde{I}_{i,j}$  — множество информационных сигналов, формируемых  $j$ -м информационным блоком при реализации  $i$ -й функции;  $\tilde{U}_{i,l}$  — множество управляющих воздействий, формируемых  $l$ -м блоком управления при реализации  $i$ -й функции.

В общем случае указанные множества определяются следующими отображениями:

$$\mu_{i,j} : K(Z) \times E^N \times E^G \rightarrow \tilde{I}_{i,j}; \quad \nu_{i,l} : K(Z) \times E^N \times E^G \rightarrow \tilde{U}_{i,l}; \quad i = \overline{1, N},$$

где  $K(Z)$  — множество возможных распределений подмножеств множества  $Z$  ресурсов системы между уровнями (блоками) мониторинга (информационные узлы) и управления (узлы управления);  $E^N, E^G$  — множества уровней качества, соответственно, навигационных и телекоммуникационных полей, обеспечивающих точность и достоверность определения параметров движения мобильных объектов, скорость и достоверность передачи данных между элементами системы.

Класс морфизмов

$$\text{Mor}(\mathcal{H}) = \{ \text{Mor}_{\mathcal{H}}(A, B) \mid \forall \psi_i \in \text{Mor}_{\mathcal{H}}(A, B) (\psi_i : A \rightarrow B; A, B \in \text{Ob}(\mathcal{H})) \}$$

представляет собой совокупность множеств морфизмов каждой пары объектов  $A, B$  из  $\text{Ob}(\mathcal{H})$ , причем для любой пары морфизмов задана ассоциативная операция композиции ( $\circ$ ) и для каждого объекта из  $\text{Ob}(\mathcal{H})$  задан тождественный морфизм  $\text{id}$ , так что выполняются следующие аксиомы:

$$\begin{aligned} 1) & \forall (f \in \text{Mor}_{\mathcal{H}}(A, B), g \in \text{Mor}_{\mathcal{H}}(B, C)) \exists (g \circ f \in \text{Mor}_{\mathcal{H}}(A, C)) \mid \\ & \forall (f \in \text{Mor}_{\mathcal{H}}(A, B), g \in \text{Mor}_{\mathcal{H}}(B, C), h \in \text{Mor}_{\mathcal{H}}(C, D)) (h \circ (g \circ f) = (h \circ g) \circ f); \\ 2) & \forall (A \in \text{Ob}(\mathcal{H})) \exists (\text{id}_A \in \text{Mor}_{\mathcal{H}}(A, A)) \mid \forall (f \in \text{Mor}_{\mathcal{H}}(A, B)) (f \circ \text{id}_A = \text{id}_B \circ f = f). \end{aligned}$$

Далее перейдем к модели НИС на основе раскрашенного мультиграфа. Для этого построим следующий функтор  $P: \mathcal{K} \rightarrow \mathcal{G}$

$$1) \forall \tilde{U}_{i,j} \in \text{Ob}(\mathcal{K}) \Rightarrow P(\tilde{U}_{i,j}) = U_j \in \text{Ob}(\mathcal{G}), \forall \tilde{I}_{i,j} \in \text{Ob}(\mathcal{K}) \Rightarrow P(\tilde{I}_{i,j}) = I_j \in \text{Ob}(\mathcal{G});$$

$$2) \forall (g_{i,j} : \tilde{U}_{i,j} \rightarrow \tilde{U}_{k,l}, g_{i,j} \in \text{Mor}_{\mathcal{K}}(\tilde{U}_{i,j}, \tilde{U}_{k,l})) \Rightarrow P(g_{i,j}) : P(\tilde{U}_{i,j}) \rightarrow P(\tilde{U}_{k,l});$$

$$P(g_{i,j}) = \psi_{i,l}^k \in \text{Mor}_{\mathcal{G}}(U_i, U_k) \mid \text{dom}(\psi_{i,l}^k) = U_i, \text{cod}(\psi_{i,l}^k) = U_k, \text{col}(\psi_{i,l}^k) = l;$$

$$\forall (g_{i,j} : \tilde{I}_{i,j} \rightarrow \tilde{I}_{k,l}, g_{i,j} \in \text{Mor}_{\mathcal{K}}(\tilde{I}_{i,j}, \tilde{I}_{k,l})) \Rightarrow P(g_{i,j}) : P(\tilde{I}_{i,j}) \rightarrow P(\tilde{I}_{k,l});$$

$$P(g_{i,j}) = \phi_{i,l}^k \in \text{Mor}_{\mathcal{G}}(I_i, I_k) \mid \text{dom}(\phi_{i,l}^k) = I_i, \text{cod}(\phi_{i,l}^k) = I_k, \text{col}(\phi_{i,l}^k) = l;$$

$$\forall (g_{i,j} : \tilde{I}_{i,j} \rightarrow \tilde{U}_{k,l}, g_{i,j} \in \text{Mor}_{\mathcal{K}}(\tilde{I}_{i,j}, \tilde{U}_{k,l})) \Rightarrow P(g_{i,j}) : P(\tilde{I}_{i,j}) \rightarrow P(\tilde{U}_{k,l});$$

$$P(g_{i,j}) = \phi_{i,l}^k \in \text{Mor}_{\mathcal{G}}(I_i, U_k) \mid \text{dom}(\phi_{i,l}^k) = I_i, \text{cod}(\phi_{i,l}^k) = U_k, \text{col}(\phi_{i,l}^k) = l;$$

$$\forall (g_{i,j} : \tilde{U}_{1,l} \rightarrow \tilde{I}_{1,l}, g_{i,l} \in \text{Mor}_{\mathcal{K}}(\tilde{U}_{1,l}, \tilde{I}_{1,l})) \Rightarrow P(g_{i,l}) : P(\tilde{U}_{1,l}) \rightarrow P(\tilde{I}_{1,l});$$

$$P(g_{i,l}) = f_{l,m} \in \text{Mor}_{\mathcal{G}}(I_1, U_1) \mid \text{dom}(f_{l,m}) = U_1, \text{cod}(f_{l,m}) = I_1, \text{col}(f_{l,m}) = l; l = \overline{1, N}.$$

В результате применения функтора  $P$  к категории  $\mathcal{K}$  формируется категория  $\mathcal{G}$ , объектами  $\text{Ob}(\mathcal{G})$  которой являются блоки управления и мониторинга разных уровней управления НИС, а каждый морфизм между любыми двумя объектами  $A$  и  $B$  категории  $\mathcal{G}$  имеет специальный признак  $l$ , соответствующий номеру функции НИС из множества  $F$ . Категория  $\mathcal{G}$  представлена раскрашенным мультиграфом, где вершины графа — блоки управления и мониторинга, а морфизмы — стрелки между вершинами соответствующего цвета  $l$  из  $N=|F|$  цветов. Выделение в раскрашенном мультиграфе связного подграфа с ребрами одного цвета  $l$  соответствует построению подкатегории

$$\mathcal{L}_l = \langle \text{Ob}(\mathcal{L}_l) | \text{Ob}(\mathcal{L}_l) \subset \text{Ob}(\mathcal{G}), \text{Mor}(\mathcal{L}_l) | \forall g \in \text{Mor}(\mathcal{L}_l) (\text{col}(g) = l) \rangle.$$

Пример подграфа подкатегории  $\mathcal{L}_l$  с четырьмя уровнями управления по функции  $l$  представлен на рис. 1.

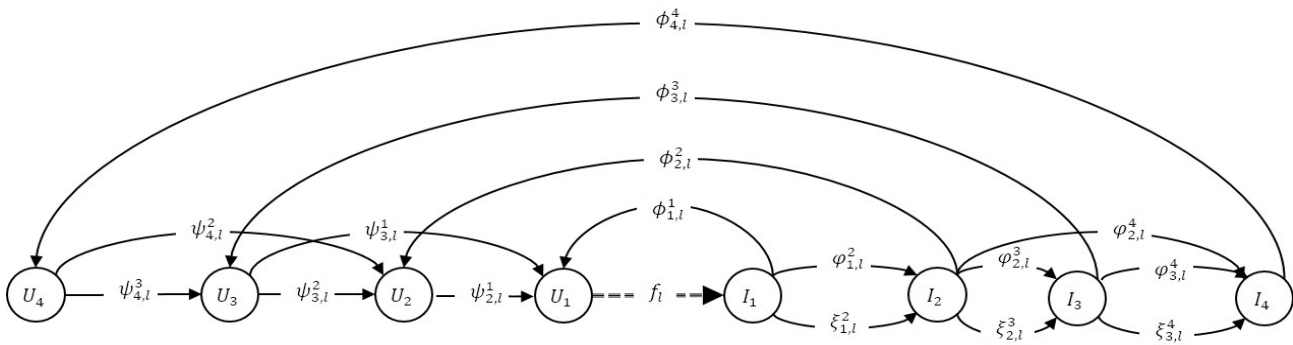


Рис. 1

Любой контур в подграфе категории  $\mathcal{L}_l$ , содержащий  $f_l$ , обеспечивает реализацию этой функции с некоторым качеством  $q_i^l$ . Понятно, что включение контуров с блоками управления более высокого уровня, корректирующих управляющие воздействия нижних уровней, обеспечивает более высокое качество реализации функции НИС. Преобразуя подграф категории  $\mathcal{L}_l$  относительно функции  $f_l$  таким образом, что  $I_1$  является начальной вершиной (исток),  $U_1$  — конечной вершиной (сток), и применяя для двух и более одновременно выполняемых морфизмов  $\varphi$  и  $\psi$ , для которых  $\text{cod}(\varphi) = \text{cod}(\psi)$ , операцию каррирования

$$h: (A \times B \rightarrow C) \Rightarrow \Lambda(h): (A \rightarrow C^B),$$

получаем ориентированный граф без циклов, где каждый путь из  $I_1$  в  $U_1$  является коммутативной диаграммой композиций морфизмов из  $\mathcal{L}_l$  относительно некоего искомого морфизма  $q_m^l$ , соответствующего реализации функции  $f_l$  с некоторым  $m$ -м качеством. На рис. 2 приведен пример преобразования орграфа подкатегории  $\mathcal{L}_l$ .

Деструктивные воздействия на НИС вызывают изменение в категории  $\mathcal{H}$ :

$$\begin{aligned} & (Z_{\Delta l} \subset Z, K(Z_{\Delta l}) \subset K(Z), E_{\Delta l}^N \subset E^N, E_{\Delta l}^G \subset E^G) \Rightarrow \\ & \Rightarrow (\mathcal{H}' \subset \mathcal{H} | \text{Ob}(\mathcal{H}') \subset \text{Ob}(\mathcal{H}), \text{Mor}(\mathcal{H}') \subset \text{Mor}(\mathcal{H})) \Rightarrow \\ & \Rightarrow (\mathcal{G}' \subset \mathcal{G} | \text{Ob}(\mathcal{G}') \subset \text{Ob}(\mathcal{G}), \text{Mor}(\mathcal{G}') \subset \text{Mor}(\mathcal{G})) \Rightarrow \\ & \Rightarrow (\mathcal{L}'_l \subset \mathcal{L}_l | \text{Ob}(\mathcal{L}'_l) \subset \text{Ob}(\mathcal{L}_l), \text{Mor}(\mathcal{L}'_l) \subset \text{Mor}(\mathcal{L}_l), l = \overline{1, N}). \end{aligned}$$

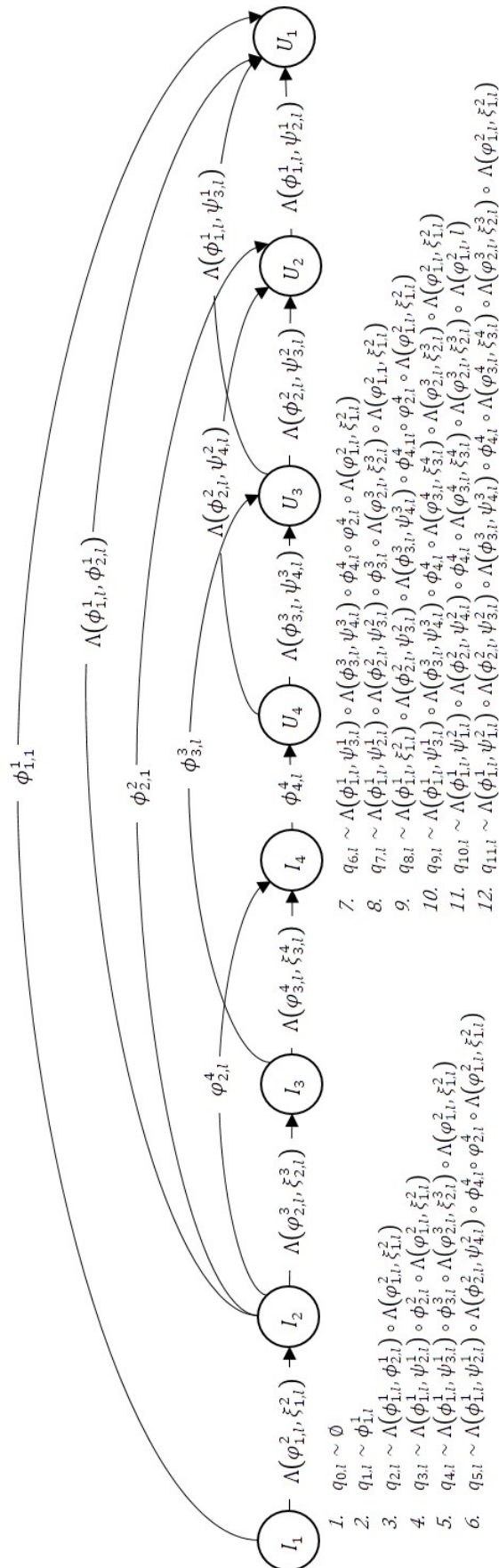


Рис. 2

Таким образом, если  $Q^l \subset \text{Mog}(\mathcal{L}_l)$  — частично упорядоченное подмножество морфизмов категории  $\mathcal{L}_l$ , каждый элемент которого соответствует реализации функции  $f_l$  с некоторым качеством, то  $\hat{Q}^l \subset \text{Mog}(\mathcal{L}_l)$  есть также подмножество множества  $Q^l$ ,  $\hat{Q}^l \subset Q^l$ , определяющее ограниченный набор уровней качества, в соответствии с которыми НИС может выполнять функцию  $f_l$  после деструктивных воздействий  $R_{\Delta t}$ . При этом  $q_{\max}^l = \sup(\hat{Q}^l)$  — наивысшее качество, с которым НИС может реализовывать функцию  $f_l$  после деструктивных воздействий  $R_{\Delta t}$ . Следовательно, максимальный вектор качества реализации набора функций НИС после деструктивных воздействий  $R_{\Delta t}$  можно определить как

$$\mathbf{a}_\tau = q_{\max}^1, q_{\max}^2, \dots, q_{\max}^N, q_{\max}^i = \sup(\hat{Q}^i), \hat{Q}^i \subset \text{Mog}(\mathcal{L}_i), \mathcal{L}_i \subset \mathcal{G}', i = \overline{1, N}.$$

При этом если  $\mathbf{a}_{\text{lim}}$  — допустимый минимальный уровень качества реализации набора функций НИС (граница функциональной устойчивости) и  $\mathbf{a}_\tau \succeq \mathbf{a}_{\text{lim}}$ , то система остается в устойчивом состоянии после деструктивных воздействий  $R_{\Delta t}$  с запасом функциональной устойчивости  $d(\mathbf{a}_\tau, \mathbf{a}_{\text{lim}})$ . В противном случае модель позволяет определить механизм восстановления функционирования НИС следующим образом.

Пусть  $q_m^i \in \mathbf{a}_\tau, q_k^i \in \mathbf{a}_{\text{lim}}, m > k$  и  $q_l^j \in \mathbf{a}_\tau, q_n^j \in \mathbf{a}_{\text{lim}}, l < n$ . При этом множества морфизмов  $H_m^i \subset \mathcal{L}_i$  и  $H_k^j \subset \mathcal{L}_j$  образуют коммутативные диаграммы относительно  $q_m^i$  и  $q_l^j$ . Каждому такому множеству морфизмов  $H_j^i$  соответствует некоторое множество ресурсов  $Z(H_j^i) \subset Z_{\Delta t}$ , обеспечивающее реализацию функции  $f_i$  с качеством  $q_j^i$ . Далее, если  $q_r^i \in \hat{Q}^i$  и  $k \leq r < m$ , то можно выделить резерв ресурсов  $\Delta Z(H_m^i) = Z(H_m^i) \setminus Z(H_r^i)$ , снижая при этом качество выполнения функции  $f_i$  с  $q_m^i$  до  $q_r^i$ . Этот резерв можно использовать для улучшения качества реализации функции  $f_j$  до приемлемого  $q_s^j$ :

$$Z(H_s^j) = Z(H_l^j) \cup \Delta Z(H_m^i), q_s^j \in \hat{Q}^j, q_n^j \in \mathbf{a}_{\text{lim}}, n < s.$$

В этом случае функционирование системы будет осуществляться с приемлемым качеством  $\tilde{\mathbf{a}}_\tau$ , где  $q_r^i, q_s^j \in \tilde{\mathbf{a}}_\tau$  и  $\mathbf{a}_{\text{lim}} \preceq \tilde{\mathbf{a}}_\tau$ , следовательно, НИС вернется в зону функциональной устойчивости.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соловьев Ю. А. Системы спутниковой навигации. М.: Эко-Трендз, 2000. 268 с.
2. Королев А. Н., Тарасов А. А. О функциональной устойчивости навигационно-информационных систем // Вестн. РГТУ. Сер. Информатика. Защита информации. Математика. 2012. №14/12. С. 144—152.
3. Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления: Учебник / Под ред. Н. Д. Егунова. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2002. 744 с.
4. Маклейн С. Категории для работающего математика / Пер. с англ.; Под ред. В. А. Артамонова. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. 352 с.

- Александр Николаевич Королев** — **Сведения об авторах**  
канд. техн. наук, старший научный сотрудник; „НИИ КС имени А. А. Максимова“ – филиал АО „ГКНПЦ им. М. В. Хруничева“; первый заместитель директора, главный конструктор;  
E-mail: info@niiks.com
- Олег Владимирович Кем** — Госкорпорация „Роскосмос“; директор департамента;  
E-mail: opoi@roscosmos.ru
- Виталий Анатольевич Мироничев** — Госкорпорация „Роскосмос“; начальник отдела;  
E-mail: opoi@roscosmos.ru

Поступила в редакцию  
26.02.18 г.

**Ссылка для цитирования:** Королев А. Н., Кем О. В., Мироничев В. А. Моделирование функционально устойчивых навигационно-информационных систем // Изв. вузов. Приборостроение. 2018. Т. 61, № 8. С. 652—659.

## MODELING OF FUNCTIONALLY STABLE NAVIGATION INFORMATION SYSTEMS

A. N. Korolev<sup>1</sup>, O. V. Kem<sup>2</sup>, V. A. Mironichev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>A. A. Maksimov Space Systems Research Institute – Branch  
of Khrunichev State Research and Production Space Center JSC,  
141091, Moscow Region, Korolev, Russia  
E-mail: info@niiks.com

<sup>2</sup>State Space Corporation ROSCOSMOS,  
129110, Moscow, Russia

General problems of navigation and information system modeling are considered with the use of the mathematical apparatus of category theory and graph theory for analyzing and evaluating the possibility of ensuring the functional stability of systems under destructive influences.

**Keywords:** navigation and information systems, functional stability, quality of functioning, category theory, hierarchical systems

## REFERENCES

1. Solov'yev Yu.A. *Sistemy sputnikovoy navigatsii* (Systems of Satellite Navigation), Moscow, 2000, 268 p. (in Russ.)
2. Korolev A.N., Tarasov A.A. *RSUH/RGGU Bulletin. Records Management and Archival Studies. Computer Science. Data Protection and Information Security*, 2012, pp. 144–152. (in Russ.)
3. Egupov N.D., ed., *Metody robustnogo, neyro-nechetkogo i adaptivnogo upravleniya* (Robust, Neuro-Fuzzy and Adaptive Control Methods), Moscow, 2002, 744 p. (in Russ.)
4. MacLane S. *Categories for the Working Mathematician*, Springer, 1971.

## Data on authors

- Alexander N. Korolev** — PhD, Senior Scientist; A. A. Maksimov Space Systems Research Institute – Branch of Khrunichev State Research and Production Space Center JSC, First Deputy Director, Chief Designer; E-mail: info@niiks.com
- Oleg V. Kem** — State Space Corporation ROSCOSMOS, Department of Navigation Space Systems (GLONASS); Director of the Department;  
E-mail: opoi@roscosmos.ru
- Vitaly A. Mironichev** — State Space Corporation ROSCOSMOS, Department of Navigation Space Systems (GLONASS); Deputy Director of the Department;  
E-mail: opoi@roscosmos.ru

**For citation:** Korolev A. N., Kem O. V., Mironichev V. A. Modeling of functionally stable navigation information systems. *Journal of Instrument Engineering*. 2018. Vol. 61, N 8. P. 652—659 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2018-61-8-652-659