

ФОРМАЛЬНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ МОДЕЛИ РЕАЛИЗАЦИИ ФУНКЦИЙ СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПА НЕОБХОДИМОГО РАЗНООБРАЗИЯ СТРУКТУРНЫХ СВЯЗЕЙ

Г.Г. Куликов, В.В. Антонов, А.Р. Фахруллина, Л.Е. Родионова

Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа, Россия

Предложена методика представления системной модели предметной области в форме категории процессов. Предложено правило синтеза самоорганизующейся структуры моделей процесса. Показано, что последовательность композиций-декомпозиций процессов обладает свойством фрактальных преобразований (самоподобия). Ядром этих преобразований являются коммутативные треугольники, определяющие структуру взаимодействующих процессов при их композиции-декомпозиции. Показано, что такие структуры сохраняют свойства самоорганизации в соответствии с законами необходимого разнообразия ЭШБИ. Показана возможность построения тождественных формальных алгоритмов контроля целостности структуры исходных процессов, при нарушении которой требуется «внешнее» управление.

Предлагаемые правила преобразования продемонстрированы на примере синтеза самоорганизующегося процесса соглашения, архитектура которого определена в стандарте ISO/IEC 15288 «Системная инженерия».

Ключевые слова: теория категорий, предметная область, структурный анализ и синтез, формальная модель, стандарты системной инженерии, кадровый резерв, CALS, обработка данных.

Введение

В настоящее время принципы системной инженерии доведены до предметно-ориентированных стандартов, но проблема разработки системных моделей, соответствующих этим общим положениям требует применения нового математического аппарата и программных инструментов.

Подобная системная задача решается в известной инженерной методологии CALS (Continuous Acquisition and Lifecycle Support), где определены понятия объекта, производственной среды и жизненного цикла объекта. В работе предлагается развить данную методологию до моделей бизнес-процессов, моделей среды их выполнения, жизненных циклов бизнес-процессов из необходимого условия управляемости Эшби.

Постановка задачи. Актуальным вопросом является повышение эффективности процессов обработки, передачи и использования данных и знаний кадрового резерва предприятий при их многостороннем анализе. В повышении эффективности важна заинтересованность как со стороны организации, обладающей кадровым резервом, так и со стороны организаций, вкладывающих средства в поддержание кадрового резерва. Видится целесообразным для построения модели функционирования данной системы воспользоваться положениями системной инженерии для дальнейшего автоматизированного управления кадровым резервом. Возникает проблема, связанная с использованием двух взаимосвязанных бизнес-процессов кадрового резерва и кадрового агентства (например, образовательные учреждения).

Модель реализации функций системной инженерии на основе принципа необходимого разнообразия структурных связей.

Рассматривая информационные объекты двух взаимосвязанных бизнес-процессов (на примере кадрового резерва и кадрового агентства), можно использовать наиболее распространенный в системной инженерии стандарт ISO/IEC 15288.

Данный стандарт классифицирует четыре группы процессов жизненного цикла системы: процессы предприятия, процессы соглашения, процессы проекта и технические процессы, которые могут быть представлены в виде «дерева» процессов (рис. 1).

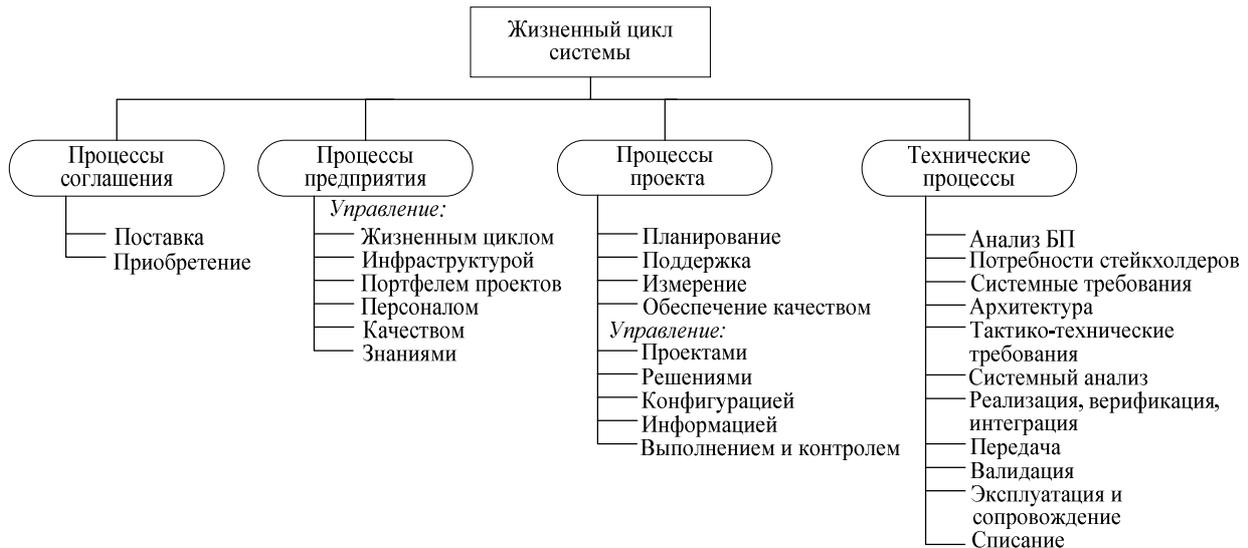


Рис. 1. Процессы активностей стандарта ISO/IEC 15288

Процессы жизненного цикла стандарта ISO/IEC 15288 «Системная инженерия», такие как процессы предприятия, процессы проекта и технические процессы помогают эффективному формированию и применению систем, способствующих в достижении целей предприятия. А процессы соглашения представляют собой рабочие взаимоотношения путем заключения соглашений, вызывающие для нас наибольший интерес.

Используя формализацию, предложенную в [1], стандарта ISO/IEC 15288 «Системная инженерия», каждая стадия может быть представлена в виде категории процессов. При рассмотрении процесса соглашения причины и следствия могут быть использованы симметрично.

Так, процесс соглашения состоит из процесса приобретения и процесса поставки. Причем процесс симметричный, приобретающей стороной одновременно могут выступать обе стороны. Используя информационный подход для формализации предметной области, получают первичными категории объектов и отношения между ними. Таким образом, система отношений может быть представлена множеством объектов предметной области и множеством отношений между ними.

Рассмотрим для моделирования данного процесса базовые положения теории категорий. Будем использовать следующие обозначения: процессы соглашения PS , процессы приобретения PS_{pr} , процессы поставки PS_{po} .

Выделим процессы соглашения PS , приобретения PS_{pr} и поставки PS_{po} в отдельные категорию и подкатегории, которые состоят из целей процесса, деятельности процесса и результата. Рассмотрим взаимодействие подкатегорий, внутри которых информационные объекты, в результате чего получается коммуникативный треугольник по категории и отдельным подкатегориям.

Согласно стандарту ISO/IEC 15288 «Системная инженерия» процесс соглашения состоит из процессов приобретения и процессов поставки [2].

Данная категория PS образует класс объектов с заданным отношением для любых пар (PS, PS_{pr}) и (PS, PS_{po}) , отношения которых определены множеством морфизмов: f_1, f_2, p_1, p_2 .

Рассматривая процессы соглашения PS как взаимосвязанные процессы приобретения PS_{pr} и поставок PS_{po} , процесс взаимодействия может быть представлен декартовым произведением $g: PS \rightarrow PS_{pr} \otimes PS_{po}$, где g является единственным морфизмом, выражающимся результатом процесса соглашения (рис. 2). Отметим, что эти операции соответствуют правилам формальной логики.

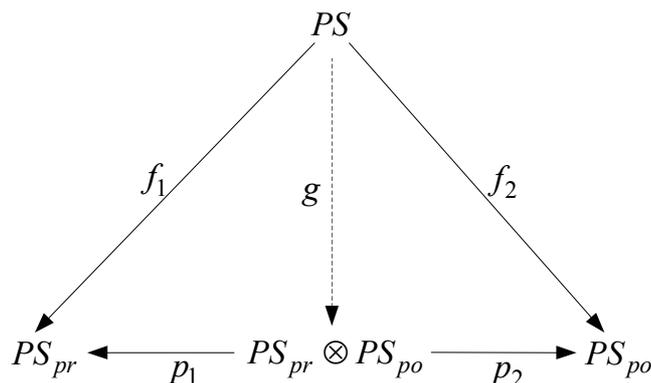


Рис. 2. Упрощенная схема коммуникативного треугольника процесса соглашения

Таким образом, процесс соглашения формализуется в виде морфизмов, обладающих следующими свойствами: результат взаимодействия информационных объектов может быть представлен декартовым произведением $PS_{pr} \otimes PS_{po}$ с морфизмами $p_1: PS_{pr} \otimes PS_{po} \rightarrow PS'_{pr}$ и $p_2: PS_{pr} \otimes PS_{po} \rightarrow PS'_{po}$ такими, что для любого объекта PS с морфизмами $f_1: PS \rightarrow PS_{pr}$ и $f_2: PS \rightarrow PS_{po}$ существует единственный морфизм $g: PS \rightarrow PS_{pr} \otimes PS_{po}$, при котором выделяется диаграмма в форме коммутативного треугольника, где \otimes – декартово произведение; g – морфизм, являющийся результатом процесса.

Рассмотрим следующую отдельную подкатегорию: процесс приобретения PS_{pr} , который складывается из трех составляющих (рис. 3):

- 1) цели процесса приобретения;
- 2) деятельности в процессе приобретения $PS^2_{pr} = \{pr^2_1, \dots, pr^2_8\}$;
- 3) результата процесса приобретения $PS^3_{pr} = \{pr^3_1, \dots, pr^3_7\}$.

$$g_3 \in \text{Hom}(PS^3_{pr}, PS^2_{pr}) \rightarrow PS^3_{pr} \otimes PS^2_{pr}.$$

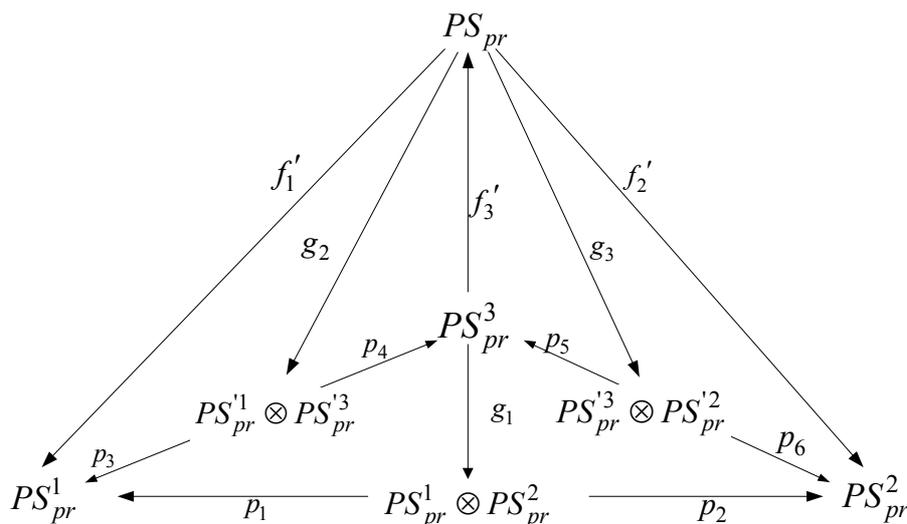


Рис. 3. Коммуникативный треугольник процесса приобретения

Взаимодействие информационных объектов PS^1_{pr} и PS^2_{pr} может быть представлено декартовым произведением $PS^1_{pr} \otimes PS^2_{pr}$ с морфизмами $p_1: PS^1_{pr} \otimes PS^2_{pr} \rightarrow PS^1_{pr}$ и $p_2: PS^1_{pr} \otimes PS^2_{pr} \rightarrow PS^2_{pr}$

такими, что для любого информационного объекта PS_{pr} с морфизмами $f_1': PS_{pr} \rightarrow PS_{pr}^1$ и $f_2': PS_{pr} \rightarrow PS_{pr}^2$, существует единственный морфизм $g_1: PS_{pr} \rightarrow PS_{pr}^1 \otimes PS_{pr}^2$, который определяется коммутативной диаграммой.

Аналогично рассматривается взаимодействие объектов с морфизмами $p_3: PS_{pr}^1 \otimes PS_{pr}^3 \rightarrow PS_{pr}^1$ и $p_4: PS_{pr}^1 \otimes PS_{pr}^3 \rightarrow PS_{pr}^3$, при котором для любого объекта PS_{pr} с морфизмами $f_1': PS_{pr} \rightarrow PS_{pr}^1$ и $f_3': PS_{pr} \rightarrow PS_{pr}^3$ существует единственный морфизм $g_2: PS_{pr} \rightarrow PS_{pr}^1 \otimes PS_{pr}^3$, который определяется коммутативной диаграммой.

Таким же образом рассматривается взаимодействие объектов $PS_{pr}^3 \otimes PS_{pr}^2$ с морфизмами $p_5: PS_{pr}^3 \otimes PS_{pr}^2 \rightarrow PS_{pr}^3$ и $p_6: PS_{pr}^3 \otimes PS_{pr}^2 \rightarrow PS_{pr}^2$ такими, что для любого объекта PS_{pr} с морфизмами $f_3': PS_{pr} \rightarrow PS_{pr}^3$ и $f_2': PS_{pr} \rightarrow PS_{pr}^2$ существует единственный морфизм $g_3: PS_{pr} \rightarrow PS_{pr}^3 \otimes PS_{pr}^2$, который определяется коммутативной диаграммой.

В результате процесс приобретения может быть представлен в виде декартового произведения следующих проекций:

$$PS_{pr} = (PS_{pr}^1)' \otimes (PS_{pr}^2)' \otimes (PS_{pr}^1)'' \otimes (PS_{pr}^3)' \otimes (PS_{pr}^3)'' \otimes (PS_{pr}^2)'' \quad (1)$$

Взаимодействие информационных объектов PS_{po}^1 и PS_{po}^2 может быть представлено декартовым произведением $PS_{po}^1 \otimes PS_{po}^2$ с морфизмами $p_1': PS_{po}^1 \otimes PS_{po}^2 \rightarrow PS_{po}^1$ и $p_2': PS_{po}^1 \otimes PS_{po}^2 \rightarrow PS_{po}^2$ такими, что для любого информационного объекта PS_{po} с морфизмами $f_1'': PS_{po} \rightarrow PS_{po}^1$ и $f_2'': PS_{po} \rightarrow PS_{po}^2$ существует единственный морфизм $g_1': PS_{po} \rightarrow PS_{po}^1 \otimes PS_{po}^2$, который определяется коммутативной диаграммой в виде треугольника (рис. 4).

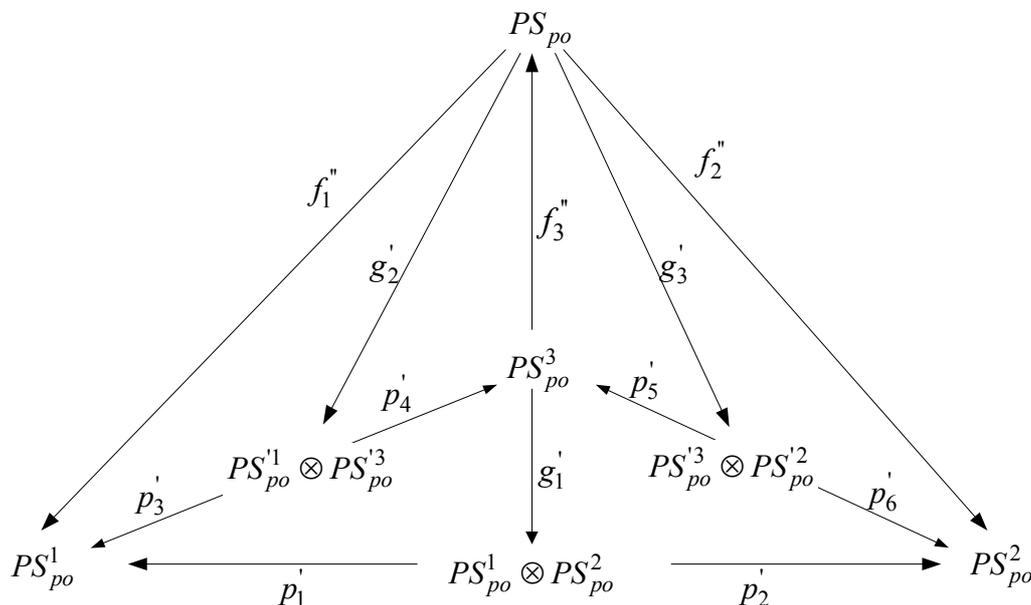


Рис. 4. Коммутативный треугольник процесса поставки

Аналогично может быть рассмотрено взаимодействие объектов:

– PS_{po}^1 и PS_{po}^3 $PS_{po}^1 \otimes PS_{po}^3$ с морфизмами $p_3': PS_{po}^1 \otimes PS_{po}^3 \rightarrow PS_{po}^1$ и $p_4': PS_{po}^1 \otimes PS_{po}^3 \rightarrow PS_{po}^3$ такими, что для любого объекта PS_{po} с морфизмами $f_1'': PS_{po} \rightarrow PS_{po}^1$ и $f_3'': PS_{po} \rightarrow PS_{po}^3$ существует единственный морфизм $g_2': PS_{po} \rightarrow PS_{po}^1 \otimes PS_{po}^3$, представленный коммутативной диаграммой.

Краткие сообщения

– $PS_{po}^{\prime 3} \otimes PS_{po}^{\prime 2}$ с морфизмами $p_5': PS_{po}^{\prime 3} \otimes PS_{po}^{\prime 2} \rightarrow PS_{po}^{\prime 3}$ и $p_6': PS_{po}^{\prime 3} \otimes PS_{po}^{\prime 2} \rightarrow PS_{po}^{\prime 2}$ такими, что для любого объекта PS_{po} с морфизмами $f_2'': PS_{po} \rightarrow PS_{po}^2$ и $f_3'': PS_{po} \rightarrow PS_{po}^3$ существует единственный морфизм $g_3': PS_{po} \rightarrow PS_{po}^{\prime 3} \otimes PS_{po}^{\prime 2}$ такой, что диаграмма коммутативна.

В результате процесс приобретения может быть представлен в виде декартового произведения:

$$PS_{po} = (PS_{po}^1)' \otimes (PS_{po}^2)' \otimes (PS_{po}^1)'' \otimes (PS_{po}^3)' \otimes (PS_{po}^3)'' \otimes (PS_{po}^2). \quad (2)$$

При этом используется положение теории топосов, где показано, что любой из этих узлов может быть декомпозирован или показана связь с любым другим из узлов, представленных на рис. 4.

Результат может быть представлен в виде декартового произведения, причем если результатом является независимая величина, то он может быть промежуточным. Это позволяет выявить зависимость рекурсивной точки одной от другой. То есть если меняется цель, то возможно спрогнозировать результат, при этом информационные объекты представимы в виде категорий, а отношение перехода одной стадии в другую – в виде морфизмов.

Можем рассмотреть топос как категорию, которая обладает дополнительными свойствами, например, декомпозицией категорий. Путем формализации топоса, используя последовательное применение линейки или множества линеек преобразований, получаем диаграмму, приведенную на рис. 5.

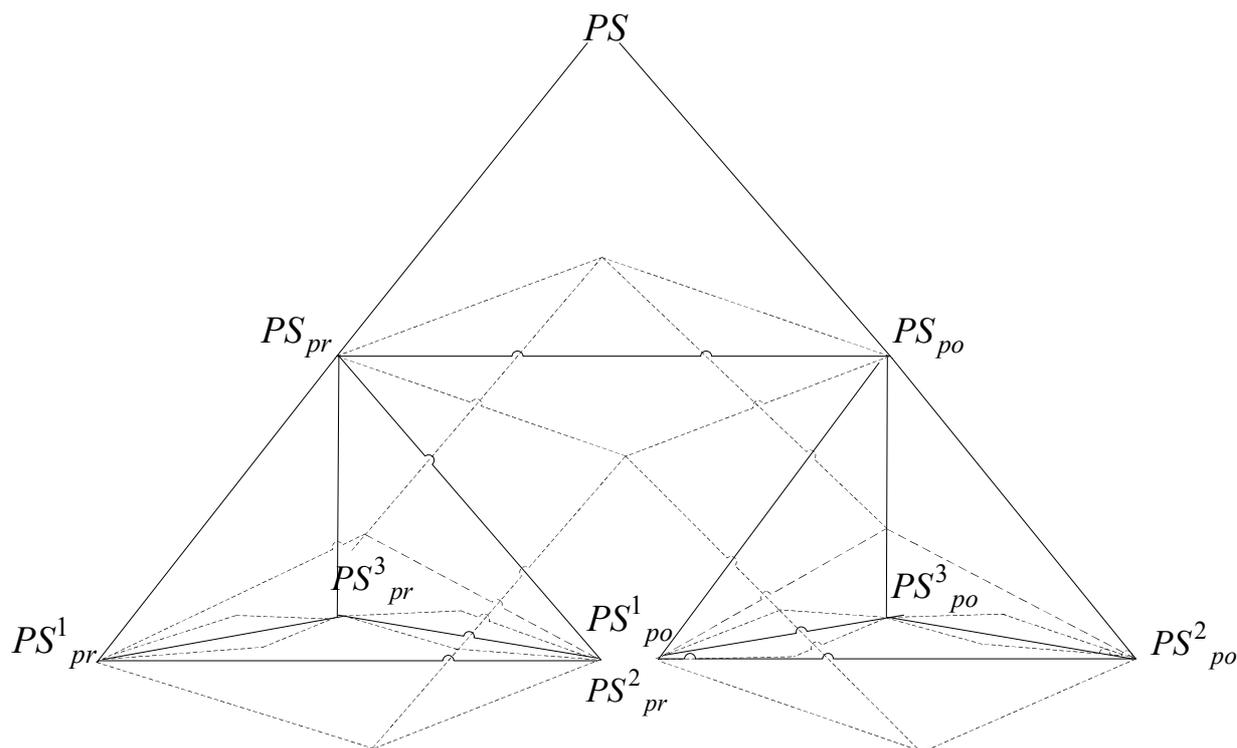


Рис. 5. Категории, представленные согласно теории топосов

При рассмотрении процессов соглашения, где процесс приобретения PS_{pr} , процесс поставки PS_{po} , каждый из которых представим в виде категорий, взаимодействия объектов могут быть представлены совокупностью декартовых произведений:

$$\begin{aligned} PS_{pr} \otimes PS_{po} = \langle & PS_{pr}^1 \otimes PS_{po}^2, PS_{pr}^1 \otimes PS_{po}^3, PS_{pr}^3 \otimes PS_{po}^2, PS_{po}^1 \otimes PS_{po}^2, \\ & PS_{po}^1 \otimes PS_{po}^3, PS_{po}^3 \otimes PS_{po}^2 \rangle. \end{aligned} \quad (3)$$

Очевидно, что процесс соглашения в данном случае может быть представлен формулой

$$PS = \langle (PS_{pr} \otimes PS_{po}), (PS_{po} \otimes PS_{pr}) \rangle. \quad (4)$$

Аналогично процесс приобретения PS_{pr} может быть представлен формулой

$$PS_{pr} = \{ \langle (PS_{pr}^1 \otimes PS_{pr}^2), (PS_{pr}^2 \otimes PS_{pr}^1) \rangle, \langle (PS_{pr}^1 \otimes PS_{pr}^3), (PS_{pr}^3 \otimes PS_{pr}^1) \rangle, \langle (PS_{pr}^3 \otimes PS_{pr}^2), (PS_{pr}^2 \otimes PS_{pr}^3) \rangle \}, \quad (5)$$

а процесс поставки PS_{po} формулой

$$PS_{po} = \{ \langle (PS_{po}^1 \otimes PS_{po}^2), (PS_{po}^2 \otimes PS_{po}^1) \rangle, \langle (PS_{po}^1 \otimes PS_{po}^3), (PS_{po}^3 \otimes PS_{po}^1) \rangle, \langle (PS_{po}^3 \otimes PS_{po}^2), (PS_{po}^2 \otimes PS_{po}^3) \rangle \}. \quad (6)$$

Таким образом, взаимодействие между разными категориями может быть описано в виде функтора на основе представленных выше декартовых произведений.

В категории PS_{pr} любой объект будет отображаться в объекты категории PS_{po} следующим функтором:

$$f \in \text{Hom}(PS_{pr}, PS_{po}) \quad \{ f \in \text{Hom}(PS_{pr}^1, PS_{po}^1), f \in \text{Hom}(PS_{pr}^2, PS_{po}^2), f \in \text{Hom}(PS_{pr}^3, PS_{po}^3) \}.$$

Также описывается отображение объектов в категории PS_{po} :

$$g \in \text{Hom}(PS_{pr}, PS_{po}) \quad \{ g \in \text{Hom}(PS_{pr}^1, PS_{po}^1), g \in \text{Hom}(PS_{pr}^2, PS_{po}^2), g \in \text{Hom}(PS_{pr}^3, PS_{po}^3) \}.$$

Аналогично описывается и «декартово произведение», поскольку будем рассматривать его как новый объект:

$$f \in \text{Hom}(PS_{pr} \otimes PS_{po}, PS_{po}), g \in \text{Hom}(PS_{po}, PS_{po} \otimes PS_{pr}), f \circ g \in \text{Hom}(PS_{pr} \otimes PS_{po}, PS_{po} \otimes PS_{pr}).$$

Таким образом, получаем, что объекты в категориях определяются взаимодействием функторов.

В данном случае можем использовать квадрат Декарта, где композиция представленных выше двух процессов, обозначенная g , является прямым отображением приведенного процесса соглашения на результат. Результат процесса может рассматриваться как композиция произведения целей и деятельностей. Получается еще один треугольник. При этом цель не может быть достигнута только одним путем. Применяя принцип необходимого разнообразия ЭШБИ [3], согласно которому не может быть одинаковых отношений между объектами, должны быть дополнительные пути достижения результатов, получаем дополнительные квадраты на диаграмме. То есть квадрат Декарта будет определяться принципом необходимого разнообразия ЭШБИ [4]. Данные диаграммы удовлетворяют положениям топоса, что позволяет вывести зависимость, например, этой точки от другой путем изменения результата, для этого определяем, что надо изменить в целях, что в деятельности, либо не изменяем цели, а только деятельность.

Выводы

Предложено правило синтеза самоорганизующейся структуры процесса соглашения, основанное на декомпозиции-композиции объектов-процессов путем логического сложения фракталов в форме коммутативных треугольников в квадраты Декарта и далее в Декартов многогранник. Показано, что в отношениях между элементами данных структур сохраняются правила формальной логики. Показана возможность построения ряда тождественных формальных алгоритмов контроля целостности структуры исходных процессов. Показана возможность параметрического контроля состояния процессов.

Литература

1. Разработка формальной модели производственного процесса для организации проектного и производственного менеджмента с применением интеллектуальной КИС / А.В. Речкалов, Г.Г. Куликов, В.В. Антонов, А.В. Артюхов // Вестник ПНИПУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2014. – № 11. – С. 34–54.
2. ISO/IEC/IEEE 15288:2015 System and software engineering – System life cycle processes. – <http://www.ppi-int.com/systems-engineering/free%20resources/PPI-006080-1%20PPI%20Review%20of%2015288%20150827>.
3. Гольдблатт, Р. Топосы. Категорный анализ логики / Р. Гольдблатт. – М.: Мир, 1983. – 486 с.
4. Ковалёв, С.П. Категория вычислительных систем / С.П. Ковалёв // Международная конференция «Алгебра и логика: теория и приложения»: тез. докл. – Красноярск: СФУ, 2013. – С. 64–66.

Куликов Геннадий Григорьевич, д-р техн. наук, профессор, Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа; gennadyg_98@yahoo.com.

Антонов Вячеслав Викторович, д-р техн. наук, заведующий кафедрой, Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа; Antonov.V@bashkortostan.ru.

Фахруллина Альмира Раисовна, старший преподаватель, канд. техн. наук, Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа; almirafax@mail.ru.

Родионова Людмила Евгеньевна, старший преподаватель, Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа; lurik@mail.ru.

Поступила в редакцию 28 мая 2017 г.

DOI: 10.14529/ctcr170416

FORMAL REPRESENTATION OF THE MODEL OF REALIZATION OF THE FUNCTIONS OF SYSTEM ENGINEERING BASED ON THE PRINCIPLE OF THE NECESSARY DIVERSITY OF STRUCTURAL CONNECTIONS

G.G. Kulikov, gennadyg_98@yahoo.com,
V.V. Antonov, Antonov.V@bashkortostan.ru,
A.R. Fakhrullina, Almirafax@mail.ru,
L.E. Rodionova, Lurik@mail.ru

Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russian Federation

In work the technique of system representation of a domain model in the form of the process category. The proposed PRA vilo synthesis of self-organizing structures of process models. In the cauldron that the sequence of compositions-decompositions of processes has the property of fractal transformations (self-similar). The core of these transformations are commutative triangles that define the structure of the interacting processes in the composition-decomposition. It is shown that these structures retain the properties of self-organization in accordance with the laws of necessary time-noobase ASHBY. The possibility of building a number of identical formal algorithm of monitoring the integrity of the structure of the original process, in violation of which requires an “external” control.

The proposed transformation is demonstrated on the example of synthesis of a self-organizing process of the agreement, the architecture of which is defined in ISO/IEC 15288 “System engineering”.

Keywords: category theory, subject area, structural analysis and synthesis, formal model, standards of system engineering, personnel reserve, CALS, data processing.

References

1. Rechkalov A.V., Kulikov G.G., Antonov V.V., Artjuhov A.V. [Development of the Formal Model of Production for the Organization of Project and Production Management Using an Intellectual Enterprise Information System]. *Bulletin of Perm National Research Polytechnic University*, 2014, no. 11, pp. 34–54. (in Russ.)
2. ISO/IEC/IEEE 15288:2015 System and Software Engineering – System Life Cycle Processes. Available at: <http://www.ppi-int.com/systems-engineering/free%20resources/PPI-006080-1%20PPI%20Review%20of%2015288%20150827>.
3. Gol'dblatt R. *Toposy. Kategornyy analiz logiki* [Top Wasps. Category Analysis of Logic]. Moscow, Mir Publ., 1983. 486 p.
4. Kovalyov S.P. [Category of Computing Systems]. *Mezhdunarodnaya konferentsiya "Algebra i logika: teoriya i prilozheniya"*. *Tezisy dokladov* [International Conference "Algebra and Logic: Theory and Applications". Theses of Reports]. Krasnoyarsk, Siberian Federal University, 2013, pp. 64–66. (in Russ.)

Received 28 May 2017

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Формальное представление модели реализации функций системной инженерии на основе принципа необходимого разнообразия структурных связей / Г.Г. Куликов, В.В. Антонов, А.Р. Фахруллина, Л.Е. Родионова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2017. – Т. 17, № 4. – С. 146–153. DOI: 10.14529/ctcr170416

FOR CITATION

Kulikov G.G., Antonov V.V., Fakhrullina A.R., Rodionova L.E. Formal Representation of the Model of Realization of the Functions of System Engineering Based on the Principle of the Necessary Diversity of Structural Connections. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*, 2017, vol. 17, no. 4, pp. 146–153. (in Russ.) DOI: 10.14529/ctcr170416
