

УДК 004.4

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

Уфимский государственный авиационный технический университет,
Уфа, Россия

**ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ СТРУКТУРЫ
САМООРГАНИЗУЮЩЕЙСЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ
В ФОРМЕ ДЕКАРТОВОЗАМКНУТОЙ КАТЕГОРИИ
(НА ПРИМЕРЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ
АНАЛИТИЧЕСКОЙ ПРОГРАММНОЙ СИСТЕМЫ)**

Рассматриваются процессы обработки информации, организации функционального взаимодействия программных систем с учетом динамических свойств формальной модели предметной области. Показан метод перехода к количественному многовариантному описанию информационных процессов и применения требований стандарта ISO/IEC 15288. Используются теория категорий и теория множеств в качестве формального аппарата описания информационных объектов для моделирования единого хранилища данных рассматриваемой предметной области с минимально-возможной структурной энтропией. В работе предложено построение информационной аналитической программной системы как системы извлечения информации из ХД (интерпретации в аспекте ПО). Поострена схема взаимосвязей между разными категориями объектов, обладающих собственной (внутренней энтропией). Описано использование информационной аналитической программной системы пользователями: лицами, принимающими решения, аналитиками, экспертами, получающими систему анализа, связанную с обработкой, передачей данных и знаний. В работе предложено формальное представление предметной области на основе системной модели в форме категории процессов. Предложено правило синтеза самоорганизующейся структуры моделей процесса из условия структурной минимизации. Показано, что последовательность композиций-декомпозиций процессов обладает свойством фрактальных преобразований (самоподобных). Ядром этих преобразований являются коммутативные треугольники, определяющие структуру взаимодействующих процессов при композиции-декомпозиции. 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 между элементами данных структуры сохраняются правила формальной логики, что позволяет свести структурную энтропию процессов к минимально-возможной, т.е. к алгоритму. Показана возможность построения ряда тождественных формальных алгоритмов контроля целостности структуры исходных процессов. Показана возможность параметрического контроля состояния процессов.

Ключевые слова: теория категорий, программная система, модель проектирования программной системы, семантика программ, данные и знания, кроссплатформенные технологии, системная модель, категории объектов, модели.

G.G. Kulikov, V.V. Antonov, A.R. Fakhrullina, L.Ye. Rodionova

Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russian Federation

**APPROACH TO FORMATION OF STRUCTURE
OF THE SELF-ORGANIZED INTELLECTUAL SYSTEM
IN THE FORM OF DEKARTOVOZAMKNUTY CATEGORY
(ON THE EXAMPLE OF DESIGN OF INFORMATION
ANALYTICAL PROGRAM SYSTEM)**

In article information processing, the organization of functional interaction of program systems, taking into account dynamic properties of formal model of subject domain is considered. The method of transition to the quantitative multiple description of information processes and application of requirements of the ISO/IEC 15288 standard is shown. The theory of categories and the theory of sets as the formal device of the description of information objects for modeling of uniform storage of data of the considered subject domain with minimum and possible structural entropy is used. In work creation of information analytical program system as the systems of extraction of information from HD is offered (interpretation in aspect of the software). Postern the scheme of interrelations between different categories of the objects possessing own (internal entropy). Use of information analytical program system by users is described: persons the making decisions, analysts, experts, receiving the system of the analysis connected with processing, data transmission and knowledge. In work formal representation of subject domain on the basis of system model in the form of category of processes is offered. The rule of synthesis of the self-organized structure of models of process of a condition of minimization of structural minimization is offered. It is shown that the sequence of compositions decomposition of processes has property of fractal transformations (self-similar). Kernel of these transformations are the commutative triangles defining structure of the interacting processes at composition decomposition. The rule of synthesis of the self-organized structure of process of the agreement based on decomposition – composition of objects processes by logical addition of fractals in the form of commutative triangles in Descartes's squares and in the Cartesian polyhedron is offered further. It is shown that the relations between elements of data of structures remain rules of formal logic that allows to reduce structural entropy of processes to minimum and possible, that is to an algorithm. The possibility of creation of a number of identical formal algorithms of control of integrity of structure of initial processes is shown. The possibility of parametrical control of a condition of processes is shown.

Keywords: theory of categories, program system, model of design of a program system, semantics of programs, data and knowledge, cross-platform technologies, system model, categories of objects, models.

До настоящего времени остается актуальной полнота представления предметной области и ее семантического описания, выраженного соответствующими методологиями и моделями различных уровней. При этом возрастает значимость адекватности формализованных правил и алгоритмов нормативной базе соответствующей предметной области. В связи с динамикой изменения нормативной базы информационная аналитическая программная система (ИАПС) постоянно подлежит реинжинирингу, что требует определенной стандартизации работ на всех

этапах жизненного цикла. Наиболее интересен в этом отношении международный стандарт ISO/IEC 15288 [1, 3, 8, 10, 11 и др.]. Однако проблема формализации задач при проектировании ИАПС согласно требованиям стандарта ISO/IEC 15288 приводит к повышению сложности при выявлении проблем проекта, а также анализе и принятии решений. Из-за большого количества данных и знаний, которые выражены в плохо структурированном или неформализованном виде, и хранения в различных хранилищах данных возникают новые задачи обработки, передачи и сохранения семантики данных и знаний в условиях их семантической неоднородности и разобщенности [1, 2, 3, 17].

При проектировании ИАПС остро стоит проблема устранения семантического разрыва между представлением о предметной области и средствами ее формальной спецификации. Одним из традиционных способов уменьшения семантического разрыва является повышение уровня абстрактного моделирования [6]. Например, применение формального языка теории категорий позволяет выявить и описать связи между объектами посредством морфизмов, сохраняя их логические и топологические свойства во времени и в пространстве как внутри одной категории [4, 5], так и между категориями [6].

Если в простых системах обмен информацией между уровнями снизу вверх и сверху вниз одинаков, то в сложной системе требуется рассматривать диалектическую пару: энтропия и информация. Причём сумма энтропии и информации в стабильной системе постоянна. Энтропия может интерпретироваться как мера неопределённости (неупорядоченности) некоторой системы, например, какого-либо опыта (испытания), который может иметь разные исходы, а значит, и количество информации [14].

1. Проблемы применения формальных методов моделирования процессов для проектирования ИАПС. Выявление множества данных с сохранением их семантики в ИАПС требует дополнительной формализации и структурирования образующихся данных и знаний в виде контента, учитывая при этом предметно-ориентированную направленность. При этом можно использовать положения теории категорий и теории множеств в качестве формального аппарата описания информационных объектов для моделирования, обработки и передачи данных и знаний.

В целом сформулировать четкое определение для формальных методов моделирования проблематично. Это обусловлено следующими противоречиями:

1. Формальными являются программные компиляции, интерпретации, методы моделирования, на основе которых они строятся.

2. Напротив, методы «формального моделирования» применяют методы доказательств и рассуждений, математические обозначения, принятые в математике.

При обследовании предметной области образуется много данных и знаний, которым необходима своевременная обработка и передача в ИАПС. Эти сведения описаны на естественном языке, не предполагающем выражение языком традиционной математики. В данном случае целесообразно использовать онтологический аспект при анализе предметной области и гносеологический при анализе знаний об этой реальности.

В случае использования математического аппарата появляются значительные сложности с качественными данными, поскольку рассматриваются не сами реальные объекты, а математические описания реальных объектов, т.е. их абстракции. Это позволяет формировать многоаспектное отображение предметной области в виде формальной алгебраической структуры или исчисления в виде $\Phi AC = \langle G, R, O \rangle$, где множество G (носитель) с заданным на нем множеством отношений R и множеством операций O . В частности ΦAC с пустым множеством операций O есть модель, а с пустым множеством отношений R – алгебра. При этом непротиворечивость модели обеспечивает правило формальной логики на множестве G , где множество отношений R является множеством предикатов P , т.е. $R \equiv P$.

Для дальнейшего рассмотрения математического описания реальных объектов и их информационных процессов введем следующие обозначения:

$$f_i \in F, i = 1, \dots, n,$$

где F – можно обозначить как множество из возможных состояний ИАПС;

$$q_i \in Q, i = 1, \dots, m,$$

где Q – конечное число состояний программной системы; v_i – информационный процесс, предназначенный для проектирования ИАПС в определенный момент времени; V – множество информационных процессов для построения ИАПС.

Переход ИАПС из одного состояния в другое показано функцией L отображения $F \circ V \rightarrow F$,

$$L: F \circ V \rightarrow F, \quad (1)$$

т.е. $l(f_i, v_i)$ будет отображать следующее состояние ИАПС после выполнения этапа построения v_i и может быть представлено формулой:

$$f_{i+1} = l(f_i, v_i), \quad i = 1, \dots, n. \quad (2)$$

При этом можно выявить множество состояний ИАПС с рекуррентной формулой, которые для каждой пары объектов f_i и f_j заданным множеством морфизмов $Hom(f_i, f_j)$ образуют класс объектов для каждой пары (морфизмов), например, $g_q \in Hom(f_i, f_j)$ и $l_q \in Hom(f_j, f_k)$, где определена их композиция $g_q \circ l_q \in Hom(f_i, f_k)$. Следовательно, состояния ИАПС образуют категорию множеств, которая состоит из объектов [6, 7].

Таким образом, при формализации предметной области с использованием положений теории категорий, можем описать все отношения объектов между собой, это не дает возможности утверждать о функциональной стабильности поведения ИАПС. При этом необходима разработка теоретико-множественной модели бизнес-процессов процесса соглашения.

2. Теоретико-множественная модель процесса соглашения.

Рассмотрим построение модели процесса соглашения на примере формирования и управления кадровым резервом предприятия.

Данный вопрос в настоящее время весьма актуален, наиболее востребованным является повышение эффективности обработки, передачи и использования данных и знаний для кадрового резерва при многостороннем рассмотрении в динамике изменений всех составляющих. Эта эффективность важна как для предприятий, обладающих кадровым резервом, так и для организаций, вкладывающих средства в формирование и поддержание кадрового резерва. Для построения модели функционирования ИАПС управления кадровым резервом необходимо использование положений системной инженерии. Возникает проблема, связанная с использованием двух независимых бизнес-процессов: организации, заинтересованной в реализации кадрового резерва, и кадрового агентства (например, образовательные учреждения).

Используя формализацию, предложенную в [1, 2, 3] стандарта ISO/IEC 15288 «Системная инженерия», каждая стадия может быть представлена в виде категории процессов, при этом процесс соглашения состоит из процесса приобретения и процесса поставки, а причины и следствия могут быть использованы симметрично.

Применим 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 $PS^1_{pr} = \{pr_1^1\}$, деятельности процесса $PS^2_{pr} = \{pr_1^2, \dots, pr_8^2\}$ и результата $PS^3_{pr} = \{pr_1^3, \dots, pr_7^3\}$, аналогично для процесса поставки: для целей процесса $PS^1_{po} = \{po_1^1\}$, деятельности процесса $PS^2_{po} = \{po_1^2, \dots, po_9^2\}$ и результата $PS^3_{po} = \{po_1^3, \dots, po_7^3\}$ [11].

В результате отношения представимы в виде упорядоченного множества:

$$PS = \langle PS_{pr}, PS_{po} \rangle = \langle \{PS^1_{pr}, PS^2_{pr}, PS^3_{pr}\}, \{PS^1_{po}, PS^2_{po}, PS^3_{po}\} \rangle. \quad (3)$$

Согласно информационному подходу А.А. Денисова [10] при формализации предметной области, категории объектов и отношения между ними являются первичными. Используя вышеприведенные исследования, представленные в [10, 11], модель процесса соглашения представима категориями объектов данной предметной области и множеством отношений между ними.

3. Метод динамического программирования относительно теорий топосов и фракталов. Используя положения теории категорий, рассмотрим категорию множеств путем ее декомпозиции, удовлетворяющей положениям топоса.

Для этого представим топос как категорию множеств, которая обладает дополнительными свойствами, например декомпозиций категорий [12, 22–25]. Путем формализации топоса согласно стандарту ISO/IEC 15288 применительно к процессу соглашения, используя последовательное применение линейки или множества линеек преобразований, получаем диаграмму, приведенную на рис. 1.

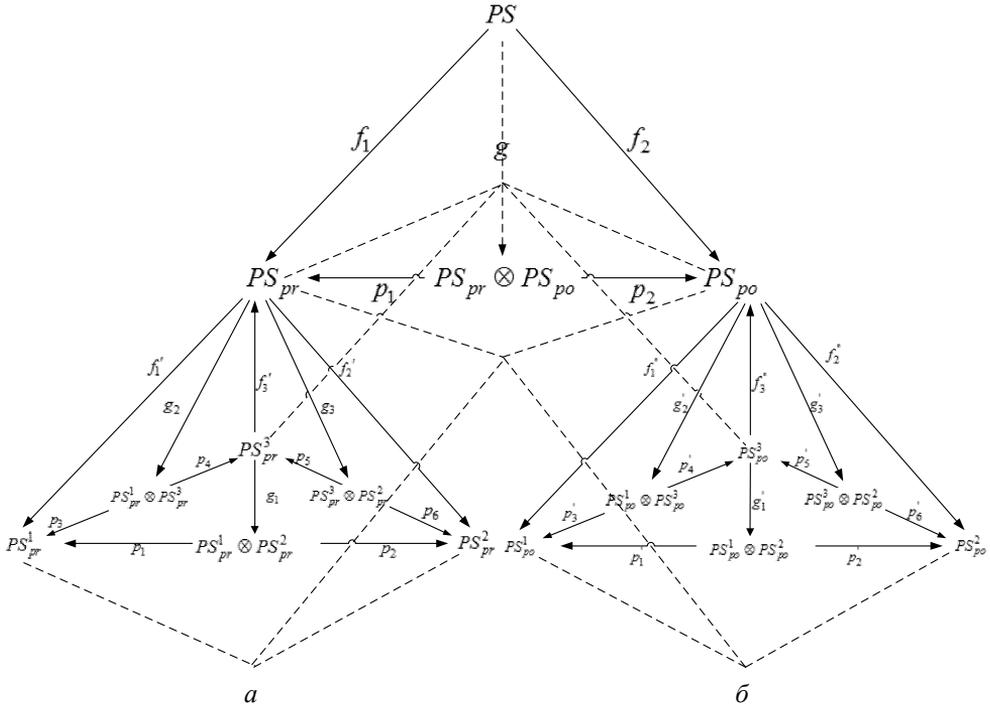


Рис. 1. Категории процесса соглашения, представленные согласно теории топосов

При рассмотрении процессов соглашения, среди которых процесс приобретения PS_{pr} , процесс поставки PS_{po} , каждый из них на основании ранее приведенных выводов представим в виде категорий, и взаимодействия объектов могут быть представлены совокупностью декартовых произведений:

$$PS_{pr} \otimes PS_{po} = \langle PS_{pr}^1 \otimes PS_{pr}^2, PS_{pr}^1 \otimes PS_{pr}^3, PS_{pr}^3 \otimes PS_{pr}^2, PS_{po}^1 \otimes PS_{po}^2, PS_{po}^1 \otimes PS_{po}^3, PS_{po}^3 \otimes PS_{po}^2 \rangle. \quad (4)$$

Здесь \otimes – декартово произведение, которое отражает взаимодействие объектов по какому-либо правилу. Очевидно, что процесс соглашения в данном случае может быть представлен формулой:

$$PS = \langle (PS_{pr} \otimes PS_{po}), (PS_{po} \otimes PS_{pr}) \rangle. \quad (5)$$

Проводя вышеприведенные рассуждения для процесса приобретения PS_{pr} , согласно стандарту ISO/IEC 15288 процесс приобретения PS_{pr} может быть представлен формулой:

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

Аналогично процесс поставки PS_{po} может быть представлен также формулой:

$$PS_{po} = \{ \langle (PS_{po}^1 \otimes PS_{po}^2), (PS_{po}^2 \otimes PS_{po}^1) \rangle, \langle (PS_{po}^1 \otimes PS_{po}^3), (PS_{po}^3 \otimes PS_{po}^1) \rangle, \langle (PS_{po}^3 \otimes PS_{po}^2), (PS_{po}^2 \otimes PS_{po}^3) \rangle \}. \quad (7)$$

Таким образом, взаимодействие между приведенными выше процессами, представленными в виде категорий, могут быть описаны в виде функтора на основе представленных выше декартовых произведений. Так, на основании изложенного и согласно стандарту ISO/IEC 15288 в категории PS_{pr} любой объект будет отображаться в объекты категории PS_{po} следующим функтором:

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

Так же описывается отображение объектов в категории PS_{po} :

$$g \in \text{Hom}(PS_{pr}, PS_{po}) \quad \{ g \in \text{Hom}(PS_{pr}^1, PS_{po}^1), g \in \text{Hom}(PS_{pr}^2, PS_{po}^2), g \in \text{Hom}(PS_{pr}^3, PS_{po}^3) \} \quad (8)$$

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

$$\begin{aligned} f &\in \text{Hom}(PS_{pr} \otimes PS_{po}, PS_{po}), \\ g &\in \text{Hom}(PS_{po}, PS_{po} \otimes PS_{pr}), \\ f \circ g &\in \text{Hom}(PS_{pr} \otimes PS_{po}, PS_{po} \otimes PS_{pr}). \end{aligned} \quad (9)$$

Приходим к тому, что приведенные объекты могут быть описаны взаимодействием функторов. В данном случае можем использовать квадрат Декарта, где композиция представленных выше двух процессов (см. рис. 1) является прямым отображением приведенного процесса соглашения на результат. Результат процесса может рассматриваться и как композиция произведения целей и деятельности путем получения еще одного «треугольника», где независимо от порядка выполнения последовательности операций и отображений результат будет одинаков.

Приходим к количественному описанию информационных процессов в рамках стандарта ISO/IEC 15288. В результате приведенная рекурсия (2) позволяет организовать нахождение оптимального решения подзадач рекурсивно. Прodelывая приведенную выше последовательность действий, в конечном итоге приходим к возможности связать между собой стадии жизненного цикла ИАПС.

Проводя последовательно декомпозицию или композицию объектов в форме коммутативных треугольников, далее в квадраты Декарта, получая в итоге декартов многогранник, приходим к самоорганизации структуры процессов соглашения.

В результате получаем много данных и знаний, которые целесообразно хранить в едином информационном хранилище для уменьшения разобщённости данных и знаний при передаче и обработке. Полученный результат может быть использован в качестве аналога основного рекуррентного соотношения формальной основы метода динамического программирования (принцип оптимальности Беллмана), так как на каждом шаге построения указанной ИАПС выбирается некоторое оптимальное управление в предположении об оптимальности всех последующих шагов [7, 8, 9].

Из описанных ранее параметров получается, что процесс может быть рассмотрен в виде объединившегося процесса, и для него справедливы полученные выводы. Следовательно, процесс соглашения может быть представлен иерархической совокупностью вложенных процессов. Справедлива зависимость: $y = f(x,y) \Rightarrow y = f(x,f(x,y))$, получается самоподобие масштабной инвариантности (фракталы), т.е. программная система имеет множество вариантов развития, и состояние системы определяется ее нахождением, в настоящее время.

Представлено 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.

При проектировании программного комплекса разделим его на категории объектов, из которых он будет состоять, учитывая, что между ними можно установить фрактальные отношения. Понятно, что единожды установленное отношение между категориями в виде функтора будет определять функторные отношения. Получаем множество функторов, которые выделяем как отдельную категорию. Следовательно, отношения между элементами фрактала строятся на уровне категориального отношения [13, 16].

Таким образом, подобъекты, составляющие фрактал, могут быть описаны в виде функторных отношений, т.е. элементы разных категорий относятся к другу через функтор. В результате категории между

собой связаны отношением самоподобия для конкретной предметной области. Фрактал в данном случае выступает не как геометрическое место точек, а как категориальный фрактал. Под фракталом будем понимать некий категориальный объект, связанный каким-то подобием, а подобие связано многогранностью, многоиерархичностью, самоподобием. В терминах теории категорий свойства фрактала будут удовлетворять определенным условиям. В данном случае каждый объект – это программный модуль, чем ниже цепочка, тем больше количество отношений.

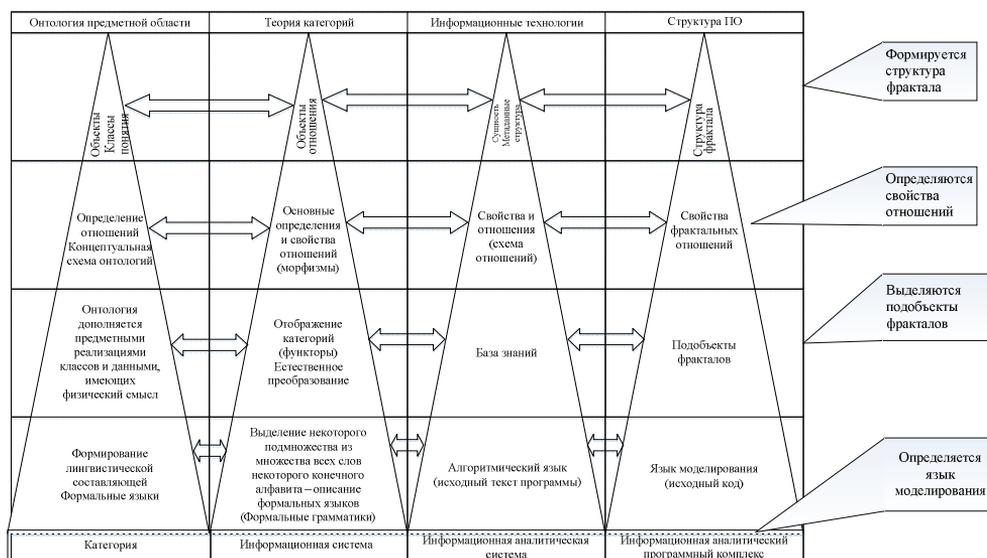


Рис. 2. Схема взаимосвязей между разными категориями объектов

Программное обеспечение строится по модулю, называемым вектором связи.

Предлагаем следующий метод: метод выстраивания отношений для дальнейшей разработки и проектирования программного обеспечения, т.е. отношения между модулями [13].

4. Пример формирования системной модели предметной области и соответствующего кросс-платформенного информационного обеспечения удовлетворяющих требованиям непротиворечивости. Рассмотрим функциональную модель процесса формирования кадрового резерва при совместной деятельности образовательной системы университета и производственной деятельности предприятий на языке системного моделирования idef0 [15]. Рассмотрим основной бизнес-процесс

с точки зрения системного подхода, применив методологию *idef0* для дальнейшего формирования модели кадрового резерва.

Методология – совокупность методов, объединенных общими целями и задачами. Данная модель представляет набор иерархических диаграмм, каждая из которых описывает функцию и делится на подфункции. Система может быть представлена в виде множества процессов A , осуществляющих преобразование элементов системы (входы, выходы, управление, механизмы управления) (рис. 3).

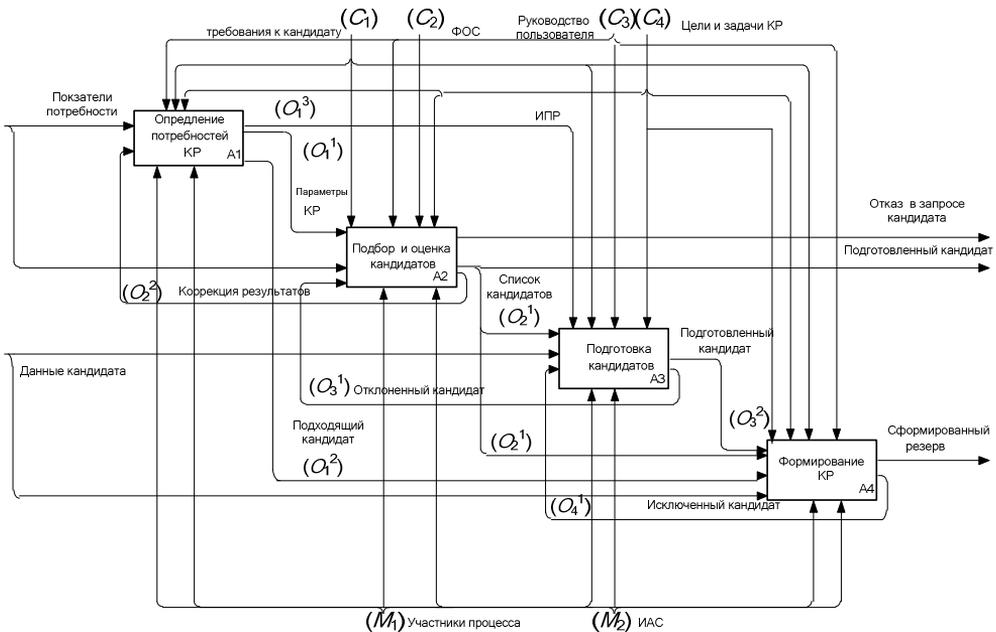


Рис. 3. Функциональная модель процесса формирования кадрового резерва

Представим I_i – множество $\{j_1, \dots, j_K\}$ входов процесса A_j , O_i – множество $\{o_1, \dots, o_K\}$ выходов процесса A_j , C_i – множество $\{c_1, \dots, c_N\}$ управлений процессом A_j , M_i – множество $\{m_1, \dots, m_P\}$ механизмов управления процессом A_j . Следовательно, процесс может быть представлен в виде множества: $A_j = \langle I_i, O_i, C_i, M_i \rangle$.

Чтобы данная функциональная модель (см. рис. 3) удовлетворяла правилам структуры (см. рис. 1), следует добавить логическое условие композиции. Нетрудно показать, что данная структура отвечает требованиям, приведенным выше, архитектуры, которая определяет все множество возможных функциональных моделей (включая множества непротиворечивых и противоречивых структур) [17, 18, 19, 20, 21].

На следующем шаге, полагая, что имеем множество указанных структур, определим одну из непротиворечивых структур хранилищ данных для модели процесса соглашения. На основе данной модели определим схему ИАПС (рис. 4). Очевидно, что структура ИАПС на основе хранилища данных и знаний отвечает там же требованиям архитектуры (см. рис. 1).

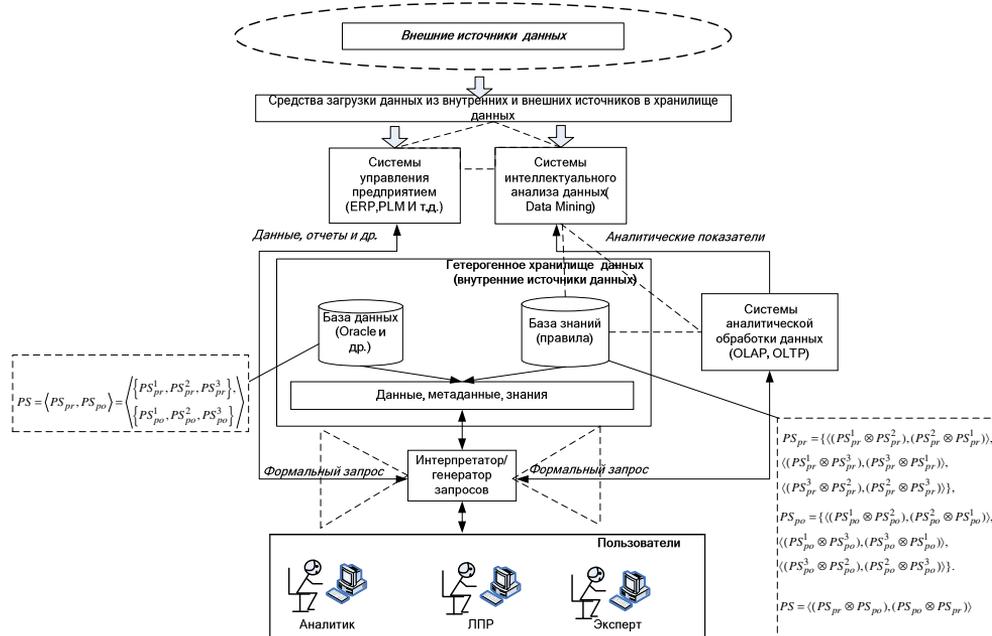


Рис. 4. Обобщенная схема хранилища данных информационной аналитической программной системы

ИАПС характеризуется следующими параметрами: использованием различных систем управления базами данных (Oracle, MySQL и т.д.), современных средств хранения (Data Warehouse), применением оперативной аналитической обработки (OLTP – Online Transaction Processing, OLAP – On-Line Analytical Processing), средств интеллектуального анализа данных (Data Mining) и др.

В результате использования ИАПС пользователи (лица, принимающие решения (ЛПР), аналитики, эксперты) получают эффективный инструмент проведения подбора, анализа кандидатов для кадрового резерва, а также для формирования данных о кадровом резерве, представленных в табличном и графическом виде. Данная ИАПС обеспечивает централизованный сбор, хранение, обновление, структуризацию,

систематизацию, интеграцию, обработку и консолидированный анализ многообразных данных кандидатов кадрового резерва.

В ИАПС подсистемы отвечают принципам:

- развиваемости;
- блочности построения;
- определенной независимости отдельных подсистем и их баз данных (БД);
- коррекции функциональной части и др.

Основными данными для БД служит справочник данных кандидатов, где имеется полная информация о кандидате, название таблицы, в которой хранятся показатели, код группы, к которой относится показатель, проверяется показатель на подпоказатели, код единиц измерения показателя, периодичность представления показателя и поле с комментарием для показателя. База знаний содержит правила алгоритма работы программы, описанной с помощью категорий множеств [17, 18, 19].

В качестве внешних источников данных выступают: органы государственной власти (Министерство труда и социальной защиты населения, местная администрация города и района и т.д.), взаимодействующие организации (центры занятости населения, вузы, ссузы, предприятия и т.д.), вышестоящие органы управления (холдинги, корпорации и т.д.).

Использование формального описания информационных объектов на языке теории категорий, помогает увеличить формализованность предметной области, открывая новые возможности выявления проблем. При формировании хранилища данных могут быть рассмотрены отдельные объекты, выраженные категориями пользователей, категориями программных модулей, отношения между ними будут определяться функторами. Это позволяет хранить данные и знания в едином месте. Таким образом, решается проблема разобщенности данных и знаний при обработке и передаче.

Выводы. В статье предложено проектирование информационной аналитической программной системы на основе метода декартово-замкнутой категории и ее фрактальной устойчивости. Построена схема взаимосвязей между категориями объектов. Представлена обобщенная схема хранилища данных ИАПС. Указанный метод перехода к количественному моновариантному описанию информационных процессов и применение требований стандарта ISO/IEC 15288 позволяют связать

каждые стадии жизненного цикла программной системы путем введения рекурсии, нахождением оптимального решения подзадач рекурсивно, проделывая аналогичную последовательность действий.

Библиографический список

1. Куликов Г.Г., Антонов В.В., Антонов Д.В. Формализация предметной области с применением инструментов, поддерживающих стандарты // Вестник Уфим. гос. авиац. техн. ун-та. – 2012. – Т. 16, № 3(48). – С. 42–52.

2. Антонов В.В., Куликов Г.Г. Формальная модель предметной области на основе нечетких отношений // Программные продукты и системы: междунар. журнал. – Тверь, 2011. – № 2(94). – С. 48–51.

3. Куликов Г.Г., Антонов В.В., Антонов Д.В. Построение формальной модели предметной области с применением нечеткой кластеризации // Вестник Уфим. гос. авиац. техн. ун-та. – 2011. – Т. 15, № 5. – С. 3–11.

4. Хомский Н. Язык и проблема знания // Вестник МГУ. – М., 1996. – Вып. 6. – С. 157–185.

5. Антонов В.В. Метод проектирования адаптивного программного комплекса на основе методологии категорийной формальной модели открытой предметной области // Вестник Уфим. гос. авиац. техн. ун-та. – 2015. – Т. 19, № 1(67). – С. 258–263.

6. Копайгородский А.Н. Применение онтологий в семантических информационных системах // Онтология проектирования. – 2014. – № 4(14). – С. 78–89.

7. Антонов В.В., Куликов Г.Г. Метод построения математической модели предметной области // Вестник Самар. гос. экон. ун-та. – 2010. – № 5(67). – С. 10–14.

8. ISO/IEC/IEEE 15288:2015 System and software engineering – System lifecycle processes // Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс.

9. Беллман Р., Заде Л. Принятие решений в расплывчатых условиях: сб. науч. тр. – М.: Мир, 1976. – С. 172–215.

10. Структурирование контента рассматриваемой области для дальнейшего интеллектуального анализа. Пример формирования структурированного контента ОПС / Г.Г. Куликов, В.В. Антонов, М.А. Шилина, А.Р. Фахруллина // Информационно-управляющие системы. – 2016. – № 2. – С. 95–100.

11. Метод предметно-ориентированной классификации и системного моделирования слабоформализованных информационных потоков в системах автоматизации производства / Г.Г. Куликов, В.В. Антонов, Д.В. Антонов, Ф.Ф. Шингарев // Вестник ЮУрГУ. Сер. Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. – 2016. – Т. 16, № 2. – С. 116–130.

12. Гольдблатт Р. Топосы. Категорный анализ логики. – М.: Мир, 1983. – 486 с.

13. Куликов Г.Г., Антонов В.В., Антонов Д.В. Теоретические и прикладные аспекты построения моделей информационных систем. – LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co.KG, Germany, 2011. – 134 с.

14. Энтропия // Большая советская энциклопедия: в 30 т. / гл. ред. А.М. Прохоров. – 3-е изд. – М.: Советская энциклопедия, 1969–1978.

15. IDEF0 и др. [Электронный ресурс]. – URL: <https://ru.wikipedia.org> (дата обращения: 12.03.2018).

16. 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. Сер. Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. – 2017. – Т. 17, № 4. – С. 146–153.

17. Модели хранилищ данных информационно-аналитических систем [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.tssonline.ru/articles2/fix-corp/modeli-hranilish-dannih-informacionnoanaliticheskikh-sistem-2> (дата обращения: 12.03.2018).

18. Akimkina E.E., Abbasov A.E. Analysis of the tools of information systems for processing multidimensional data // Information and Technology Bulletin. – 2015. – P. 61–75.

19. Models and Methods for Quality Management Based on Artificial Intelligence Applications / Nafissa Yussupova, George Kovacs, Maxim Boyko, Diana Bogdanova // Acta Polytechnica Hungarica. – 2016. – № 3. – P. 45–60.

20. Kovács, G., Yussupova, N., Rizvanov, D. Resource management simulation using multi-agent approach and semantic constraints // Pollack Periodica. An International Journal for Engineering and Information Sciences. – 2017. – Vol. 12. – Iss. 1. – P. 45–58. – URL: <https://doi.org/10.1556/606.2017.12.1.4>

21. Kovács G.L., Petunin A.A. An information technology view of manufacturing automation – Product life-cycle management // Pollack. – 2016. – Vol. 11. – Iss. 2. – P. 3–14.

22. Massel L.V., Arshinsky V.L., Massel A.G. Intelligent computing on the basis of cognitive and event modeling, and its application in energy

security security // *Renewable and Alternative Energy: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications*. – 2016. – P. 780–787.

23. Voropaj N.I., Massel' L.V., Slavin G.B. Setting up the system for monitoring the power engineering facilities in Russia using new information technologies // *Elektrichestvo*. – 2002. – Vol. 9. – P. 2–8.

24. Salas D.F., Powell W.B. Benchmarking a scalable approximate dynamic programming algorithm for stochastic control of grid-level energy storage // *INFORMS Journal on Computing*. – 2018. – Vol. 30. – Iss. 1. – P. 106–123.

25. Simulation studies of the self-assembly of halogen-bonded sierpiński triangle fractals / Z. Zhang, W.-J. Xie, Y.I. Yang, G. Sun, Y.-Q. Gao // *Wuli Huaxue Xuebao. Acta Physico – Chimica Sinica*. – 2017. – Vol. 30. – Iss. 3. – P. 539–547.

References

1. Kulikov G.G., Antonov V.V., Antonov D.V. Formalizatsiia predmetnoi oblasti s primeneniem instrumentov, podderzhivaiushchikh standarty [Formalization of subject domain with use of the tools supporting standards]. *Vestnik Ufimskogo gosudarstvennogo aviatsionnogo tekhnicheskogo universiteta*, 2012, vol. 16, no. 3(48), pp. 42-52.

2. Antonov V.V., Kulikov G.G. Formal'naia model' predmetnoi oblasti na osnove nechetkikh otnoshenii [Formal model of subject domain on the basis of the indistinct relations]. *Programmnye produkty i sistemy: mezhdunarodnyi zhurnal*. Tver', 2011, no. 2(94), pp. 48-51.

3. Kulikov G.G., Antonov V.V., Antonov D.V. Postroenie formal'noi modeli predmetnoi oblasti s primeneniem nechetkoi klasterizatsii [Creation of formal model of subject domain with application of an indistinct clustering]. *Vestnik Ufimskogo gosudarstvennogo aviatsionnogo tekhnicheskogo universiteta*, 2011, vol. 15, no. 5, pp. 3-11.

4. Khomskii N. Iazyk i problema znaniia [Language and problem of knowledge]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta*, 1996, iss. 6, pp. 157-185.

5. Antonov V.V. Metod proektirovaniia adaptivnogo programmno kompleksa na osnove metodologii kategoriinoi formal'noi modeli otkrytoi predmetnoi oblasti [Design method of an adaptive program complex on the basis of methodology of category formal model of open subject domain]. *Vestnik Ufimskogo gosudarstvennogo aviatsionnogo tekhnicheskogo universiteta*, 2015, vol. 19, no. 1(67), pp. 258-263.

6. Kopaigorodskii A.N. Primenenie onotologii v semanticheskikh informatsionnykh sistemakh [Application of onotologiya in semantic information systems]. *Ontologiya proektirovaniia*, 2014, no. 4(14), pp. 78-89.

7. Antonov V.V., Kulikov G.G. Metod postroeniia matematicheskoi modeli predmetnoi oblasti [Method of creation of mathematical model of subject domain]. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta*, 2010, no. 5(67), pp. 10-14.

8. ISO/IEC/IEEE 15288:2015 System and software engineering - System lifecycle processes. Dostup iz spravочно-pravovoi sistemy Konsul'tantPlius.

9. Bellman R., Zade L. Priniatie reshenii v rasplyvchatykh usloviakh [Decision-making in indistinct conditions]. Moscow: Mir, 1976, pp. 172-215.

10. Kulikov G.G., Antonov V.V., Shilina M.A., Fakhrullina A.R. Strukturirovanie kontenta rassmatrivaemoi oblasti dlia dal'neishego intellektual'nogo analiza. Primer formirovaniia strukturirovannogo kontenta OPS [Structuring content of the considered area for the further intellectual analysis. An example of formation of the structured content of the educational production environment]. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy*, 2016, no. 2, pp. 95-100.

11. Kulikov G.G., Antonov V.V., Antonov D.V., Shingareev F.F. Metod predmetno-orientirovannoi klassifikatsii i sistemnogo modelirovaniia slaboformalizovannykh informatsionnykh potokov v sistemakh avtomatizatsii proizvodstva [Method of subject-oriented classification and system modeling of slaboformalizovanny information streams in the systems of automation of production]. *Vestnik Iuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Komp'iuternye tekhnologii, upravlenie, radioelektronika*, 2016, vol. 16, no. 2, pp. 116-130.

12. Gol'dblatt R. Toposy. Kategorny analiz logiki [Top wasps. Kategorny analysis of logic]. Moscow: Mir, 1983. 486 p.

13. Kulikov G.G., Antonov V.V., Antonov D.V. Teoreticheskie i prikladnye aspekty postroeniia modelei informatsionnykh sistem [Theoretical and applied aspects of creation of models of information systems]. LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co.KG, Germany, 2011. 134 p.

14. Entropiia [Entropy]. Bol'shaia sovetskaia entsiklopediia v 30 Tomakh. 3rd ed. Ed. A.M. Prokhorov. Moscow: Sovetskaia entsiklopediia, 1969-1978.

15. IDEF0 et al., available at: <https://ru.wikipedia.org> (accessed 12 March 2018).

16. Kulikov G.G., Antonov V.V., Fakhrullina A.R., Rodionova L.E. Formal'noe predstavlenie modeli realizatsii funktsii sistemnoi inzhenerii na osnove printsipa neobkhodimogo raznoobraziia strukturnykh svyazi [Formal representation of model of realization of functions of system engineering on the basis of the principle of a necessary variety of structural communications]. *Vestnik Iuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Komp'iuternye tekhnologii, upravlenie, radioelektronika*, 2017, vol. 17, no. 4, pp. 146-153.

17. Modeli khranilishch dannykh informatsionno-analiticheskikh sistem [Models of storages of these information and analytical systems], available at: <http://www.tsonline.ru/articles2/fix-corp/modeli-hranilishch-dannih-informacionnoanaliticheskikh-sistem-2> (accessed 12 March 2018).

18. Akimkina E.E., Abbasov A.E. Analysis of the tools of information systems for processing multidimensional data. *Information and Technology Bulletin*, 2015, pp. 61-75.

19. Yussupova Nafissa, Kovacs George, Boyko Maxim, Bogdanova Diana. Models and Methods for Quality Management Based on Artificial Intelligence Applications. *Acta Polytechnica Hungarica*, 2016, no. 3, pp. 45-60.

20. Kovács, G., Yussupova, N., Rizvanov, D. Resource management simulation using multi-agent approach and semantic constraints. *Pollack Periodica. An International Journal for Engineering and Information Sciences*, 2017, vol. 12, iss. 1, pp. 45-58, available at: <https://doi.org/10.1556/606.2017.12.1.4>

21. Kovács G.L., Petunin A.A. An information technology view of manufacturing automation – Product life-cycle management. *Pollack*, 2016, vol. 11, iss. 2, pp. 3-14.

22. Massel L.V., Arshinsky V.L., Massel A.G. Intelligent computing on the basis of cognitive and event modeling, and its application in energy security. *Renewable and Alternative Energy: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications*, 2016, pp. 780-787.

23. Voropaj N.I., Massel' L.V., Slavin G.B. Setting up the system for monitoring the power engineering facilities in Russia using new information technologies. *Elektrichestvo*, 2002, vol. 9, pp. 2-8.

24. Salas D.F., Powell W.B. Benchmarking a scalable approximate dynamic programming algorithm for stochastic control of grid-level energy storage. *INFORMS Journal on Computing*, 2018, vol. 30, iss. 1, pp. 106-123.

25. Zhang Z., Xie W.-J., Yang Y.I., Sun G., Gao Y.-Q. Simulation studies of the self-assembly of halogen-bonded sierpiński triangle fractals. *Wuli Huaxue Xuebao. Acta Physico – Chimica Sinica*, 2017, vol. 30, iss. 3, pp. 539-547.

Сведения об авторах

Куликов Геннадий Григорьевич (Уфа, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматизированные системы управления» Уфимского государственного авиационного технического университета (450000, Уфа, ул. К. Маркса, 12, e-mail: gennadyg_98@Yahoo.com).

Антонов Вячеслав Викторович (Уфа, Россия) – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Автоматизированные системы управления» Уфимского государственного авиационного технического университета (450000, Уфа, ул. К. Маркса 12, e-mail: antonov.v@bashkortostan.ru).

Фахруллина Альмира Раисовна (Уфа, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизированные системы управления» Уфимского государственного авиационного технического университета (450000, Уфа, ул. К. Маркса д. 12, e-mail: almirafax@mail.ru).

Родионова Людмила Евгеньевна (Уфа, Россия) – старший преподаватель кафедры «Автоматизированные системы управления» Уфимского государственного авиационного технического университета (450000, Уфа, ул. К. Маркса, 12, e-mail: lurik@mail.ru).

About the authors

Kulikov Gennady Grigorievich (Ufa, Russian Federation) is a Doctor of Technical Sciences, Professor Departments of Automated Control Systems Ufa State Aviation Technical University (450000, Ufa, 12, K. Marx str., e-mail: gennadyg_98@Yahoo.com).

Antonov Vyacheslav Viktorovich (Ufa, Russian Federation) is a Doctor of Technical Sciences, Professor, the head of the Department of Automated Control Systems Ufa State Aviation Technical University (450000, Ufa, 12, K. Marx str., e-mail: antonov.v@bashkortostan.ru).

Fakhrullina Almira Raisovna (Ufa, Russian Federation) is a Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor of Automated Control Systems Ufa State Aviation Technical University (450000, Ufa, 12, K. Marx str., e-mail: almirafax@mail.ru).

Rodionova Lyudmila Evgenievna (Ufa, Russian Federation) is a Senior Teacher of Department of Automated Control Systems Ufa State Aviation Technical University (450000, Ufa, 12, K. Marx str., e-mail: lurik@mail.ru).

Получено 09.07.2018