

## МОДЕЛИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОГРАММНЫХ АНАЛИТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ С ДЕКАРТОВО ЗАМКНУТОЙ КАТЕГОРИЕЙ

Л. Е. Родионова • В. В. Антонов • Л. И. Баймурзина  
Гидинда Грас Мушиго

**Аннотация.** Представлен обзор результатов исследования процессов проектирования программных аналитических комплексов для проблемно-ориентированных аналитических систем и хранилищ данных и знаний. Предметом исследования являются формальные модели и методы проектирования программных аналитических комплексов (ПАК) для реализации функционального взаимодействия программных систем с декартово замкнутой категорией. Цель заключается в повышении эффективности обработки разнородных данных, метаданных и знаний, их передачи и интеграции на основе разработки программного аналитического комплекса, обеспечивающего интеграцию разнородных программных систем с декартово замкнутой категорией. Для этого решаются следующие задачи: 1. Разработать математический теоретико-множественный метод для отображения функционального взаимодействия программных систем при реализации динамических свойств предметной области и процессов обработки информации. 2. Разработать формальную модель процессов взаимодействия компонентов программного аналитического комплекса с декартово замкнутой категорией. 3. Разработать универсальную структуру и прототип ПАК для повышения эффективности обработки, передачи, интеграции данных и знаний интеллектуального контента в компьютерных сетях. Для решения применялись теоретико-множественные методы, основы реляционной алгебры для организации хранилищ данных, теория категорий и теория алгоритмов, методологии моделирования и проектирования программных систем (SADT, BPMN и др.), методы модульного программирования. Для оценки результатов и достоверности предложенных моделей и разработанных алгоритмов были использованы данные результатов внедрения разработанного прототипа программного аналитического комплекса в исследуемых предметных областях.

**Ключевые слова:** формальная модель; программный аналитический комплекс; теория категорий; теоретико-множественная модель.

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в соответствии с концепцией «Индустрия 4.0» современные предприятия стремятся применять цифровое производство, внедряя умные технологии. Управление происходит на основе знаний, держателями которых являются как университеты, так и предприятия, соединение таких знаний в итоге приводит к созданию образовательно-производственной структуры.

Концепция «Индустрия 4.0» разделяется на три составляющих: цифровизацию и интеграцию виртуальных цепочек оценки стоимости, цифровизацию продуктов и услуг, цифровые бизнес-модели и доступ клиентов. Проводя дальнейшую детализацию, приходим к совокупности следующих составляющих: большие данные; технологии искусственного интеллекта; а также системы распределенного реестра; современные производственные технологии; квантовые вычисления; индустриальный интернет; элементы робототехники и сенсорики; технологии беспроводной связи; технологии дополненной и виртуальной реальности [1].

Промышленными предприятиями накоплен достаточно большой объем данных, разнородных и зачастую плохо формализованных. Появилась проблема их использования, так называемая проблема Big Data.

При этом совокупность отношений может быть рассмотрена в виде дополнительных объектов Big Data. Рассматривая эволюцию развития концепции от «Индустрия 1.0» до «Индустрия 4.0», выделим некоторые аспекты:

- «Индустрия 1.0» – развитие паровых двигателей, механических ткацких станков.
- «Индустрия 2.0» – электрическая энергия, поточное производство, разделение труда.
- «Индустрия 3.0» – автоматизация и роботехника.

– «Индустрия 4.0» – киберфизические системы, соединение реальных объектов с информационными процессами или виртуальными объектами через информационные сети и интернет. Более того, «Индустрия 4.0» предполагает цифровизацию и интеграцию процессов по вертикали, начиная с разработки (продуктов или закупок) и заканчивая организацией логистики и обслуживания, а интеграция по горизонтали включает и поставщиков, и потребителей.

Рассматривая отношения между информационными объектами, выделяя виртуальные и реальные объекты, приходим к возможности построения символьной модели хранилища данных. Получаем отношения между виртуальными объектами и реальными объектами, которые выражаются символьной моделью хранилища данных, определяющие структуру и отношения в терминах теории категорий.

Представление знаний об исследуемой предметной области позволяет применять формализованные формальные логические свойства, графоаналитические метаязыки и правила для разработки и проектирования программных аналитических комплексов.

Метод построения иерархий Хомского на базе категорийного подхода с применением математических теоретико-множественных моделей с использованием требований системной инженерии позволяет сформировать границы между семантическими и синтаксическими описаниями процессов исследуемой предметной области и функциональными модулями программного аналитического комплекса.

Возникает интерес к использованию аналитики больших данных, категории информационных объектов – программных модулей – обеспечивающих реализацию соединения реальных и виртуальных объектов с информационными процессами с учетом их взаимных отношений в программном аналитическом комплексе (ПАК).

При грамотном аналитическом извлечении этих данных появляется возможность строить стратегические планы развития предприятия, оперативно принимать управленческие решения. Принцип обеспечения «электронной» прозрачности в организационно-экономическом, правовом и многих других аспектах для образовательно-производственных систем во многом реализован. Расширяется возможность обеспечения «электронной» прозрачности и в управленческих, и технологических, и других аспектах, то есть такие организации приобретают свойства открытых или полукрытых [2].

Технически это обеспечивается, прежде всего, разработкой и применением программных аналитических комплексов (ПАК), создаваемых на основе унифицированных математических и программных средств. Таким образом, в структуру создаваемого ПАК включена информация, которая в дальнейшем обеспечивает возможность проведения реинжиниринга, например, посредством замены виртуальных объектов реальными с сохранением действующих отношений.

Исследована проблема формализации и идентификации информационных объектов и поддержание их соответствия реальным объектам исследуемой предметной области, а также соответствие прослеживаемости информационных и реальных объектов параметрам для базы знаний ПАК. Для определения реальных объектов, соответствия их информационным объектам и прослеживаемости на абстрактном уровне исследуемых образовательных производственных систем применяются понятия и правила стандарта ISO/IEC/IEEE 15288 [3, 4].

Основная задача проектирования ПАК при декомпозиции абстрактного уровня заключается в обеспечении замкнутости на нижних уровнях. Это соответствует законам логики высказывания Аристотеля и формальной логики первого порядка. В этом случае исключаются

логические противоречия при решении задач идентифицируемости и прослеживаемости информационных объектов.

Формальная система – это совокупность следующих компонентов:  $\Phi C = \langle G, R, O \rangle$ , где  $\Phi C$  – формальная система;  $G$  – множество базовых элементов;  $R$  – совокупность правил (предикаты на множестве базовых элементов);  $O$  – множество операций (синтаксические правила построения слов и формул – алгебра). Формальная система отличается свойством автономности, при правильной организации формальной системы возможно самостоятельное формирование выводов, которые определяются на основании правил и множества операций, таким образом, если  $O$  – пустое множество, то формальная система вырождается в системную модель (СМ). Если  $R(G)$  является пустым множеством, то получаем формальную алгебру. Если предикатное множество определено логикой высказываний или формальной логикой первого порядка и оно декартово замкнуто, то данная модель непротиворечива по структуре относительно логики первого порядка, так как помимо формальной логики имеет место логика второго порядка, или логика Гегеля. Здесь идентификаторы первого порядка в течение времени не изменяются. А при логике второго порядка информационные объекты могут меняться.

Данную теорию рассмотрим на примере проектирования и разработки ПАК управления кадровым резервом машиностроительного предприятия, управления производственными и технологическими процессами нефтегазовой отрасли и управления учебным процессом университета.

На сегодняшний день существует большое количество как российских, так и зарубежных программных систем, реализующих автоматизированную обработку информации следующих процессов: по управлению кадровым резервом, включающих модули «Кадровый резерв». Лидерами таких систем являются: SAPERP HCM, Oracle HRMS, «Галактика ERP: Контур управления персоналом», «1С: Зарплата и управление персоналом 8», «БОСС-Кадровик, Компас: Управление персоналом», «RB HR & Payroll – управление кадрами и зарплата» и другие.

Для автоматизации производственных и технологических процессов применяются программные средства, такие как ИС «ОКО», ПС «ЕСРФ», НПК «Альфа». Для управления учебным процессом ВУЗа: web-портал кафедры АСУ, «1С: Университет ПРОФ», ИС «Orgflow-ВУЗ», «Галактика. Управление Вузом», управление обучением система Moodle, LMS Blackboard Learn.

Таким образом, становятся актуальными проектирование и разработка программных аналитических комплексов, которые могут быть использованы большими компаниями, решающими задачи управления, показатели которых определяют в большей степени критерии эффективности.

### СТЕПЕНЬ РАЗРАБОТАННОСТИ ТЕМЫ И ОБСУЖДЕНИЕ РЕШАЕМОЙ ЗАДАЧИ

Исследованием проблем формализации знаний и описания отношений на основе теории категорий, множеств, проектированием и реализацией архитектуры программного обеспечения занимаются ряд отечественных ученых, таких как С. П. Ковалев, Л. В. Массель, А. П. Бельтюков, В. В. Антонов, В. И. Васильев, М. Б. Гузаиров, Г. Г. Куликов, В. В. Мартынов, В. В. Миронов, С. В. Павлов, А. Х. Султанов, Н. И. Юсупова. А также данными проблемами занимались и зарубежные ученые – G. L. Kovács, P. Голдблатт, Дж. Захман, D. F. Salas, W. V. Powell. В результате проведенного анализа определяется проблемное поле исследования – модели и методы проектирования ПАК для организации интеграции программ и программных систем, а также инструментарии их представления (последовательности применения ряда метаязыков: естественного языка, метаязыка теории множеств и категорий множеств). Структура самих моделей – вербальных, математических с различными логическими ограничениями в виде формальных графоаналитических языков высокоуровневого программирования (программирование, моделирование), языков BPMN, а также структура программирования и реализации, отвечающие требованиям кроссплатформенного программирования

в средах web-порталов, интранет, интернет и др. Таким образом, применение теории множеств и категорий рассматривается как один из способов формализации этих подходов.

Объект данного исследования – процессы проектирования программных аналитических комплексов для проблемно-ориентированных аналитических систем и хранилищ данных и знаний. Предметом исследования при этом являются формальные модели и методы проектирования программных аналитических комплексов для реализации функционального взаимодействия программных систем с декартово замкнутой категорией. Цель заключается в повышении эффективности обработки разнородных данных, метаданных и знаний, их передачи и интеграции на основе разработки программного аналитического комплекса, обеспечивающего интеграцию разнородных программных систем с декартово замкнутой категорией. Для осуществления цели определены следующие задачи исследования.

1. Разработать математический теоретико-множественный метод для отображения функционального взаимодействия программных систем при реализации динамических свойств предметной области и процессов обработки информации [5].

2. Разработать формальную модель процессов взаимодействия компонентов программного аналитического комплекса с декартово замкнутой категорией.

3. Разработать универсальную структуру и прототип ПАК для повышения эффективности обработки, передачи, интеграции данных и знаний интеллектуального контента в компьютерных сетях.

4. Провести оценку результатов исследований по проблеме проектирования ПАК на основе предложенного математического теоретико-множественного метода отображения функционального взаимодействия программных систем.

Для решения задач применялись теоретико-множественные методы, основы реляционной алгебры для организации хранилищ данных, теория категорий и теория алгоритмов, методологии моделирования и проектирования программных систем (SADT, BPMN и др.), методы модульного программирования. Для оценки результатов и достоверности предложенных моделей и разработанных алгоритмов были использованы данные результатов внедрения разработанного прототипа программного аналитического комплекса в исследуемых предметных областях.

### МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ ФОРМАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ

В рамках данного исследования рассмотрены основные направления построения моделей хранилищ данных и проведен их анализ, приведен обзор имеющихся классификаций и типов для систем управления базами данных (СУБД), рассмотрены многомерные базы данных (БД). Также представлены возможности обработки многообъектных и многомерных данных инструментами OLAP-анализа. Применены положения системной инженерии, в качестве стандарта выбран ISO/IEC/IEEE 15288. 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 представлены рабочими взаимоотношениями, которые происходят посредством заключения соглашений, представляющих для нас наибольший интерес (между двумя объектами есть отношение соответствия – отношение есть процесс соглашения, которое характеризуются в стандарте ISO/IEC/IEEE 15288 отношением двух объектов процесса соглашения) [6, 7].

Проблема формирования ПАК для определенной предметной области и процесс создания перемещения семантики в синтаксис и в базу данных являются актуальными. Информацию целесообразно представить в виде многомерных кубов, размерностями которых являются значения атрибутов предметных областей. Принцип многомерных моделей основан на концепции OLAP. OLAP-технологии ориентированы на решение сложных аналитических задач (рисунок 1).

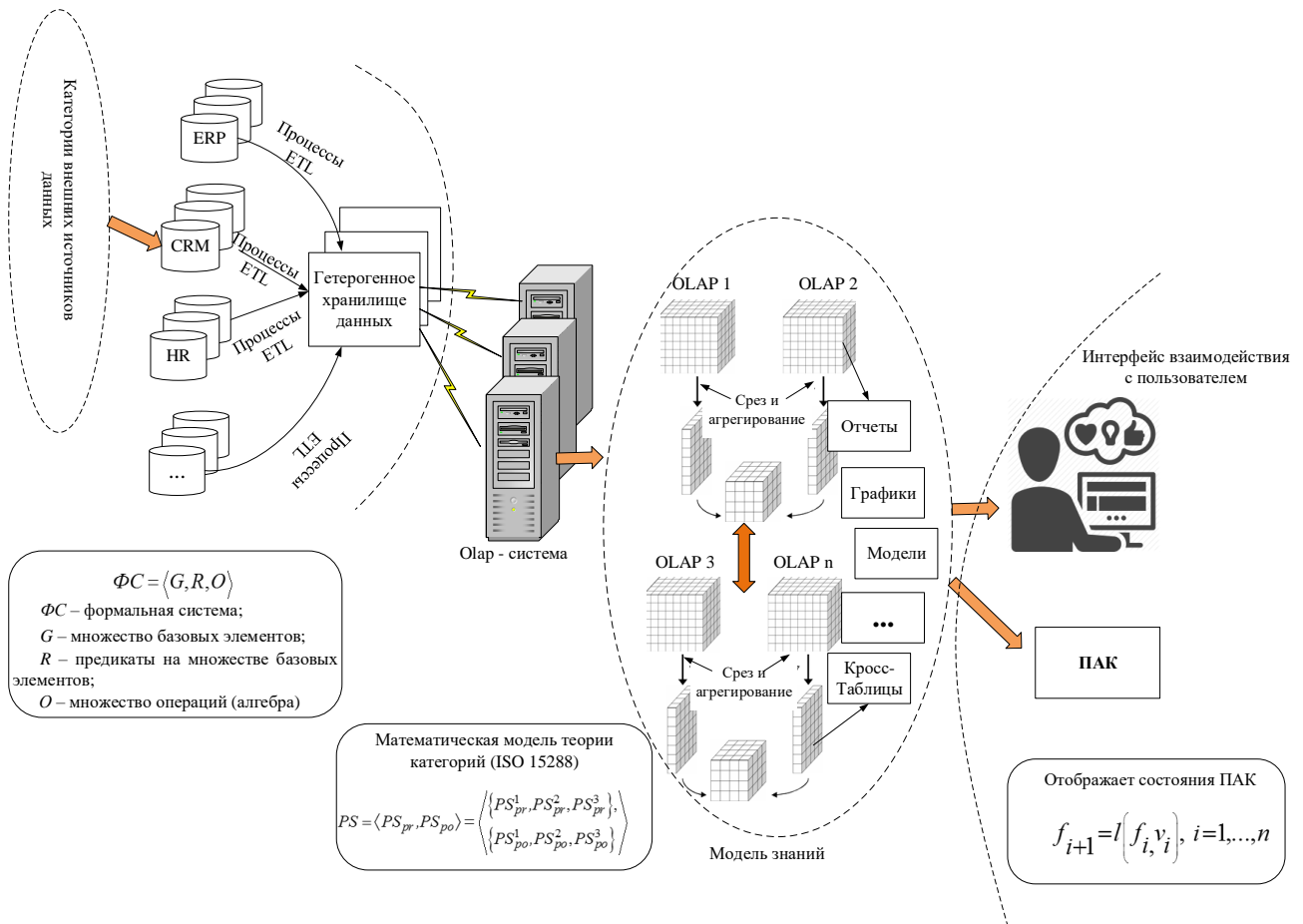


Рис. 1 Графоаналитическое представление преобразования информации в ПАК.

Предметная область представляется множеством информационных объектов. Количество объектов увеличивается до определенного момента (например, отчеты с кросс-таблицами, графики и т. д.) (см. рисунок 1). На каждом этапе происходит взаимодействие двух объектов (в рамках стандарта системной инженерии ISO/IEC/IEEE 15288 процесса соглашения). Математическая модель процесса соглашения представлена в терминах теории категорий. Символьным базисом выступает декартово произведение, оно равнозначно OLAP-кубу [8, 9].

Представляется возможность определять качественную составляющую по наличию некоторых количественных атрибутов, и на основе полученных данных принимать управленческие решения, то есть перейти от формальной к семантической модели. Появляется возможность проектирования ПАК в виде совокупности объектов (которые являются категориями) для организации взаимодействия функциональных программ, обеспечивая интеграцию системы анализа объектов предметной области с учетом изменений предметной области [10].

### ТЕОРЕТИКО-МНОЖЕСТВЕННЫЙ МЕТОД ПРОЦЕССА СОГЛАШЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ

Применяются для моделирования данного процесса базовые положения теории категорий [11]. Используются следующие обозначения: процессы соглашения  $PS$ , процессы приобретения  $PS_{pr}$ , процессы поставки  $PS_{po}$  (рисунок 2). Выделяются процессы соглашения  $PS$ , приобретения  $PS_{pr}$  и поставки  $PS_{po}$  в отдельные категории 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: целей процесса  $PS^1_{po} = \{po_1^1\}$ , деятельности процесса  $PS^2_{po} = \{po_1^2, \dots, po_9^2\}$  и результата  $PS^3_{po} = \{po_1^3, \dots, po_7^3\}$ .

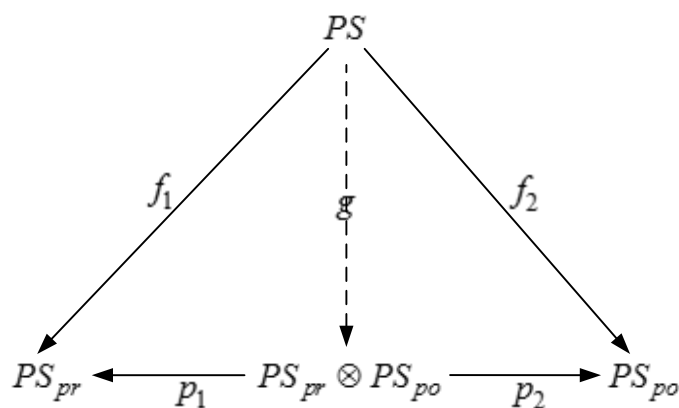


Рис. 2 Фрагмент категориальной модели ПАК.

В результате отношения представимы в виде упорядоченного множества:

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

Применен информационный подход А. А. Денисова, при формализации предметной области категории объектов и отношения между ними являются первичными. Показано, что разработанная модель процесса соглашения представлена категориями объектов данной предметной области и множеством отношений между ними.

Применение теории категорий позволяет описывать отношения внутри объектов, в условиях неопределенности, а также изучить предметную область с различных сторон и разработать компактную и универсальную программную систему.

Приведенные объекты описаны взаимодействием функторов. В данном случае использован квадрат Декарта, где композиция двух процессов (процесса приобретения и процесса поставки) является прямым отображением приведенного процесса соглашения на результат. Результат процесса рассматривается и как композиция произведения целей и деятельности посредством получения еще одного «треугольника», где независимо от порядка выполнения последовательности операций и отображений результат становится одинаковым.

На основании математического теоретико-множественного метода появляется возможность перейти к формальной модели процессов взаимодействия компонентов программного аналитического комплекса с декартово замкнутой категорией.

### МОДЕЛЬ ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОМПОНЕНТОВ ПАК ПО ДЕКАРТОВО ЗАМКНУТОЙ КАТЕГОРИИ

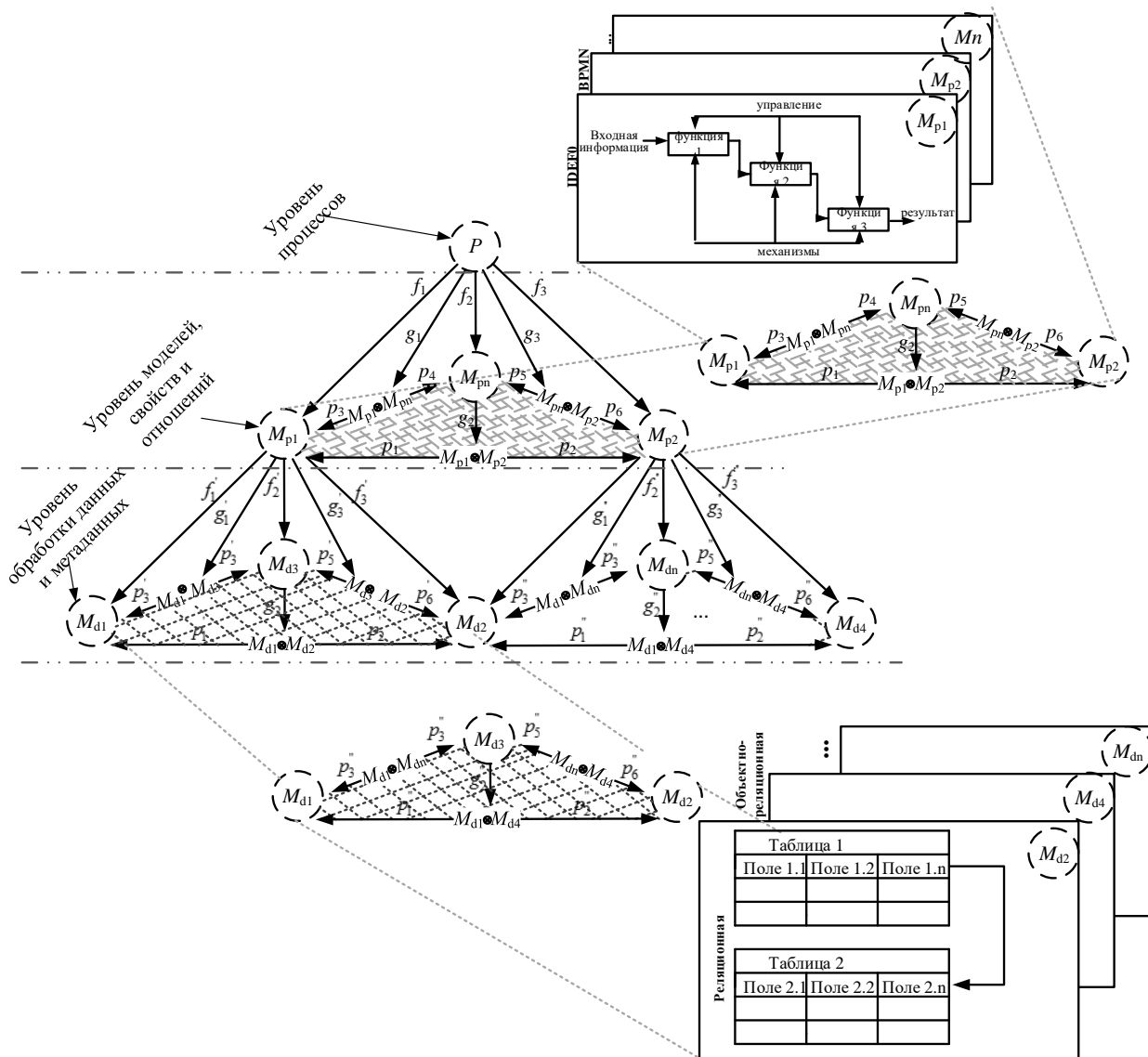
Разработанная модель процессов взаимодействия компонентов ПАК по декартово замкнутой категории позволяет не полностью менять структуру программы, а только отдельную ее часть, добавляя новый модуль, преобразовывая матрицу отношений.

Описана возможность масштабированности системы, где правилами масштабирования являются отношения, которые находятся в объекте учета и отождествляются с коэффициентом самоподобия. В соответствии с этим правилом появляется возможность прогнозирования или выстраивания поведения системы в зависимости от условий и от логических правил (рисунки 3) [12].

Взаимодействие данных объектов открывает возможность их дальнейшей композиции в виде достраивания. Новые отношения позволяют достраивать объекты до квадрата Декарта. В результате получается множество объектов, идентифицируемых и прослеживаемых по пространству и времени.

Определены минимальные требования к структуре ПАК с декартово замкнутой категорией:

- отношения соответствуют логике функторов;
- вершина имеет минимум два объекта;
- цепочка отношений образует маршрут, который становится новым объектом.



**Рис. 3** Правила определения информационных маршрутов в виде функциональной последовательности.

Вывод: согласно данным требованиям, в каждом объекте, в котором имеются хотя бы два отношения, происходит достраивание до квадрата Декарта, позволяющее дальнейшее построение ПАК (тем самым обеспечивается открытость системы).

Таким образом, ПАК определен как комплекс программ, связанных между собой какими-то отношениями (многомерными векторами связи), которые и есть предмет настоящего рассмотрения.

Предлагается следующий метод: выстраивание отношений для дальнейшей разработки и проектирования ПАК, то есть отношения между модулями.

Проектирование программного аналитического комплекса представлено в виде разделения его на категории объектов, с учетом установления между ними категориальных отношений, показано, что полученное множество функторов выделено в отдельную категорию.

В данном случае каждый объект – это программный модуль, чем длиннее цепочка, тем больше количество отношений. Независимо от цепочки свойство модуля не меняется.

Предложен метод выстраивания отношений для дальнейшей разработки и проектирования ПАК, то есть отношения между модулями, определяемые на основе аналитической обработки. Построена схема взаимосвязей между различными категориями объектов. ПАК работает на уровне синтаксических данных. Разработана формальная модель процессов взаимодействия компонентов ПАК с декартово замкнутой логикой.

### СТРУКТУРА И ПРОТОТИП ПРОГРАММНОГО АНАЛИТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

На базе разработанных моделей и математического теоретико-множественного метода созданы структура и прототип программного аналитического комплекса. ПАК предусматривает различные варианты физической организации хранилищ данных: реляционная БД, многомерная структура. В ходе проведенных исследований установлено, что данный метод может быть использован для многих бизнес-процессов организаций, причем определенные с помощью данного метода параметры образуют категорию и сведены в многомерную матрицу (аналог матрицы Дж. Захмана) и в итоге использованы при описании технического задания на разработку или реинжиниринг ПАК. Имеется возможность не полностью менять структуру программного комплекса, а только отдельную ее часть, добавляя новый модуль, преобразовывая матрицу отношений. В результате получили матрицу состояний ПАК, управляемую по времени.

В соответствии с требованием необходимого разнообразия У. Эшби число отношений не менее одного для каждого объекта. Взаимодействие этих объектов открывает возможность дальнейшей композиции объектов в виде второго отношения. Новые отношения позволяют достраивать структуру ПАК до квадрата Декарта [13].

При построении структуры ПАК получили поликубическую модель данных, состоящую из множества кубов. Данная универсальная структура обеспечивает, с одной стороны, обзор данных, а с другой – стороны является системой поддержки принятия решений [14].

Одним из параметров ПАК являются категории пользователей права, которые на использование ПАК определяются на основании такого же метода, что и построение системы (многомерная матрица).

ПАК предназначен для информационной поддержки процессов подготовки и принятия управленческих решений в части сбора данных, мониторинга и анализа данных и метаданных. ПАК автоматизирует следующие процессы:

- внесения и хранения первичной информации по деятельности всех подразделений организации, оперативного доступа к информации;
- отображения и визуализации объектов с использованием кроссплатформенных технологий;
- анализ данных и отображение аналитической информации (OLAP-кубы, аналитические панели, табличное отображение аналитических данных и др.);
- отображение медиаконтента (контент: видео, фото, презентации и т. д.) [15].

В качестве инструмента построения аналитической панели используется Prognoz Platform 8. Данный программный продукт позволяет разрабатывать собственные приложения для формирования аналитических документов [16].

В ходе реализации был спроектирован программный комплекс, состоящий из комплекса программных систем, на примере 1С: Зарплата и управление персоналом, портал кафедры АСУ, Moodle, ИС «ОКО», ПС «ЕСРФ», НПК «Альфа», комплекса Prognoz Platform и программного интеграционного модуля для взаимодействия данных программных систем (рисунок 4).



Структура информационного ядра программного аналитического комплекса представляет собой совокупность программных систем с соответствующими приложениями, базами данных, базами знаний и др., она является открытой, поскольку может постоянно дополняться новыми структурно-связанными системами управления контентом.

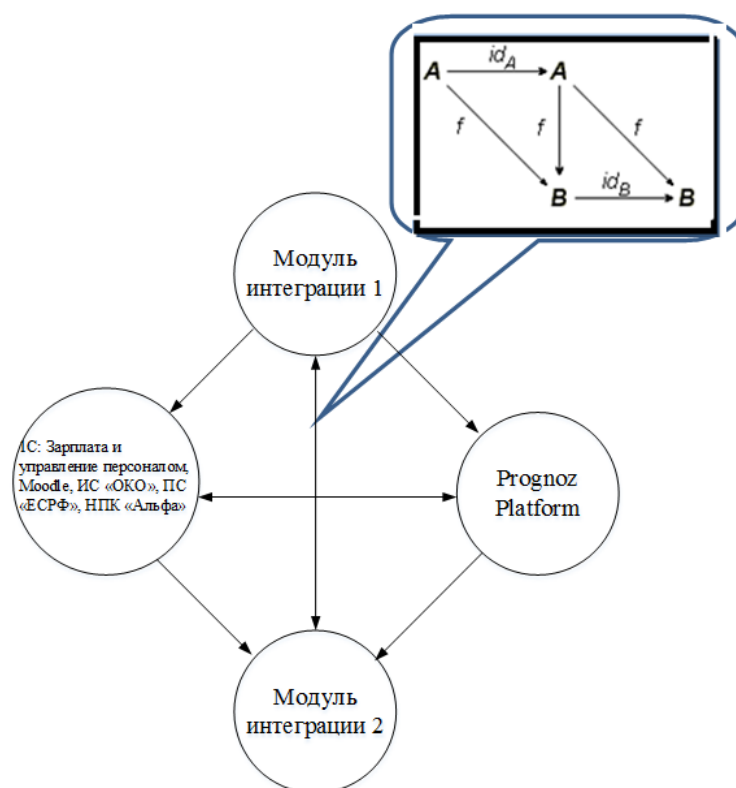


Рис. 4 Схема программного аналитического комплекса.

Разработана структура ПАК для повышения эффективности обработки, передачи, интеграции данных и знаний интеллектуального контента в компьютерных сетях, отличающаяся представлением в виде структурированной поликубической системы [17, 18].

Представлена оценка результатов исследования по проблеме проектирования ПАК. В итоге эффективность выражена в сокращении: «ручных» процессов; времени на поиск, в обеспечении синхронизации, интеграции и анализа информации, за счет использования методов и средств многомерного ПАК. Внедрение ПАК позволило сократить временные затраты на реинжиниринг в 2 раза.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе данного исследования проведен анализ подходов проектирования программных аналитических комплексов, в результате чего определен в качестве базового стандарт системной инженерии ISO/IEC/IEEE 15288. На основе математического теоретико-множественного метода, формальной модели и прототипа программного аналитического комплекса были получены следующие результаты:

1. Разработан математический теоретико-множественный метод для отображения функционального взаимодействия программных систем при реализации динамических характеристик предметной области и процессов обработки информации, в котором представлены реальные информационные объекты и проектируемые виртуальные информационные объекты

в виде комплексной многомерной структуры. Метод позволяет учитывать динамические свойства формальной модели предметной области и процессов обработки информации.

2. Разработана формальная модель процессов взаимодействия компонентов программного аналитического комплекса с декартово замкнутой категорией, отличающаяся представлением программного аналитического комплекса многомерной структурой с учетом потенциальных свойств виртуальных объектов, позволяющая применять поэтапный реинжиниринг программной системы с помощью языков высокоуровневого программирования и моделирования (IDEF, BPMN, UML, Python и др.).

3. Построены универсальная структура и прототип программного аналитического комплекса, отличающиеся представлением в виде структурированной поликубической системы (многомерной матрицы) взаимодействующих программных модулей, что позволяет повысить эффективность обработки, передачи, интеграции данных и знаний интеллектуального контента в компьютерных сетях.

4. Представлена оценка результатов исследования по проблеме проектирования ПАК на основе предложенного математического теоретико-множественного метода отображения функционального взаимодействия программных систем. Эффективность предложенного математического теоретико-множественного метода и формальной модели процессов взаимодействия компонентов программного аналитического комплекса с декартово замкнутой категорией подтверждается тем, что на их основе создан программный аналитический комплекс, с использованием теории категорий множеств, представляющий собой объект организационного управления. При этом в качестве исполнителей ролей функторов и морфизмов применены функции программных средств, а программные средства применяются как инструменты, отвечающие требованиям формальных преобразований теории категорий. Внедрение ПАК позволило сократить временные затраты на реинжиниринг в 2 раза [13].

В результате проведенных исследований определены идентифицируемость и прослеживаемость на всех уровнях ПАК по любой из выбранных цепочек (информационных маршрутов) формирования структуры системы. Можем сделать вывод, что независимо от выбранных информационных маршрутов формирования ПАК по предложенному методу свойства системы будут совпадать. Это открывает широкие возможности реинжиниринга системы посредством выбора новых цепочек (информационных маршрутов). Исходя из того что система отношений достраивается до квадрата Декарта в каждой цепочке предлагаемой схемы, появилась аналитическая возможность оценки полноты.

В качестве перспективы дальнейших исследований планируется разработка методов и алгоритмов с учетом фрактального подхода для различных предметных областей и построение ПАК с декартово замкнутой категорией на основе ее фрактальной устойчивости [19, 20].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Ярашова Г., Гылычдурдыева Г. Особенности индустрии 4.0 и ее особенности // Вестник науки. 2022. № 10 (55). [[ Yarashova G., Gylychdurdyeva G. "Features of industry 4.0 and its features" // Bulletin of Science. 2022. No. 10 (55). (In Russian). ]]
2. Миронов В. В., Тугузбаев Г. А. Персонализация графических конструкторских документов в учебном проектировании: функциональная модель концептуального уровня // Системная инженерия и информационные технологии. 2023. Т. 5. № 2(11). С. 18-32. DOI 10.54708/2658-5014-SIIT-2023-no2-p18. EDN KOFVMO. [[ Mironov V. V., Tuguzbaev G. A. "Personalization of graphic design documents in educational design: a functional model of the conceptual level" // System Engineering and Information Technologies. 2023. T. 5, No. 2(11), pp. 18-32. (In Russian). ]]
3. Пальчевский Е. В., Антонов В. В., Родионова Л. Е., Кромина Л. А. Разработка самообучаемой спайковой нейронной сети для упреждающего реагирования на внешние информационные воздействия различной природы // International Journal of Open Information Technologies. 2022. Т. 10. № 7. С. 74-85. EDN QNJTD. [[ Palchevsky E. V., Antonov V. V., Rodionova L. E., Kromina L. A. "Development of a self-learning spike neural network for proactive response to external information influences of various natures" // International Journal of Open Information Technologies. 2022. T. 10, no. 7, pp. 74-85. (In Russian). ]]
4. Антонов В. В., Шкаров В. Н., Родионова Л. Е. и др. Метод формирования регулярной обратной информационно-технологической связи в автоматизированных системах управления бизнес-процессами предприятия // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2021. Т. 21. № 4. С. 137-147. DOI 10.14529/ctcr210412. EDN FGOMDV. [[ Antonov V. V., Shkarov V. N., Rodionova L. E. et al. "Method of forming regular feedback information technology communication in automated business process management systems of an enterprise" //

Bulletin of the South Ural State University. Series: Computer technologies, control, radio electronics. 2021. Vol. 21, No. 4, pp. 137-147. (In Russian). ]]

5. Колесов Ю. Б. Объектно-ориентированное моделирование сложных динамических систем. СПб.: СПбГПУ, 2004. [[ Kolesov Yu. B. Object-oriented modeling of complex dynamic systems. St. Petersburg: SPbSPU, 2004. (In Russian). ]]

6. Антонов В. В., Куликов Г. Г. Семантико-математический язык описания структуры интеллектуальной системы на основе нечеткой логики // Программные продукты и системы. 2011. № 3. С. 7. EDN OWJLUD. [[ Antonov V.V., Kulikov G.G. "Semantic-mathematical language for describing the structure of an intelligent system based on fuzzy logic" // Software Products and Systems. 2011. No. 3, p. 7. (In Russian). ]]

7. Куликов Г. Г., Антонов В. В., Шилина М. А., Фахруллина А. Р. Математическое и программное обеспечение для построения и реализации предметно-ориентированных ИУС из условий идентифицируемости и прослеживаемости // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2016. Т. 16. № 3. С. 143–151. DOI: 10.14529/ctcr160316 [[ Kulikov G. G., Antonov V. V., Shilina M. A., Fakhrullina A. R. "Mathematical and software for the construction and implementation of subject-oriented information systems based on the conditions of identifiability and traceability" // Vestnik SUSU. Series "Computer technologies, control, radio electronics". 2016. T. 16, no. 3. pp. 143–151. (In Russian). ]]

8. Скачкова Ю. А., Рахмангулова Г. И., Родионова Л. Е. Описание предметной области программной системы для повышения эффективности процессов обработки в компьютерных сетях // Инновационные технологии в науке нового времени: Сб. ст. Международной научно-практической конференции, Новосибирск, 08 августа 2016 года. Новосибирск: «ОМЕГА САЙНС», 2016. С. 49–51. EDN WHITLR. [[ Skachkova Yu. A., Rakhmangulova G. I., Rodionova L. E. "Description of the subject area of a software system for increasing the efficiency of processing processes in computer networks" // Innovative Technologies in Science of Modern Times: Collection of articles of the International Scientific and Practical Conference, Novosibirsk, August 08, 2016. Novosibirsk: "OMEGA SCIENCE", 2016, pp. 49-51. (In Russian). ]]

9. Антонов В. В., Куликов Г. Г., Антонов Д. В. Формализация предметной области с применением инструментов, поддерживающих стандарты // Вестник УГАТУ. 2012. Т. 16. № 3 (48). С. 42–52. [[ Antonov V. V., Kulikov G. G., Antonov D. V. "Formalization of the subject area using tools that support standards" // Vestnik UGATU. 2012. Vol. 16, No. 3 (48), pp. 42-52. (In Russian). ]]

10. Родионова Л. Е., Мехликова А. М., Новоселов М. В. Информационные технологии сбора данных в социальных сетях // Интеграция образования, науки и производства в условиях многоуровневого профессионального образования: Мат-лы IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Кумертау, 24 марта 2016 года. Кумертау: ГОУ ВПО "Уфимский государственный авиационный технический университет", 2016. С. 119–123. EDN YOGKYB. [[ Rodionova L. E., Mekhlikova A. M., Novoselov M. V. "Information technologies for data collection in social networks" // Integration of Education, Science and Production in the Conditions of Multi-level Professional Education: Materials of the IV All-Russian scientific and practical conference with international participation, Kumertau, March 24, 2016. Kumertau: State Educational Institution of Higher Professional Education "Ufa State Aviation Technical University", 2016. P. 119-123. (In Russian). ]]

11. Ковалёв С. П. Категория вычислительных систем // Международная конференция «Алгебра и логика: теория и приложения». Тезисы докладов. Красноярск: СФУ, 2013. С. 64–66. [[ Kovalev S. P. "Category of computing systems" // International conference "Algebra and Logic: Theory and Applications". Abstracts of reports. Krasnoyarsk: SFU, 2013. pp. 64–66. (In Russian). ]]

12. Болодурина И. П., Парфенов Д. И., Шухман А. Е., Забродина Л. С. Автоматизированное машинное обучение: обзор возможностей современных платформ анализа данных // Системная инженерия и информационные технологии. 2021. Т. 3. № 1(5). С. 50–57. EDN GQPSHO. [[ Bolodurina I. P., Parfenov D. I., Shukhman A. E., Zabrodina L. S. "Automated machine learning: a review of the capabilities of modern data analysis platforms" // System Engineering and Information Technologies. 2021. Vol. 3, No. 1(5), pp. 50-57. (In Russian). ]]

13. Куликов Г. Г., Антонов В. В., Фахруллина А. Р., Родионова Л. Е. Формальное представление модели реализации функций системной инженерии на основе принципа необходимого разнообразия структурных связей // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2017. Т. 17. № 4. С. 146-153. DOI 10.14529/ctcr170416. EDN ZSSACL. [[ Kulikov G. G., Antonov V. V., Fakhrullina A. R., Rodionova L. E. "Formal presentation of the model for implementing system engineering functions based on the principle of the necessary diversity of structural connections" // Bulletin of the South Ural State University. Series: Computer technologies, control, radio electronics. 2017. Vol. 17, No. 4, pp. 146-153. (In Russian). ]]

14. Гвоздев В. Е., Черняховская Л. Р., Малахова А. И., Ровнейко Н. И. Интеллектуально-аналитическая поддержка принятия коллективных решений при управлении программными проектами // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XVI Международной конференции, Самара, 30 июня – 03 июля 2014 года. Самара: Самарский научный центр РАН, 2014. С. 204–212. EDN VLBEFH. [[ Gvozdev V. E., Chernyakhovskaya L. R., Malakhova A. I., Rovneiko N. I. "Intellectual and analytical support for making collective decisions in software project management" // Problems of Management and Modeling in Complex Systems: Proceedings XVI International conference, Samara, June 30 – July 3, 2014. Samara: Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2014, pp. 204-212. (In Russian). ]]

15. Родионова Л. Е. Проектирование программной системы интеллектуального контента с применением объектно-ориентированной методологии // Достижения и инновации в науке, технологиях и медицине: Сб. ст. Международной научно-практической конференции, Пенза, 25 июля 2016 года. Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение», 2016. С. 24–26. EDN WFCMQH. [[ Rodionova L. E. "Design of a software system for intellectual content using object-oriented methodology" // Achievements and Innovations in Science, Technology and Medicine: Collection of articles of the International Scientific and Practical Conference, Penza, July 25, 2016. Penza: ICNS "Science and Enlightenment", 2016, pp. 24-26. (In Russian). ]]

16. Артемьев С. А., Замай С. С., Питенко А. А. ГИС конструктор со средствами анализа данных для создания информационно-аналитических систем // Вестник КазНУ. Вычислительные технологии. 2004. Т. 9. № 3(42). С. 188–192. [[ Artemyev S. A., Zamai S. S., Pitenko A. A. "GIS designer with data analysis tools for creating information and analytical systems" // Computational Technologies. 2004. Vol. 9, Vestnik KazNU, No. 3(42), pp. 188-192. (In Russian). ]]

17. Антонов В. В., Кромина Л. А., Родионова Л. Е. и др. Концепция формирования интеллектуальных управляющих систем энергоснабжения городских сетей // Мехатроника, автоматизация, управление. 2023. Т. 24. № 4. С. 190–198. DOI 10.17587/mau.24.190-198. EDN IUJXJDS. [[ Antonov V. V., Kromina L. A., Rodionova L. E. et al. “The concept of forming intelligent control systems for power supply of urban networks” // Mechatronics, Automation, Management. 2023. Vol. 24, No. 4, pp. 190-198. (In Russian). ]]

18. Куликов Г. Г., Антонов В. В., Навалихина Н. Д. и др. Логико-функциональный подход к конфигурированию программно-аналитического комплекса для исследуемой предметной области // Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике: Сб. ст. XIX Международной научно-технической конференции, Пенза, 24–25 октября 2019 года. Пенза: «Приволжский Дом знаний», 2019. С. 166–169. EDN KDRMWY. [[ Kulikov G. G., Antonov V. V., Navalikhina N. D. et al. “Logical-functional approach to configuring a software-analytical complex for the subject area under study” // Problems of Computer Science in Education, Management, Economics and Technology: Collection of articles XIX International Scientific and Technical Conference, Penza, October 24–25, 2019. Penza: “Privolzhsky House of Knowledge”, 2019, pp. 166-169. (In Russian). ]]

19. Куликов Г. Г., Антонов В. В., Фахруллина А. Р., Родионова Л. Е. Подход к формированию структуры самоорганизующейся интеллектуальной системы в форме декартовозамкнутой категории (на примере проектирования информационной аналитической программной системы) // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. 2018. № 27. С. 49–67. EDN YGIFJZ. [[ Kulikov G. G., Antonov V. V., Fakhrullina A. R., Rodionova L. E. “Approach to the formation of the structure of a self-organizing intelligent system in the form of a Cartesian closed category (on the example of designing an information analytical software system)” // Vestnik Perm National Research Polytechnic University. Electrical Engineering, Information Technology, Control Systems. 2018. No. 27, pp. 49-67. (In Russian). ]]

20. Куликов Г. Г., Антонов В. В., Фахруллина А. Р., Родионова Л. Е. Формальная модель процессов взаимодействия компонентов программной системы на основе фрактального подхода // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2018. № 4. С. 104–111. [[ Kulikov G. G., Antonov V. V., Fakhrullina A. R., Rodionova L. E. “Formal model of the processes of interaction of software system components based on the fractal approach” // Electrical Engineering and Information Complexes and Systems. 2018. No. 4, pp. 104–111. (In Russian). ]]

*Поступила в редакцию 16 ноября 2023 г.*

#### МЕТАДАННЫЕ / METADATA

**Title:** Models for designing software analytical systems with a Cartesian closed category.

**Abstract:** An overview of the results of the study of the design processes of software analytical systems for problem-oriented analytical systems and data and knowledge repositories is presented. The subject of the research is formal models and methods for designing software analytical systems (SAS) for implementing the functional interaction of software systems with a Cartesian closed category. The goal is to increase the efficiency of processing heterogeneous data, metadata and knowledge, their transfer and integration based on the development of a software analytical complex that ensures the integration of heterogeneous software systems with a Cartesian closed category. To do this, the following tasks are solved: 1. Develop a mathematical set-theoretic method for displaying the functional interaction of software systems when implementing the dynamic properties of the subject area and information processing processes. 2. Develop a formal model of the processes of interaction between the components of a software analytical complex and a Cartesian closed category. 3. Develop a universal structure and prototype of PAC to improve the efficiency of processing, transmission, integration of data and knowledge of intellectual content in computer networks. 4. Evaluate the results of research on the problem of designing software systems based on the proposed mathematical set-theoretic method for displaying the functional interaction of software systems. For the solution, set-theoretic methods, the basics of relational algebra for organizing data warehouses, category theory and algorithm theory, methodologies for modeling and designing software systems (SADT, BPMN, etc.), and modular programming methods were used. To evaluate the results and reliability of the proposed models and developed algorithms, data from the results of implementing the developed prototype of a software analytical complex in the subject areas under study were used.

**Key words:** formal model; program analytical complex; category theory; set-theoretic model

**Язык статьи / Language:** русский / Russian.

#### Об авторах / About the authors:

##### РОДИОНОВА Людмила Евгеньевна

ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий», Россия. Доцент каф. автоматизированных систем управления. Дипл. спец. по прикл. информатике в экономике (Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т, 2006). Канд. техн. наук по мат. и прогн. обеспечению выч. машин, комплексов и компьютер. сетей (там же, 2019). Исслед. в обл. моделей и методов проектирования программных аналитических комплексов.

E-mail: lurik@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4041-0365>

URL: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?authorid=852968](https://elibrary.ru/author_profile.asp?authorid=852968)

##### RODIONOVA Lyudmila Evgenyevna

Ufa University of Science and Technologies, Russia. Associate Professor of the Dept. of Automated Control Systems. Dipl.-Specialist in applied informatics in economics (Ufa State Aviation Technical University, 2006). Cand. of Tech. Sci. in mathematical and software support of computing machines, complexes, and computer networks (ibid, 2019). Research in the field of models and methods for designing software analytical systems.

E-mail: lurik@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4041-0365>

URL: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?authorid=852968](https://elibrary.ru/author_profile.asp?authorid=852968)

**АНТОНОВ Вячеслав Викторович**

ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий», Россия. Зав. каф. автоматизированных систем управления. Дипл. математик (Башкирск. гос. ун-т, 1979). Д-р техн. наук по мат. и прогр. обеспечению выч. машин, комплексов и компьютер. сетей (Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т, 2015). Иссл. в обл. методологии проектирования аналит. прогр. систем на основе формальных моделей предметной области.

E-mail: antonov.v@bashkortostan.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5402-9525>

URL: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?authorid=530537](https://elibrary.ru/author_profile.asp?authorid=530537)

**БАЙМУРЗИНА Лилия Ифтаровна**

ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий», Россия. Ст. преп. каф. технологии производства летательных аппаратов. Дипл. спец. по прикладной информатике в экономике (Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т, 2009).

E-mail: lilabay@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-1996-0494>

URL: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?authorid=1185834](https://elibrary.ru/author_profile.asp?authorid=1185834)

**ГИДИНДА Грас Мушиго**

ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий», Россия.

Аспирант кафедры автоматизированных систем управления.

E-mail: [gracegidinda92@gmail.com](mailto:gracegidinda92@gmail.com)

**ANTONOV Vyacheslav Viktorovich**

Ufa University of Science and Technologies, Russia.

Head of the Automated Control Systems Dept. Dipl. in Mathematics (Bashkir State University, 1979). Dr of Tech. Sci. in mathematical and software support of computers, complexes and networks (Ufa State Aviation Tech. University, 2015). Research in the field of design methodology of analytical software systems based on formal models of the subject area.

E-mail: antonov.v@bashkortostan.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5402-9525>

URL: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?authorid=530537](https://elibrary.ru/author_profile.asp?authorid=530537)

**BAIMURZINA Liliya Iftarovna**

Ufa University of Science and Technologies, Russia.

Senior Lecturer of the Aircraft Production Technology Dept. Dipl. specialist in applied informatics in economics (Ufa State Aviation Technical University, 2009).

E-mail: lilabay@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-1996-0494>

URL: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?authorid=1185834](https://elibrary.ru/author_profile.asp?authorid=1185834)

**GIDINDA Grace Mushigo .**

Ufa University of Science and Technologies, Russia

Postgraduate student of the Automated Control Systems Dept.

E-mail: [gracegidinda92@gmail.com](mailto:gracegidinda92@gmail.com)