

DOI: 10.15593/2224-9397/2020.2.01

УДК 004.4

Г.Г. Куликов, В.В. Антонов, Н.Д. Навалихина,  
Л.Е. Родионова, В.А. Суворова, М.А. Шилина

Уфимский государственный авиационный технический университет,  
Уфа, Россия

## МЕТОДОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПАК ИССЛЕДУЕМОЙ ПРОБЛЕМНОЙ ОБЛАСТИ НА ОСНОВЕ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЛОГИЧЕСКИХ ПРОТИВОРЕЧИЙ КВАДРАТА ДЕКАРТА И СТРУКТУРНОЙ САМООРГАНИЗАЦИИ

Развитие науки и технологий, глобализация экономики, интеграционные процессы в гражданском обществе вызывают потребность в создании все более совершенных оборонных, образовательных, производственных, транспортных, энергетических и других систем. В ответ на требования развития эти системы постоянно усложняются: в их составе появляется все больше элементов, границы становятся подвижными, для описания поведения используются все более трудные для быстрого восприятия модели. Применение стандартов системной инженерии позволяет описывать концепции и управление деятельности по созданию систем любого масштаба и назначения. Следовательно, для отображения знаний в рассматриваемой предметной области (системное моделирование) используются математически-формализованные правила, предназначенные для описания объектов (объектные языки). **Цель исследования:** разработка концептуального подхода к построению архитектуры метаструктуры программного аналитического комплекса (ПАК) на основе множества реальных и виртуальных объектов и их непротиворечивых и противоречивых отношений, определяемых семантической моделью (онтологией) исследуемой предметной области по логике квадрата Декарта. **Методы:** использован принцип логической свертки семантической модели исследуемой предметной области, содержащей отношения противоречия, с располагаемой синтаксически определённой моделью информационной сети. **Результаты:** на базе предложенной методологии рассмотрено создание цифрового двойника для взаимодействия с предметной областью. Предметная область имеет системное представление, основанное на фундаментальных законах формальной логики. Показана возможность выстраивания иерархических цепочек электронных административных регламентов, взаимодействующих между собой, которые так же соответствуют понятию категорий, т.е. некое объединение регламентов является категорией. Предложена мера оценки близости модели к реальному объекту, необходимая для формирования цифрового двойника системы. **Практическая значимость:** результаты исследований использованы при разработке процесса предоставления государственных и муниципальных услуг гражданам РФ в электронной форме. Они позволяют повысить оперативность и качество управления организационно-функциональными процессами.

**Ключевые слова:** предметная область, фракталы, цифровой двойник, квадрат Декарта, аналитический программный комплекс, стандарт системной инженерии, государственная электронная услуга, метаструктура, виртуальный объект.

**G.G. Kulikov, V.V. Antonov, N.D. Navalikhina,  
L.E. Rodionova, V.A. Suvorova, M.A. Shilina**

Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russian Federation

## **DESIGN METHODOLOGY OF SAC OF INVESTIGATED PROBLEM AREA BASED ON IDENTIFICATION OF LOGICAL CONTRADICTIONS OF DESCARTES SQUARE AND STRUCTURAL SELF-ORGANIZATION**

The development of science and technology, globalization of the economy, integration processes in civil society call for the creation of increasingly sophisticated defense, education, production, transport, energy and other systems. In response to the requirements of development, these systems are becoming more and more complex: in the composition of which there are more and more elements, the boundaries are becoming mobile, to describe the behavior more and more difficult models for rapid perception. The application of system engineering standards makes it possible to describe the concepts and management of the activities to create systems of any scale and purpose. Hence, for display of knowledge in considered subject area (system modelling) the mathematically formalized rules intended for the description of objects (object languages) are used. **Objective:** to develop a conceptual approach to building the architecture of the metastructure of the software analytical complex (PAK) based on the set of real and virtual objects and their consistent and contradictory relationships determined by the semantic model (ontology) of the studied subject area according to the logic of Descartes square. **Methods:** the principle of logical convolution of the semantic model of the studied subject area is used, which contains the relationship of contradiction with the available syntactically defined model of the information network. **Results:** on the basis of the proposed methodology, the creation of a digital double for interaction with the subject area is considered. The subject area has a systemic representation based on the fundamental laws of formal logic. The possibility of building hierarchical chains of electronic administrative regulations interacting with each other that also correspond to the concept of categories is shown, that is, a certain union of regulations is a category. A measure is proposed for assessing the proximity of the model to a real object, necessary for the formation of a digital twin of the system. **Practical significance:** research results were used in the development of the process of providing state and municipal services to citizens of the Russian Federation in electronic form. They improve the efficiency and quality of organizational and functional process management.

**Keywords:** problem area, fractals, digital twin, Descartes square, analytical software complex, system engineering standard, state electronic service, metastructure, virtual object.

**Введение.** Применение стандартов системной инженерии позволяет описывать концепции и процесс управления деятельностью по созданию систем любого масштаба и назначения, в том числе и систем, содержащих в себе как внутренние противоречия, так и противоречия с внешней средой.

Задачи управления в данном случае сталкиваются с проблемой обработки противоречивых разнородных данных. Кроме того, наблюдается увеличение количества написанных программных систем для однородных процессов предприятия.

Таким образом, имеется множество задач управления проблемной областью, множество программных систем, появляется проблема выбора программного средства (ПС) и возможности комплексного использования этих программных средств в форме аналитического программного комплекса (АПК).

Возникает задача объединения в едином ЖЦ жизненных циклов предметной области, ПС, АПК (рис. 1).

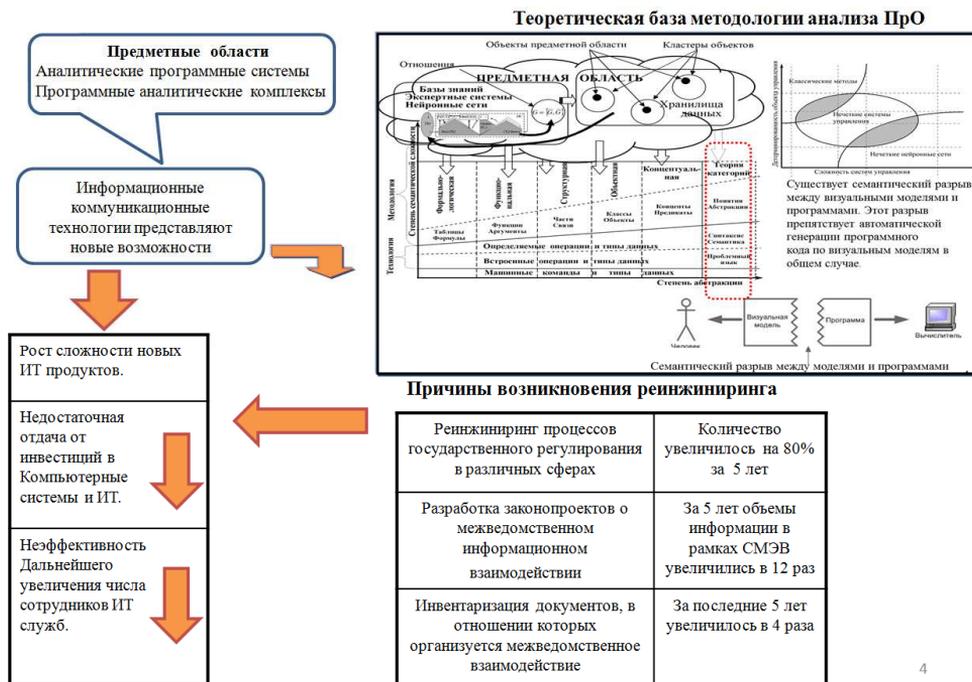


Рис. 1. Схема факторов, определяющих современные проблемы реинжиниринга программно-аналитического комплекса

Рост сложности программного комплекса сопровождается интенсивностью числа выполняемых задач и возможностью повторения любой ранее выданной информации.

В результате требуется интеграция в условиях семантической неоднородности, неполноты, неточности и противоречивости данных.

Применение теории множеств и теории категорий рассматривается как один из способов, связанных с формализацией этих подходов.

Для решения данной проблемы предлагается использовать методы теории категорий, стандарты системной инженерии ISO15288 [1].

Предложено применить принцип логической свертки семантической модели исследуемой предметной области, априори содержащей отношения противоречия, с располагаемой синтаксически определённой моделью информационной сети (топология сети). В результате можно формализовать возможные противоречия в форме логических квадратов Декарта. Для устранения таких потенциальных противоречий логическую структуру модели предметной области следует дополнять кибернетическими квадратами для самоорганизации. Таким образом, можно получить структуру открытой непротиворечивой самоорганизованной управляемой метамодели предметной области с АПК. В прикладном аспекте это можно реализовать двухэтапной процедурой:

- 1) поиск противоречивых квадратов;
- 2) устранение выявленных противоречий путём достраивания метамодели дополнительными квадратами до кибернетической системы управления с обратными связями.

На рис. 2 приведена схема сценария формирования множества квадрата Декарта для исследуемой предметной области и их декомпозиции в терминах формальной логики и теории категорий.

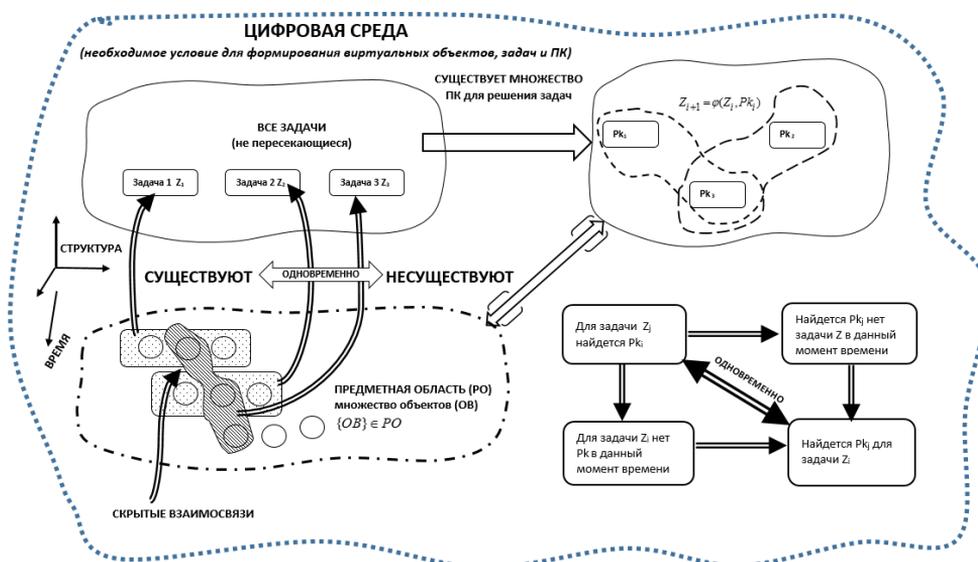


Рис. 2. Схема сценария формирования множества квадрата Декарта и их декомпозиции

**1. Концептуальный подход к решению проблемы.** Известно, что знания о целенаправленной деятельности в какой-либо исследуемой предметной области представляются прежде всего в форме онтологических описаний различной полноты, адекватности и точности – семантических моделей. Например, в производственной деятельности к ним можно отнести системы нормативно-справочной и отчетной информации (документации). Представленные в оцифрованном виде они могут выполнять роль виртуальной части в исследуемой предметной области (ПО). При дальнейшей формализации этих знаний может быть составлен соответствующий цифровой двойник, который мог бы взаимодействовать с реальной частью ПО.

В прикладном аспекте рассматривается пример предметной области предоставления государственных и муниципальных услуг гражданам РФ в электронной форме (№ 210-ФЗ от 27.07.2010). С каждым годом качество оказания государственных электронных услуг (далее – ГЭУ) растет за счет развития функционала единого портала государственных услуг (далее – ЕПГУ). Однако, как и любая система, каждый из видов государственных услуг (далее – ГУ) живет и развивается: меняется количество и состав подуслуг, вносятся изменения в законодательную базу по оказанию конкретного вида ГУ и другое. Такие изменения влекут за собой реинжиниринг процесса оказания ГЭУ и внесение изменений в соответствующее программное обеспечение. Не исключены в процессе оказания ГЭУ и противоречивые (внештатные) ситуации, с накоплением которых требуется принятие оптимального управленческого решения, а ликвидация их как инцидентов требует реинжиниринга ранее разработанной ГЭУ. С целью прогнозирования и оперативного реагирования на такие инциденты стало необходимым детальное представление и формальное описание данной предметной области в виде системной математической модели (цифрового двойника). Такая модель обеспечит идентифицируемость и прослеживаемость процессов жизненного цикла ГЭУ в соответствии с принципами системной инженерии.

Рассмотрим процесс оказания/получения ГЭУ с точки зрения системной инженерии. Данный процесс содержит множество объектов и отношений между ними, является многогранным и многоаспектным, содержит большое количество как отношений внутри системы, так и внешних взаимосвязей. Рассмотрим пример проектирования процесса получения гражданином ГЭУ: электронная подача гражданином заявления на

предоставление услуги, отслеживание хода ее исполнения и получение результата услуги в программно-инструментальной среде ЕПГУ.

В свою очередь, процесс оказания ведомством ГЭУ связан с внешними функциями. Например, в процессе рассмотрения заявки на ГЭУ сотрудники ведомства часто прибегают к использованию системы межведомственного электронного взаимодействия (СМЭВ) для получения дополнительных сведений о заявителе, которая имеет свою структуру с множеством своих внутренних и внешних взаимосвязей. Таким образом, достигается взаимодействие заявителя и ведомства посредством ЕПГУ, взаимодействие совокупности ведомств между собой посредством ряда сервисов передачи информации. Действия заявителя и ОИВ (ведомств) осуществляются в организационно-функциональной структуре ЕПГУ как цифровой фабрики, где реализуется взаимодействие со всеми объектами рассматриваемой системы и участниками процесса оказания/получения ГЭУ [2].

Как и в любой информационной системе, для ее бесперебойной работы функционирует регулярная техническая поддержка портала, куда вследствие возникновения внештатных ситуаций имеет возможность обратиться тот или иной участник процесса. Техническая поддержка осуществляется разработчиком, однако и в этом случае бывают инциденты, основным из которых является несвоевременный ответ на обращение или его отсутствие и, как следствие, отсутствие обработки/решения проблемы участника процесса оказания/получения ГЭУ.

Основными причинами такого большого спектра/множества инцидентов/прецедентов в рассматриваемой предметной области являются большое количество объектов и взаимосвязей, отсутствие регулярной идентифицируемости и прослеживаемости процессов.

Отметим, что в исследуемой в качестве примера предметной области системное представление (описание), основанное только на фундаментальных законах формальной логики (исключения третьего, непротиворечивости, тождества), недостаточно, необходимо учитывать объективные противоречия, нарушающие действие закона тождества во времени. Одним из подходов, учитывающих такую объективную закономерность, является фрактальная теория [3].

Под фракталом будем понимать следующее определение: фрактал – это некая структура, состоящая из частей, которые по какому-либо правилу подобны самой структуре.

Таким образом, речь идет о способах соединения структур в систему по времени [4]. Таким образом, жизненный цикл процессов в данной предметной области характеризуется множеством своих состояний в любой момент времени, а данная система – процесс представления ГЭУ в виде категориального фрактала в ЖЦ.

Для описания отношений в системе была применена математическая теория категорий как формальный язык для непротиворечивой интеграции различных математических и прикладных моделей [4].

Категория – это коллекция абстрактных объектов, связанных морфизмами (стрелками), обозначающими допустимые преобразования одних объектов в другие. Применение теории категорий позволяет кратко определить основные понятия, не «потонув» в деталях описания состава и структуры моделей компонентов и систем. В данной статье под категорией будем понимать предметную область, в рамках которой осуществляется оказание того или иного вида ГЭУ.

В терминах теории категорий свойства фрактала будут удовлетворять определенным условиям. Объекты преобразуются в программный модуль, который определяется цепочкой отношений, т.е. чем ниже уровень фрактала, тем больше количество отношений.

**2. Метод формирования архитектуры метаструктуры исследуемой предметной области.** Процессы ЖЦ, принятые в стандарте ISO/IEC/IEEE 15288 (процессы предприятия, проекта и технические процессы), во многом определяют эффективность формирования и применения систем, предопределяя достижение целей предприятия. А процессы соглашения определены рабочими взаимоотношениями, которые происходят посредством заключения соглашений, представляющих для нас наибольший интерес [16].

Между двумя объектами есть отношение соответствия. Соответствие отношения есть процесс соглашения, которое характеризуется в стандарте ISO/IEC/IEEE 15288 отношением двух объектов процесса соглашения. Согласно стандарту ISO/IEC/IEEE 15288, процесс соглашения состоит из процессов приобретения и процессов поставки.

Введем следующие обозначения:

$SR$  – множество информационных характеристик реестра услуг,  
 $SR = \{SR_1, SR_2, \dots, SR_m\}$ ;

$SPPR$  – множество систем управления объектом,  
 $SPPR = \{SPPR_1, SPPR_2, \dots, SPPR_n\}$ ;

$P$  – множество информационных характеристик портала ГЭУ,  
 $P = \{P_1, P_2, \dots, P_j\}$ ;

$Z$  – множество информационных характеристик заявителя,  
 $Z = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_i\}$ ;

$V$  – множество информационных характеристик систем ведомств,  
 $V = \{V_1, V_2, \dots, V_n\}$ ;

$S$  – множество информационных характеристик сервисов СМЭВ,  
 $S = \{S_1, S_2, \dots, S_k\}$ .

На рис. 3 изображена, кроме прочего, модель взаимодействия объектов в процессе получения заявителем государственной электронной услуги (левая пирамида) с использованием межведомственного взаимодействия (правая пирамида).

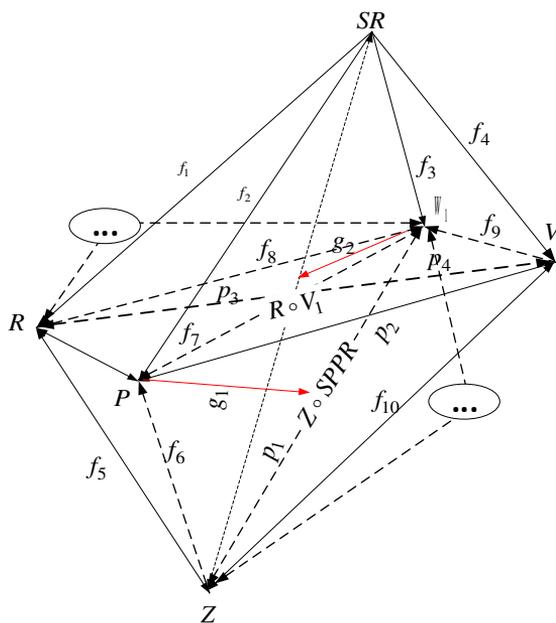


Рис. 3. Категориальный фрактал управления ГЭУ

Весь перечень государственных услуг содержится в реестре «госуслуг» ( $SR$ ), в соответствии с которым заявитель имеет право получить электронную услугу путем обращения на портал ГЭУ ( $Z$ ) либо в личный кабинет на сайте ведомства ( $V_1$ ).

С 2010 г. согласно ФЗ-210 осуществляется перевод ГУ в электронный вид. Также разработана система межведомственного взаимо-

действия, позволяющая сократить перечень требуемых с заявителя документов для оказания ему услуги и получить их с других ведомств по каналам межведомственного взаимодействия.

Рассматривая взаимодействие информационных характеристик объектов  $Z$  (информационные данные заявителя услуги) и  $W_1$  (объект преобразования данных к виду, требуемому системой), оно может быть представлено композицией  $Z \circ W_1$  с морфизмами  $p_1: Z \circ W_1 \rightarrow Z$  и  $p_2: Z \circ W_1 \rightarrow W_1$ , такими, что для любого информационного объекта  $P$  (портал ГЭУ) с морфизмами  $f_6: P \rightarrow Z$  и  $f_7: P \rightarrow W_1$  существует единственный морфизм  $g_1: P \rightarrow Z \circ W_1$ , который определяется коммутативной диаграммой.

Таким же образом рассматривается взаимодействие объектов  $R$  (информационные данные разработчика) с  $V$  (информационные системы ведомств)  $R \circ V$  с морфизмами  $p_3: R \circ V \rightarrow R$  и  $p_4: R \circ V \rightarrow V$ , такими, что для любого объекта  $W_1$  с морфизмами  $f_8: W_1 \rightarrow R$  и  $f_9: W_1 \rightarrow V$ , существует единственный морфизм  $g_2: W_1 \rightarrow R \circ V$ , который определяется коммутативной диаграммой.

Появляется возможность все процессы, протекающие в рамках административных регламентов, для абсолютно всех стадий описать с использованием иерархии Хомского и предложенного категориального подхода.

В результате приходим к структуризации отношений объектов в виде функторных отношений. При дальнейшем выделении объектов внутри крупных объектов получаем уменьшение в них неструктурированной части и увеличение общей структурированной части предметной области по определенным правилам, что позволяет максимизировать прослеживаемость и идентифицируемость в процессах получения/оказания ГЭУ, а также обеспечить оперативность принимаемых решений в случае возникновения инцидентов. Открывается возможность проследивания всей цепочки отношений до конкретного исполнителя.

В результате приходим к тому, что в итоге такой декомпозиции сложность объектов снижается, а сложность отношений увеличивается. В пределе с точки зрения моделирования получается полное покрытие информационной области информационными объектами и отношениями между ними, при этом отношения между объектами формализованы

и структурированы и могут быть описаны на основе функторных отношений объектов категорий, т.е. могут быть категорированными.

Таким образом, можем говорить о том, что отношения двух объектов в ряде случаев могут быть представлены в виде нового объекта, который может быть либо реальным, либо виртуальным (см. рис. 3). Виртуальный объект – это объект, полученный в результате отношений, достраиваемый до декартовозамкнутой категории, которой также не противоречит необходимому разнообразию  $U$ . Эшби. В результате преобразований получаем самоподобие масштабной инвариантности – фракталы [3, 4, 5].

На основании проведенных исследований [6–9] и правил синтеза самоорганизующейся структуры процесс соглашения, основанный на композиции объектов-процессов, может быть определен путем логического сложения некоторых фракталов в форме коммутативных треугольников в квадраты Декарта.

Так, в коммутативном треугольнике  $(P, W_1, Z)$  образуется виртуальный объект из композиции  $(Z \circ W_1)$ , который представляет собой, например, процесс/возможность обращения заявителя в службу поддержки портала ГУ в случае неисправности первого, в результате чего формируется база данных (учет) ошибок/багов системы. Далее в треугольнике  $(R, W_1, V)$  образуется виртуальный объект из композиции  $(R \circ V)$ , дающий возможность проработки базы ошибок и формирования на их основе базы данных решений по выявленным инцидентам (см. рис. 3). Таким образом, можем говорить о возможности формирования программного аналитического комплекса для решения задач по работе с инцидентами/прецедентами в процессе оказания/получения ГЭУ, где, учитывая взаимосвязанность всех отношений, любой инцидент может быть локализован путем минимизации количественных изменений.

Под инцидентами будем понимать возмущающие воздействия внешней и внутренней среды в рассматриваемой категории оказания/получения того или иного вида ГЭУ. Например, неучтенные/ не прописанные в административном регламенте нюансы оказания ГЭУ той или иной категории граждан (в том числе географический фактор и другие), системные/технические ошибки ЕПГУ, изменение нормативной базы по тому или иному виду ГЭУ и другие.

С учетом изложенного разработка новой ГЭУ может быть представлена в виде множества объектов, структурированных в категорию. В ходе проведенных исследований установлено, что отношения между объектами разных категорий соответствуют понятию функторного отношения. В результате приходим к множеству функторов, которые могут быть объединены в виде отдельной категории, т.е. отношения между элементами фрактала, строятся на уровне категориального отношения.

Таким образом, подобъекты, составляющие фрактал, могут быть описаны в виде функторных отношений, т.е. элементы разных категорий относятся друг к другу через функтор. В результате категории между собой связаны отношением «самоподобия» для конкретной предметной области. Например, в рассматриваемой предметной области отношением «самоподобия» будут связаны разные виды ГЭУ.

Предложенные выводы справедливы для любого рассматриваемого треугольника.

Использование правил фрактального построения систем может быть применено при проектировании структуры программных аналитических комплексов, например, на основе фрактальных графов и фрактоидных преобразований [10]. Объединение графа и фрактала есть фрактальный граф со свойствами фракталов: самоподобием, масштабной инвариантностью [3, 4]. Разновидностью нечетких вычислений являются фрактальные вычисления, которые представлены алгебраической структурой – фрактоидом. Применяя функторные отношения, возможно описать фрактальные процессы, объединяя в ранее описанные цепочки – «итерированные отображения» [5]. Сам фрактал в данном случае выступает не как геометрическое место точек, а как объект категориального отношения, назовем его «категориальный фрактал» [11].

Предлагаемый метод позволяет при описании предметной области в терминах теории категорий прийти к возможности выбора другого программного продукта, не проводя реинжиниринг всей системы. Так, к примеру, в процессах внедрения и оказания/получения ГЭУ формируются возмущающие воздействия в виде инцидентов, которые, в свою очередь, являются одной из причин изменения множества правил взаимодействия стадий ЖЦ проекта и запуска итеративного процесса перевода ГУ в электронный вид, который, в свою очередь, может быть достигнут путем применения функторных отношений. При этом задача реинжиниринга сводится к минимаксной задаче уже на этапе работы

с моделями [10, 12]. Состояние объекта в целом в исследуемой категории можем определить в понятиях его «смешанного» реального и виртуального состояний (рис. 4) [9, 12, 13, 14].

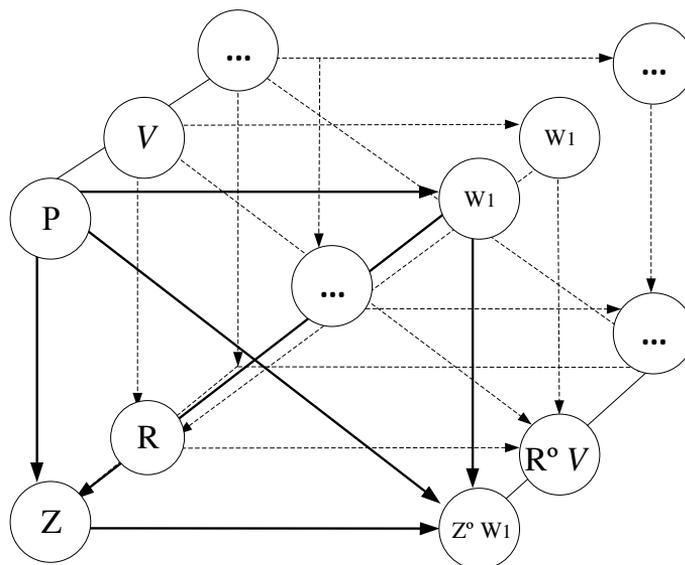


Рис. 4. «Смешанное состояние объекта (аналог кубита)

При рассмотрении коммутативного треугольника  $P, W_1, Z$  получаем реальное состояние объекта  $P$  и дополненное состояние объекта  $Z$ , виртуальное состояние объекта  $W_1$  и дополненное состояние реального объекта  $W_1 \circ Z$ , объектами которых являются категории, и они могут быть сведены в многомерную матрицу (см. рис. 4). Имеется возможность не полностью менять структуру программного комплекса, а только отдельную ее часть, добавляя новый модуль, преобразовывая матрицу отношений. Открывается возможность дальнейшего построения системы, т.е. открытость системы.

Семантика самой информации может определяться как неопределенность знаний либо отношений. Неучтенные в модели предметной области (ПО) свойства представляются в виде отдельной ПО и характеризуется неучтенными свойствами, позволяющими рассматривать ее как окружающую среду. В итоге каждая ПО интегрирует с окружающей средой и имеет возможность считаться распределенной/расширяемой. Таким образом открывается возможность достраивания взаимодействия между разными ГЭУ путем использования ин-

струментов системы межведомственного электронного взаимодействия (далее – СМЭВ), которая позволяет осуществить взаимодействие двух и более структур.

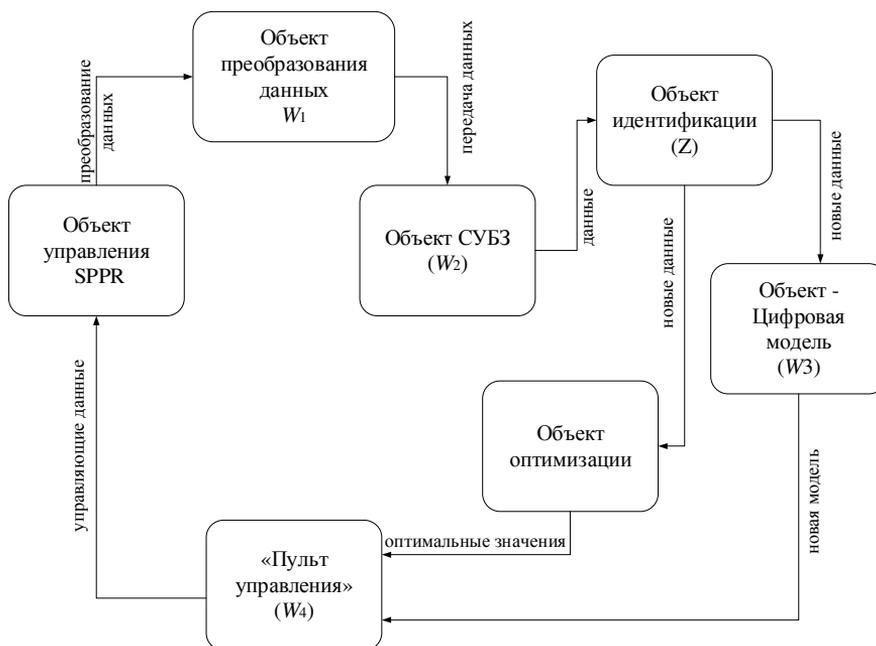


Рис. 5. Функциональная схема цифрового двойника

На рис. 5 представлена функциональная схема цифрового двойника. Введем следующие определения: объект управления – процесс оказания ГЭУ (см. рис. 5), значения атрибутов которого будут входными параметрами цифрового двойника;  $W_1$  – объект преобразования данных к виду, требуемому системой (виртуальный объект);  $W_2$  – объект – система управления базами данных и знаний;  $W_3$  – объект – цифровая модель – строит по имеющимся данным модель процесса функционирования объекта моделирования и обеспечивает возможность проектирования и прогнозирования поведения всей модели;  $W_4$  – объект – система управления процессом – «пульт управления», реализует новые отношения между объектами на основании данных блока оптимизации и цифровой модели.

Проводя аналогичные рассуждения, приходим к построению возможной схемы реализации цифрового двойника на основании взаимодействующих реальных и виртуальных объектов (см. рис. 5), которая бы соответствовала исходным требованиям.

Представление отношений в виде информационных объектов позволяет рассматривать их в качестве «цифрового двойника», что расширяет «электронную» прозрачность во многих аспектах, в том числе управленческих и технологических. Данная методология использовалась при разработке программно-аналитического комплекса для образовательной деятельности в цифровой среде кафедры АСУ УГАТУ. Цифровая среда указанной кафедры представляет собой множество информационных ресурсов (более 10 000 единиц), поддерживаемых программными комплексами, такими как WEB, FTP, MOODLE, ERP, PLM и др. Показано, что, по сути, данная методология соответствует требованиям, предъявляемым к предметно-ориентированным графоаналитическим формальным метаязыкам [7, 8, 9, 11, 15, 16] и может быть реализована с применением метаязыков IDEF, UML, BPMN в форме CASE-технологий [16–19].

### **Выводы**

1. Предложен концептуальный подход к построению архитектуры метаструктуры ПАК на основе множества реальных и виртуальных объектов и их непротиворечивых и противоречивых отношений, определяемых семантической моделью (онтологией) исследуемой ПО по логике квадрата Декарта.

2. На основе математической теории категорий детализирована концептуальная модель системной инженерии, определяемая международным стандартом ISO 15288 для ПО для представления ГЭУ, позволяющая применять методы и технологии проектно-процессного управления БП.

3. Показана возможность выстраивания иерархических цепочек электронных административных регламентов, взаимодействующих между собой, которые так же соответствуют понятию категорий, т.е. некое объединение регламентов является категорией.

4. Предложена мера оценки близости модели к реальному объекту, необходимая для формирования цифрового двойника системы.

5. Учитывая взаимосвязанность всех отношений, любой инцидент может быть локализован путем минимизации количественных изменений.

6. За счет расширяемости модели появляется возможность достраивания взаимодействия между разными ГЭУ, а также осуществления взаимодействия нескольких структур между собой. Это позволяет создать единую цифровую платформу, преодолевающую разрозненность ведомственных систем и базирующуюся на едином массиве данных.

7. Открывается возможность идентифицируемости в процессах получения/оказания ГЭУ, а также прослеживания всей цепочки отношений до конкретного исполнителя.

*Исследование проводится при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках основной части государственного задания высшим учебным заведениям № FEUE-2020-0007.*

### **Библиографический список**

1. ISO/IEC/IEEE 15288:2015 System and software engineering – System life cycle processes. – 2015.

2. ИКТ в госсекторе // CNews. – 2013. – № 65. – С. 40–41.

3. Семенов А.С. Фрактальная алгебра как основа фрактальной парадигмы программирования // Изв. РАН. Информационные технологии и вычислительные системы. – 2006. – № 2. – С. 64–70.

4. Семенов А.С. Фрактальное построение n-мерных гиперкубовых архитектур в структурном пространстве // Изв. РАН. Информационные технологии и вычислительные системы. – 2007. – № 2. – С. 42–50.

5. Семенов А.С. Фрактальные развивающиеся архитектуры // Управление большими системами. – 2010. – № 30–1. – С. 91–103.

6. Родионова Л.Е. Описание предметной области для проектирования программной системы // Современные инновации в науке и технике: сб. ст. 7-й Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участ. / под общ. ред. А.А. Горохова. – М.: Университетская книга. – 2017. – С. 171–174.

7. Подход к формированию структуры самоорганизующейся интеллектуальной системы в форме декартовозамкнутой категории (на примере проектирования информационной аналитической программной системы) / Г.Г. Куликов, В.В., Антонов А.Р. Фахруллина, Л.Е. Родионова // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2018. – № 27. – С. 48–69.

8. Формальная модель процессов взаимодействия компонентов программной системы на основе фрактального подхода / Г.Г. Куликов, В.В. Антонов, А.Р. Фахруллина, Л.Е. Родионова // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2018. – № 4. – С. 48–69.

9. 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 Южно-Уральского гос. ун-та. Сер. Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. – 2017. – Т. 17. – № 4. – С. 146–153.

10. Массель Л.В. Фрактальный подход к структурированию знаний и примеры его применения // Онтология проектирования. – 2016. – Т. 6. – № 2(20). – С. 149–61.

11. Объект категории [Электронный ресурс]. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/> (дата обращения: 11.02.2020).

12. 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.

13. 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.

14. Логико-функциональный подход к конфигурированию программно-аналитического комплекса для исследуемой предметной области / Г.Г. Куликов, В.В. Антонов, Н.Д. Навалихина, М.А. Шилина, Л.Е. Родионова // Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике: сб. ст. XIX Междунар. науч.-техн. конф. / Пензенский гос. ун-т. – Пенза, 2019. – С. 166–169.

15. Ковалёв С.П. Категория вычислительных систем // Алгебра и логика: теория и приложения: тез. докл. – Красноярск: Изд-во СФУ, 2013. – С. 64–66.

16. 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.

17. Создание BPMN-моделей в программном продукте RunaWFE: лабораторный практикум / Г.Г. Куликов, А.Г. Михеев, М.В. Орлов, Р.К. Габбасов, Д.В. Антонов; Уфим. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа, 2012. – 61 с.

18. BPMN 2.0. Стандарт описания бизнес-процессов [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.omg.org/spec/BPMN/2.0> (дата обращения: 11.02.2020).

19. IBM Dictionary of Computing [Электронный ресурс]. – URL: <http://www-03.ibm.com/ibm/history/documents/pdf/glossary.pdf> (дата обращения: 15.01.2020).

### References

1. ISO/IEC/IEEE 15288:2015 System and software engineering - System life cycle processes, 2015.

2. Informatsionno-kommunikatsionnye tekhnologii v gossektore [Information and communication technologies in the public sector]. *CNews*, 2013, no. 65, pp. 40-41.

3. Semenov A.C. Fraktal'naia algebra kak osnova fraktal'noi paradigmy programmirovaniia [Fractal algebra as the basis of the fractal programming paradigm]. *Izvestiia Rossiiskoi akademii nauk. Informatsionnye tekhnologii i vychislitel'nye sistemy*, 2006, no. 2, pp. 64-70.

4. Semenov A.C. Fraktal'noe postroenie n-mernykh giperkubovykh arkhitektur v strukturnom prostranstve [Fractal construction of n-dimensional hypercube architectures in string-tour space]. *Izvestiia Rossiiskoi akademii nauk. Informatsionnye tekhnologii i vychislitel'nye sistemy*, 2007, no. 2, pp. 42-50.

5. Semenov A.S. Fraktal'nye razvivaiushchiesia arkhitektury [Fractal evolving architectures]. *Upravlenie bol'shimi sistemami*, 2010, no. 30-1, pp. 91-103.

6. Rodionova L.E. Opisanie predmetnoi oblasti dlia proektirovaniia programmnoi sistemy [Scope description for software system design]. *Sovremennye innovatsii v nauke i tekhnike. Sbornik statei 7-i Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem*. Ed. A.A. Gorokhov. Moscow: Universitetskaia kniga, 2017, pp. 171-174.

7. Kulikov G.G., Antonov V.V., Fakhrullina A.R., Rodionova L.E. Podkhod k formirovaniuu struktury samoorganizuiushcheisia intellektual'noi sistemy v forme dekartovozamknutoi kategorii (na primere proektirovaniia informatsionnoi analiticheskoi programmnoi sistemy) [Approach to forming the structure of a self-organizing intelligent system in the form of a cartesian closed category (using the example of designing an information analytical software system)]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Elektrotekhnika, informatsionnye tekhnologii, sistemy upravleniia*, 2018, no. 27, pp. 48-69.

8. Kulikov G.G., Antonov V.V., Fakhrullina A.R., Rodionova L.E. Formal'naiia model' protsessov vzaimodeistviia komponentov programmnoi sistemy na osnove fraktal'nogo podkhoda [Formal model of interaction processes of software system components based on fractal approach]. *Elektrotekhnicheskie i informatsionnye kompleksy i sistemy*, 2018, no. 4, pp. 48-69.

9. Kulikov G.G., Antonov V.V., Fakhrullina A.R., Rodionova L.E. Formal'noe predstavlenie modeli realizatsii funktsii sistemnoi inzhenerii na osnove printsipa neobkhodimogo raznoobraziiia strukturnykh svyazei [Formal representation of the model of implementation of system engineering functions based on the principle of required variety of string-and-string connections]. *Vestnik Iuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Komp'iuternye tekhnologii, upravlenie, radioelektronika*, 2017, vol. 17, no. 4, pp. 146-153.

10. Massel' L.V. Fraktal'nyi podkhod k strukturirovaniu znaniia i primery ego primeneniia [Fractal approach to knowledge structuring and examples of its application]. *Ontologiiia proektirovaniia*, 2016, vol. 6, no. 2(20), pp. 149-61.

11. Ob"ekt kategorii [Category object], available at: <https://ru.wikipedia.org/wiki/> (accessed 11 February 2020).

12. 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.

13. 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.

14. Kulikov G.G., Antonov V.V., Navalikhina N.D., Shilina M.A., Rodionova L.E. Logiko-funksional'nyi podkhod k konfigurirovaniu programmno-analiticheskogo kompleksa dlia issleduemoi predmetnoi oblasti [Logic-functional approach to configuration of software-analytical complex for the subject area under investigation]. *Problemy informatiki v obrazovanii, upravlenii, ekonomike i tekhnike. Sbornik statei XIX Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii*. Penza: Penzenskii gosudarstvennyi universitet, 2019, pp. 166-169.

15. Kovalev S.P. Kategoriiia vychislitel'nykh sistem [Computing system category]. *Algebra i logika: teoriia i prilozheniia. Tezisy dokladov*. Krasnoiarsk: Sibirskii federal'nyi universitet, 2013, pp. 64-66.

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

17. Kulikov G.G., Mikheev A.G., Orlov M.V., Gabbasov R.K., Antonov D.V. Sozdanie BPMN-modelei v programmnom produkte RunaWFE: laboratornyi praktikum [Creating BPMN models in software product RunaWFE: Lab workshop]. Ufa: Ufimskii gosudarstvennyi aviatsionnyi tekhnicheskii universitet, 2012, 61 p.

18. BPMN 2.0. Standart opisaniia biznes-protsessov [BPMN 2.0. Business Process Description Standard], available at: <http://www.omg.org/spec/BPMN/2.0> (accessed 11 February 2020).

19. IBM Dictionary of Computing, available at: <http://www-03.ibm.com/ibm/history/documents/pdf/glossary.pdf> (accessed 15 January 2020).

### **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](mailto: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](mailto:antonov.v@bashkortostan.ru)).

**Навалихина Надежда Дмитриевна** (Уфа, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизированные системы управления» Уфимского государственного авиационного технического университета (450000, Уфа, ул. К. Маркса, 12, e-mail: [nadiatoropova@gmail.com](mailto:nadiatoropova@gmail.com)).

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

**Суворова Вероника Александровна** (Уфа, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизированные системы управления» Уфимского государственного авиационного технического университета (450000, Уфа, ул. К. Маркса, 12, e-mail: [milana\\_da@mail.ru](mailto:milana_da@mail.ru)).

**Шилина Мария Анатольевна** (Уфа, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизированные системы управления» Уфимского государственного авиационного технического университета (450000, Уфа, ул. К. Маркса, 12, e-mail: maria.shilina@gmail.com).

### **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).

**Navalikhina Nadezhda Dmitrievna** (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: nadiatoropova@gmail.com).

**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).

**Suvorova Veronika Aleksandrovna** (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: milana\_da@mail.ru).

**Shilina Maria Anatolyevna** (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: maria.shilina@gmail.com).

Получено 06.04.2020