



## Категориальный анализ логики в концептуальном моделировании предметных областей для семантической целостности информационных ресурсов

© 2024, В.В. Антонов<sup>1</sup>, Н.А. Кононов<sup>1</sup> ✉, Е.В. Пальчевский<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Уфимский университет науки и технологии (УУНУТ), Уфа, Россия

<sup>2</sup>Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, Москва, Россия

### Аннотация

Рассматривается возможность применения аппарата категориального анализа логики для формирования концептуальной модели предметной области для проектирования информационной системы. Сформулирована проблема семантической разобщённости информационных ресурсов. Актуальность исследований обусловлена динамичным развитием информационных технологий и потребностью в их интеграции. Определено, что семантическая разобщённость возникает в процессе интеграции гетерогенных информационных ресурсов, «заложенная» на этапе проектирования информационных систем в рассматриваемой предметной области. Выявлено влияние, оказываемое информационной системой, содержащей нарушения семантической целостности, на обеспечиваемые бизнес-процессы. Выделены проблемы-маркеры: информационные разрывы, дублирование информации, необходимость предварительной обработки информации. Показано, что интеграция информационных ресурсов является обязательным, но не единственным условием для формирования семантической целостности системы. Предложено формирование единого контекста для интегрируемых компонентов системы как обязательного условия их интеграции. Разработана классификация подходов к интеграции информационных ресурсов, базирующихся на их семантической целостности. Сформулированы предложения по применению аппарата категориального анализа логики в рамках концептуального моделирования предметной области как универсального компонента по обеспечению семантической целостности системы. Новизна предлагаемого подхода заключается в рассмотрении компонентов информационной системы как множеств на базе теории категорий, выстраивании категориальных отношений между ними и идентификации структурных изоморфизмов в формальной модели.

**Ключевые слова:** категориальный анализ логики, формальная модель, семантическая целостность, проектирование, информационная система.

**Цитирование:** Антонов В.В., Кононов Н.А., Пальчевский Е.В. Категориальный анализ логики в концептуальном моделировании предметных областей для семантической целостности информационных ресурсов // *Онтология проектирования*. 2024. Т.14, №3(53). С.324-334. DOI:10.18287/2223-9537-2024-14-3-324-334.

**Финансирование:** исследования выполнены при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках выполнения Государственного задания № FEUE-2023-0007.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Введение

Современные предприятия и организации действуют в динамичной внешней среде, к которой адаптируются путём изменения бизнес-процессов (БП). Их информационные системы (ИС) устаревают, внедряются новые, изменяются программные и аппаратные платформы, изменяется регулирующее область законодательство [1, 2]. Под действием перечисленных факторов изменяются эксплуатационные свойства ИС, которые могут быть измерены: время, стоимость, масштаб и устойчивость изменений [3]. Понятие гибкости ИС предприятия и её концептуальная модель рассмотрены в работе [4].

В результате организация имеет ряд унаследованных систем, не интегрированных в единую ИС. Каждая ИС представляет собой информационный ресурс (ИР) с собственными информационными структурами и логикой их преобразования. БП предприятия, столкнувшегося с ситуацией наличия множества ИР, не интегрированных на основе семантики данных, могут характеризоваться следующими недостатками: информационные разрывы; дублирование информации; необходимость синхронизации ИР [5-7].

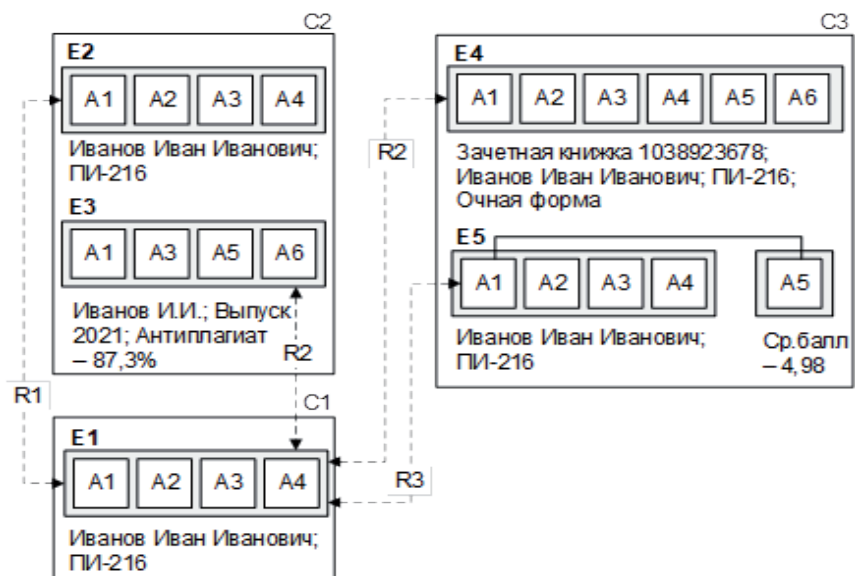
*Актуальность исследования* обосновывается распространённостью многокомпонентных ИС и необходимостью разработки подхода (совокупности модели, метода и алгоритма) к проектированию интеграционных решений (программ и программных систем, входящих в состав ИС), обладающих семантической целостностью.

*Целью исследования* является разработка предложений по применению категориального анализа логики для концептуального моделирования предметной области (ПрО) как универсального компонента в виде формализованного подхода, направленного на обеспечение семантической целостности ИР на этапе проектирования ИС.

Для достижения поставленной цели проанализированы основные концепции моделирования ПрО: значение концепции абстракции [8] и её уровней в процессе проектирования ИС; базовые концепции категориального анализа логики; основные положения теорий информации, баз данных и нормализации. Для анализа БП применялись методы структурного анализа и декомпозиции [9], идентификация проблемы сопровождалась применением методов системного анализа [10].

## 1 Семантическая целостность ИР

В работе на концептуальном уровне рассматривается информационное моделирование ПрО, на основе общетеоретических понятий, обладающих инвариантными свойствами, необходимыми для решения задач в ПрО [11]. В семантической целостности ИР различные компоненты ИС оперируют едиными сущностями с различным уровнем детализации [12]. На рисунке 1 представлено мнемоническое изображение вариативности соответствия сущностей различных ИР. Принадлежность объектов на рисунке изображена посредством вложенности графических элементов. Например, в рамках одного информационного контекста вложено несколько информационных сущностей. Сущность из одного ИР может полностью дублировать сущность другого ИР (E1 и E2), может частично соответствовать (E1 и E3, E4), а может



A – атрибуты информационной сущности; E – информационные сущности; C – информационные контексты; R – отношения полного, частичного и фрагментного соответствия

Рисунок 1 - Мнемоническое изображение вариантов соответствия сущностей различных информационных ресурсов

быть разделена на несколько сущностей (E1 и E5). Каждая из сущностей характеризуется множеством атрибутов, в частности, сущность E1 характеризуется множеством {A1,...,A4}. Каждая сущность включена в один из семантических контекстов (C1, C2, C3).

Подобные отношения между сущностями различных ИР в рамках одной ИС вызывают ряд недостатков БП: необходимость конвертации контекста, экспертного соотнесения сущностей, предобработки с целью насыщения информационных сущностей; отсутствие возможности получения достаточной информации для выполнения БП.

На рисунке 2 показана цепочка причинно-следственных связей семантической разобщённости ИР. Внешняя среда оказывает влияние на БП организации и на ИС, обеспечивающую выполнение БП. Рассматриваемая система для сохранения своего функционирования претерпевает изменения внутри: изменяются компоненты ИС и БП. Предполагается, что на данном этапе формируется семантическая разобщённость ИР, которая может приводить к временным затратам и высокому риску возникновения ошибок [13].

Признаком семантической разобщённости является наличие различных моделей данных одной и той же сущности реального мира в компонентах ИС. Можно классифицировать разобщённость между компонентами ИС на структурную и семантическую.

Например, при взаимодействии двух компонентов ИС, отвечающих за бухгалтерский учёт и непрерывное образование сотрудников, может существовать две модели данных сущности «Сотрудник». Сущности могут различаться как по наименованию семантически идентичных атрибутов (например, «Фамилия», «Имя», «Отчество»), так и иметь различный атрибутивный состав в зависимости от целевого назначения компонента системы (например, «Стаж работы», «Дата прохождения курса переподготовки»).

Интеграция компонентов ИС является обязательным, но не единственным условием для формирования семантической целостности. Для её достижения необходимо согласование сущностей и атрибутов на основе их смысла – формирование единого семантического контекста между всеми информационными сущностями. Работа пользователя с различными компонентами ИС должна восприниматься как работа с единым ИР [14], не требующим трансформации, конвертации, обобщения, насыщения и других процедур обработки информации.

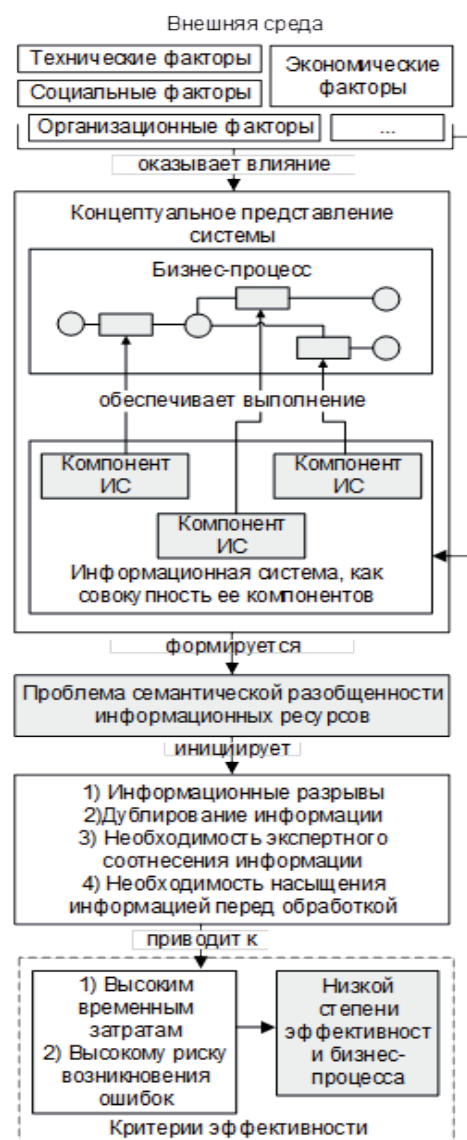


Рисунок 2 – Причинно-следственные связи семантической разобщённости информационных ресурсов

## 2 Подходы к интеграции компонентов ИС

На основе анализа подходов к интеграции компонентов ИС, разработана классификация, в основу которой положены результаты исследований [15-17]. Интеграция может быть осуществлена посредством:

1) определений и формальной структуризации используемых ИР, которая достигается средствами дополнительного компонента ИС, адаптирующего существующие ИР с использованием некоторого языка и формальной грамматики. На рисунке 3 представлена упрощённая модель первого типа интеграции компонентов ИС, где E – сущность ПрО, A – атрибут сущности ПрО, CMP и Z – компоненты ИС, FN – функция компонента, C – собственный семантический контекст, CU – универсальный семантический контекст.

2) определений и формальной структуризации пользовательских интерфейсов, которая достигается копированием и повторным вводом данных из одного компонента ИС в другой. На рисунке 4 представлена упрощённая модель второго типа интеграции компонентов ИС, где BF – бизнес-функция, BP – бизнес-процесс; BF\* – конвертирующий контекст BP.

3) создания универсальной надстройки на основе формального, предметно-ориентированного графоаналитического метаязыка, которая предполагает организацию взаимодействия между компонентами ИС путём создания интеллектуальной системы интеграции ИР [18]. На рисунке 5 представлена упрощённая модель третьего типа интеграции компонентов ИС, где CMP\* – конвертирующий контекст компонент.

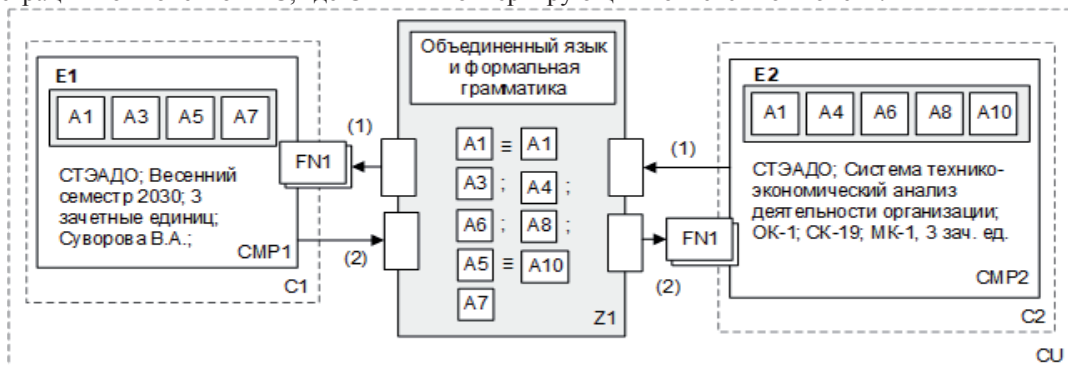


Рисунок 3 - Упрощённая модель подхода к интеграции компонентов информационной системы посредством семантических определений и формальной структуризации используемых информационных ресурсов

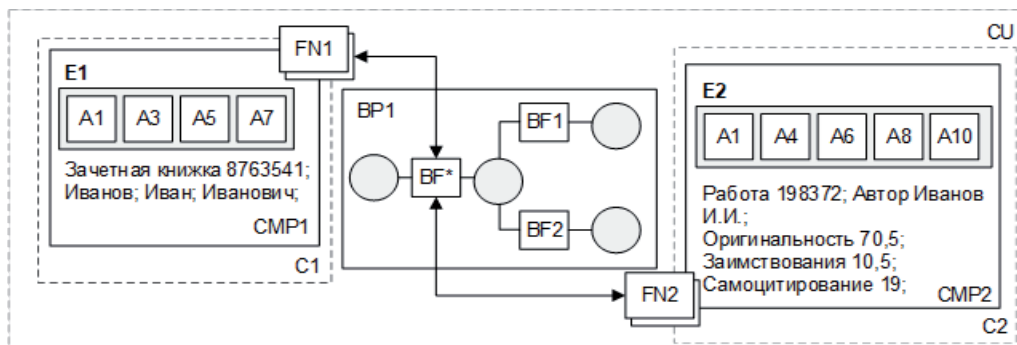


Рисунок 4 - Упрощённая модель подхода к интеграции компонентов информационной системы посредством определений и формальной структуризации пользовательских интерфейсов

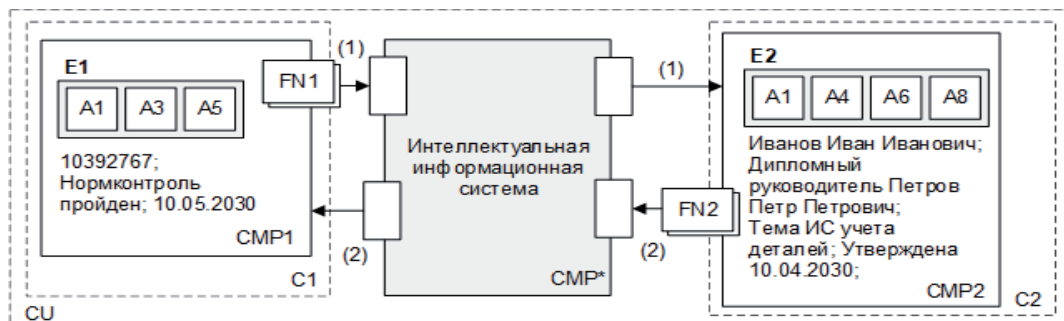


Рисунок 5 - Упрощённая модель подхода к интеграции компонентов информационной системы посредством создания универсальной надстройки

Таким образом, задача проектирования системных интеграций рассматривается как формирование общего контекста между N компонентами ИС с минимальным количеством

посредников (прослоек, конвертеров, брокеров, шлюзов). При решении задачи интеграции по принципу «каждый с каждым» между системами необходимо образовать  $N(N-1)/2$  посредников, по принципу двухстороннего взаимодействия -  $N(N-1)$ .

### 3 Подход к семантической целостности ИР

Применения рассмотренных подходов интеграции компонентов ИС является не оптимальным по причине высокой сложности результирующей структуры при большом количестве интегрируемых компонентов [19]. Результирующая ИС представляет собой множество существующих компонентов ИС, дополненных кратным множеством компонентов-сопряжений для обеспечения конвертации контекста:

- в случае автоматической (алгоритмической) интеграции - большое количество точек возможных отказов, представляющих собой новые программные модули, обеспечивающие преобразование и приведение обрабатываемых структур данных;
- в случае автоматизированной (частично автоматизированной или не автоматизированной интеграции) - большое количество пользовательских интерфейсов ИС.

Предлагаемый подход заключается в рассмотрении компонентов ИС и её элементов как множеств на базе аппарата теории категорий, а выстраивание категориальных отношений между сущностями позволяет определять изоморфизмы в структурированной формальной модели. Данное свойство приводит к «поглощению» дублирующих объектов и снижению сложности компонентов ИС посредством структуризации элементов. В качестве целевой модели данных рассматривается реляционная модель как общепринятый стандарт.

Подход направлен на формирование формальной модели ИС с условием отсутствия противоречия и соблюдения полноты, достаточной для выполнения всех бизнес-функций. Подобная структуризация ПрО является обязательным этапом при проектировании ИС. Структуризация может быть достигнута за счёт применения теоретико-категориального аппарата и применения концепций *идентичности, агрегации и обобщения*. Согласно теории категорий [20, 21], ПрО  $P_w$  можно рассмотреть в виде категорий, представленных тремя множествами: сущностей ( $E$ ), атрибутов сущностей ( $A$ ) и отношений между сущностями ( $R$ ). Формальное представление ПрО имеет следующий вид:  $P_w = \{ \langle E_1, \dots, E_i \rangle; \langle A_1, \dots, A_k \rangle; \langle R_1, \dots, R_t \rangle \}$ , где  $i, k, t$  – мощности множеств сущностей, атрибутов, отношений соответственно.

Осуществлён переход от понятий множеств к понятиям категорий. Категория сущностей ПрО задаётся классом объектов  $Ob(E)$ , категория атрибутов ПрО - классом объектов  $Ob(A)$ , категория связей между объектами - классом объектов  $Ob(R)$ .

Из основных аксиоматических положений можно утверждать, что для любых двух  $a_1, a_2 \in Ob(A)$  существует множество  $Ob(A)Hom_A(a_1, a_2)$ , элементы которого называются морфизмами из  $a_1$  в  $a_2$ . Согласно этой аксиоме возможно представление отношения между двумя сущностями ПрО в виде морфизмов из категориального анализа логики (принято обозначать стрелками). Морфизм в рамках рассматриваемой задачи означает непрерывное отображение категории сущностей на категорию атрибутов. Таким образом, отношения между сущностями  $a_1$  и  $a_2$  можно записать  $f: a_1 \rightarrow a_2$  или  $a_1 = Dom(f)$  и  $a_2 = Cod(f)$ , которые рассматриваются как объект  $r_1 \in Ob(R)$  упорядоченной тройки вида  $(A, f, B)$ . Для любых трёх объектов  $a_1, a_2, a_3 \in Ob(A)$  может быть задана следующая композиция:

$$Hom_A(a_1, a_2) \times Hom_A(a_2, a_3) \rightarrow Hom_A(a_1, a_3),$$

$$(f: a_1 \rightarrow a_2, g: a_2 \rightarrow a_3) \rightarrow fg: a_1 \rightarrow a_3.$$

Аналогично морфизмы  $f$  и  $g$  могут быть рассмотрены как  $r_1, r_2 \in Ob(R)$ . Так как под морфизмами понимается отображение, которое позволяет сохранить структуру объекта категории [21], то его, в рамках формируемого подхода, можно интерпретировать как сохранение атрибутивного состава комплексной сущности при её декомпозиции и формирование между атрибутами категориальных отношений. Аналогичные выводы можно сделать и для других двух приведённых категорий.

Для связи трёх категорий  $(Ob(E), Ob(A), Ob(R))$  предлагается использовать функторы. Ковариантный функтор  $F: E \rightarrow A$  является отображением, которое сопоставляет каждому объекту  $e_i \in E$  объект  $F(e_i) \in A$ , где  $i$  – номер элемента множества. Категория является не только множеством объектов, но и множеством формируемых морфизмов [18], каждому морфизму  $f: e_i \rightarrow e_j$  в категории  $E$  соответствует морфизм  $F(f): F(e_i) \rightarrow F(e_j)$  в категории  $A$ . Функтор между категориями сохраняет тождественные морфизмы (отношения) и структуру композиции морфизмов.

*Пример концепции идентичности двух сущностей.* Концепция идентичности заключается в определении идентичных фрагментов графа – изоморфизмов. Изоморфными можно назвать два встречных функтора  $f_1: A \rightarrow E$ ,  $f_2: E \rightarrow A$ , такие, что  $f_1 \times f_2 = 1_A$ ,  $f_2 \times f_1 = 1_E$ , где  $\times$  – декартово произведение. Представленный морфизм является функторным изоморфизмом контравариантного функтора  $A$  в контравариантный функтор  $E$ . Данное утверждение можно обосновать следующим образом: пусть  $e_1$  – объект категории  $E$ ; в категории  $A$  существует единственный морфизм  $f_1(Y): A(Y) \rightarrow E(Y)$ , такой, что  $f_1(Y) \times f_2(Y) = 1_{A(Y)}$ ,  $f_2(Y) \times f_1(Y) = 1_{E(Y)}$ . Тогда можно определить функторный морфизм  $f_1: A \rightarrow E$ . Пример применения идентичности введённых условных обозначений и соответствующая диаграмма функторного морфизма представлены на рисунке 6. На рисунке показано разрешение семантической разобщённости двух информационных сущностей ( $E1$  и  $E1'$ ), находящихся в различных контекстах; посредством применения концепции идентичности сформирован универсальный контекст  $C_u$ , где произошло слияние сущностей с наследованием родительских связей ( $E2, E4$ ).

Повышение уровня абстракции позволяет сформулировать ряд общих концепций и соответствующих им алгоритмов (алгоритмов на деревьях) с небольшой вычислительной сложностью, не зависящих от ПрО [22]. Возможность практического применения концепций агрегации и обобщения выполняется на базе введённых положений (категории, морфизмы, функторы). Подобного ограниченного синтаксиса достаточно для выражения любых семантических связей в рамках информационного моделирования.

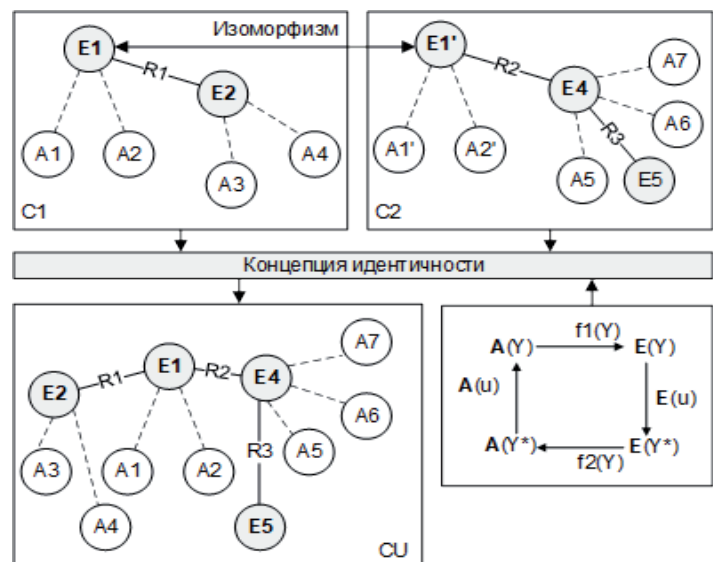


Рисунок 6 - Пример разрешения семантической разобщённости посредством применения концепции идентичности

На рисунке 7 представлен алгоритм предлагаемого подхода к концептуальному моделированию ПрО при проектировании ИС, который показывает последовательность действий при семантической интеграции элементов ИС. В каждой из алгоритмических веток присутствует одна из сформулированных концепций, которую нужно применить к выделенной сущности ПрО (обобщения, идентичности, агрегации), или сущность объединяется в существующую структуру.

### Заключение

В работе определена цепочка причинно-следственных связей семантической разобщённости ИР в контексте проектирования ИС. Представлен подход (совокупность модели, метода и алгоритма), который облегчает формирование модели ПрО посредством применения аппарата категориального анализа логики.

Представленные в работе предложения на базе концепций идентичности, агрегации и обобщения позволят сократить количество семантически разобщённых ИР и повысить эффективность БП организации.

Количественный показатель эффективности предлагаемого в работе решения может быть исчислен на основе следующих компонентов:

1) количество сущностей ПрО, к которым применён принцип обобщения, и количество обобщённых атрибутов множества сущностей;

2) количество сущностей ПрО, к которым применен принцип идентичности, и количество идентичных атрибутов множества сущностей;

3) количество сущностей ПрО, к которым применен принцип агрегации, и количество агрегированных атрибутов ряда сущностей.

Каждый принцип направлен на сокращение количества сущностей ПрО и их атрибутивного состава. Следовательно, модель ПрО, лежащая в основе ИС, становится ближе к действительности и, как следствие, повышается эффективность обеспечиваемых БП (сокращаются временные затраты и снижается вероятность возникновения ошибки). Повышается также производительность ИС в виду сокращения количества объектов хранения (вне зави-



Рисунок 7 - Схема алгоритма предлагаемого подхода к семантической интеграции информационных элементов

симости от типа используемой базы данных). Сформулированные положения использованы как основополагающие принципы при создании программного продукта, обеспечивающего структуризацию ПрО [23].

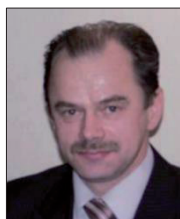
### Список источников

- [1] **Антонов В.В., Конев К.А., Пальчевский Е.В., Родионова Л.Е., Баймурзина Л.И.** Обеспечение актуальности знаний о бизнес-процессе предприятия на основе онтологической модели // *Онтология проектирования*. 2024. Т.14, №1(51). С.107-118. DOI: 10.18287/2223-9537-2024-14-1-107-118.
- [2] **Kersten M., Khanagha S., Hooff B., Kharova S.** Digital transformation in high-reliability organizations: A longitudinal study of the micro-foundations of failure. *The Journal of Strategic Information Systems*. 2023. DOI: 10.1016/j.jsis.2023.101756.
- [3] **Dove R.** Response Ability: The Language, Structure, and Culture of the Agile Organization, 2002. New York: Wiley. DOI: 10.1002/inst.20046241.
- [4] **Zelenkov Y.A.** Agility of enterprise information systems: A conceptual model, design principles and quantitative measurement. *Business Informatics*, 2018. No.2(44). P.30–44. DOI: 10.17323/1998-0663.2018.2.30.44.
- [5] **Запорожцев А.В.** Проблемы проектирования автоматизированных систем управления организационно-техническими системами // *Вестник ННГУ*. 2013. №6-1. С.239-246.
- [6] **Liu X., Hu C., Huang J., Liu F.** A Semantic Data Integration and Service System Based on Domain Ontology // IEEE First International Conference on Data Science in Cyberspace (DSC), Changsha, China, 2016. P.302-306, DOI: 10.1109/DSC.2016.15.
- [7] **Klein M.** Combining and relating ontologies: an analysis of problems and solutions // *IJCAI-2001 Workshop on Ontologies and Information Sharing*, Seattle, WA, 2001. P.53–62.
- [8] **Горский Д.П.** Вопросы абстракции и образования понятий. М.: Изд-во АН СССР. 1961. 352 с.
- [9] **Марка Д., Макгоуэн К.** Методология структурного анализа и проектирования SADT. М.: МетаТехнология, 1993. 240 с.
- [10] Проблемы методологии системного исследования / Ред. И.В. Блауберг, В.Н. Садовский, Э.Г. Юдин. М.: Мысль. 1970. 456 с.
- [11] **Колыбенко Е.Н.** Разграничение понятий математического и логического моделирования // *Вестник Донского государственного технического университета*. 2019. 19(3). С.262-267. DOI: 10.23947/1992-5980-2019-19-3-262-267.
- [12] **Юсупова Н.И., Сметанина О.Н., Агадуллина А.И., Рассадникова Е.Ю.** Вопросы моделирования при организации информационной интеллектуальной поддержки управленческих решений в сложных системах // *Фундаментальные исследования*. 2017. №2. С.107-113.
- [13] **Кононов Н.А., Суворова В.А.** Разработка формальной модели реализации процесса взаимодействия компонентов сложной системы на примере информационного сопровождения приемной кампании. *Молодежный вестник УГАТУ*. 2023. №1(27). С.59-64.
- [14] **Ouksel A., Sheth A.** Semantic Interoperability in Global Information Systems: A Brief Introduction to the Research Area and the Special Section. *SIGMOD*, 1999, Record. 28. P.5-12.
- [15] **Куликов Г.Г., Сапожников А.Ю., Кузнецов А.А., Маврин А.С.** Методология проектирования системных моделей рабочих процессов с применением предметно-ориентированных метаязыков // *Вестник Южно-Уральского государственного университета*. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. Челябинск: 2020. С.45-55.
- [16] **Арсеньев Д.Г., Шкодыврев В.П.** Семантическая интероперабельность киберфизических систем как технологической платформы систем промышленной автоматизации // *Материалы мультikonференции XVI Всероссийская мультikonференция по проблемам управления*, 2023. Т.2. С.44-47.
- [17] **Олейников А.Я., Рубан К.А.** Модели и стандарты обеспечения интероперабельности // *Информатизация образования и науки*, 2009. №3 С.24-34.
- [18] **Куликов Г.Н., Антонов В.В., Антонов Д.В., Шингарев Ф.Ф.** Метод предметно-ориентированной классификации и системного моделирования слабоформализованных информационных потоков в системах автоматизированного производства // *Вестник Южно-Уральского государственного университета*. Серия: компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. Челябинск: 2016. С.116-130.
- [19] **Vinogradov G.P., Prokhorov A.A.** Ontologies in the problems of building a concept domain model // *Software & Systems - Программные продукты и системы*. 2018. №4. С.677-683. DOI: 10.15827/0236-235X.124.677-683.
- [20] **Райков А.Н.** Онтологизация научных открытий // *Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2021)*. М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. 2021. С.342-348.



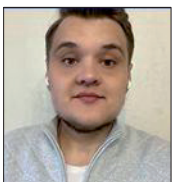
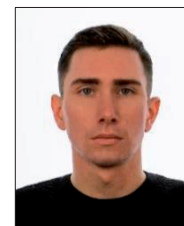
- [21] Топосы: Категориальный анализ логики / Р. Голдблатт; Перевод с англ. В.Н. Гришина, В.В. Шокурова. М.: Мир, 1983. 486 с.
- [22] **Кормен Т.** и др. Алгоритмы: построение и анализ. 3-е изд: пер. с англ. М.: Вильямс, 2013. 1323 с.
- [23] Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024661463 РФ. «Программа автоматизированного семантического сопоставления сущностей информационных ресурсов на основе информационных моделей»: № 2024660117: заявл. 03.05.2024: опублик. 17.05.2024 / Н. А. Кононов.

## Сведения об авторах



**Антонов Вячеслав Викторович**, 1956 г. рождения. Окончил Башкирский государственный университет (1979), к.т.н. (2007), д.т.н. (2015). Заведующий кафедрой автоматизированных систем управления УУНиТ. В списке научных трудов более 130 работ в области построения интеллектуальных систем. AuthorID (РИНЦ): 530537; Author ID (Scopus): 57200254522; Researcher ID (WoS): AАН-5121-2019. [antonov.v@bashkortostan.ru](mailto:antonov.v@bashkortostan.ru).

**Кононов Никита Алексеевич**, 1999 г. рождения. Окончил магистратуру УУНиТ (2023) по направлению «Прикладная информатика». Аспирант кафедры автоматизированных систем управления, УУНиТ. В списке научных трудов более 20 работ в области системного моделирования и проектирования информационных систем. AuthorID (РИНЦ): 1062057; ORCID: 0000-0001-8738-653X; ResearcherID: AAB-6061-2022. [knnv.nkt@gmail.com](mailto:knnv.nkt@gmail.com). ✉



**Пальчевский Евгений Владимирович**, 1994 г. рождения. Окончил Уфимский государственный авиационный технический университет (2019). Старший преподаватель департамента анализа данных и машинного обучения Финансового университета при Правительстве Российской Федерации. В списке научных трудов около 200 работ в области разработки программного обеспечения и интеллектуальных вычислений. AuthorID (РИНЦ): 837544. Author ID (Scopus): 57220744490; ORCID 0000-0001-9033-5741; Researcher ID (WoS): ABB-2403-2021. [teelxp@inbox.ru](mailto:teelxp@inbox.ru)

Поступила в редакцию 10.02.2024, после рецензирования 23.07.2024. Принята к публикации 26.07.2024.



Scientific article

DOI: 10.18287/2223-9537-2024-14-3-324-334

## Categorical analysis of logic in conceptual modeling of subject areas for semantic integrity of information resources

© 2024, V.V.Antonov<sup>1</sup>, N.A. Kononov<sup>1</sup> ✉, E.V. Palchevsky<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia

<sup>2</sup>Finance University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia

### Abstract

The article explores the potential use of categorical logic analysis to create a conceptual model of the subject area for designing an information system. The issue of semantic disunity of information resources is addressed, emphasizing its relevance due to the rapid development of information technologies and the need for their integration. Semantic disunity is identified as occurring during the integration of heterogeneous information resources, which is "embedded" at the design stage of information systems within the given subject area. The impact of an information system with violations of semantic integrity on the business processes it supports is examined, identifying problems such as information gaps, duplication, and the need for preliminary information processing. It is demonstrated that while integrating information resources is essential, it is not sufficient alone for achieving semantic integrity. The necessity of forming a single context for the integrated system components as a prerequisite for their integration is proposed. A classification of approaches to information resource integration based on semantic integrity is developed. Suggestions for applying categorical logic analysis within the framework of conceptual modeling of the subject area are presented as a universal

component for ensuring the system's semantic integrity. The novelty of the proposed approach lies in considering the information system components as sets based on category theory, building categorical relations between them, and identifying structural isomorphisms in the formal model.

**Keywords:** *categorical analysis of logic, formal model, semantic integrity, designing, information systems.*

**Citation:** *Antonov VV, Kononov NA, Palchevsky EV. Categorical analysis of logic in conceptual modeling of subject areas for semantic integrity of information resources [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2024, 14(3): 324-334. DOI:10.18287/2223-9537-2024-14-3-324-334.*

**Financial Support:** The research was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under the main part of the state assignment to higher education institutions No. FEUE-2023-0007.

**Conflict of interest:** The authors declare no conflict of interest.

## List of figures

Figure 1 - Mnemonic representation of options for matching entities of various information resources

Figure 2 - Cause-and-effect relationships of semantic disunity of information resources

Figure 3 - A simplified model of the approach to integrating information system components through semantic definitions and formal structuring of the information resources used

Figure 4 - A simplified model of the approach to integrating of information system components through definitions and formal structuring of user interfaces

Figure 5 - A simplified model of the approach to integrating information system components by creating a universal add-on

Figure 6 - An example of resolving semantic disunity through the application of the concept of identity

Figure 7 - Algorithm diagram of the proposed approach

## References

- [1] **Antonov VV, Konev KA, Palchevsky EV, Rodionova LE, Baymurzina LI.** Ensuring the relevance of enterprise business process knowledge based on an ontological model [In Russian]. *Ontology of Designing*, 2024. 1(51). 107-118. DOI: 10.18287/2223-9537-2024-14-1-107-118
- [2] **Kersten M, Khanagha S, Hooff B, Khapova S.** Digital transformation in high-reliability organizations: A longitudinal study of the micro-foundations of failure. *The Journal of Strategic Information Systems*. 2023. DOI: 10.1016/j.jsis.2023.101756.
- [3] **Dove R.** Response Ability: The Language, Structure, and Culture of the Agile Organization, March 2002. 6(2). DOI: 10.1002/inst.20046241.
- [4] **Zelenkov YA.** Agility of enterprise information systems: A conceptual model, design principles and quantitative measurement. *Business Informatics*, 2018. 2 (44). 30–44. DOI: 10.17323/1998-0663.2018.2.30.44.
- [5] **Zaporozhtsev AV.** Problems of designing automated control systems for organizational and technical systems [In Russian]. *Bulletin of UNN*. 2013. 6-1. 239-246.
- [6] **X. Liu, C. Hu, J. Huang and F. Liu** A Semantic Data Integration and Service System Based on Domain Ontology // *IEEE First International Conference on Data Science in Cyberspace (DSC)*, Changsha, China, 2016. 302-306, DOI: 10.1109/DSC.2016.15
- [7] **Klein M.** Combining and relating ontologies: an analysis of problems and solutions. *IJCAI-2001 Workshop on Ontologies and Information Sharing*, 2001. P.53–62.
- [8] **Gorsky DP.** Issues of abstraction and concept formation [In Russian]. *Publishing House of the USSR Academy of Sciences*. 1961. 352 p.
- [9] **Marka D, McGowan K.** Methodology of structural analysis and design of SAD. *MetaTechnology*, 1993, 240 p.
- [10] **Blauberger IV, Sadovskiy VN, Yudin EG.** System approach in modern science [In Russian]. *Problems of methodology of systems research* / Ed. count I.V. Blauberger, V.N. Sadovskiy, E.G. Yudin. Moscow, 1970.
- [11] **Kolybenko EN.** Distinction between the concepts of mathematical and logical modeling [In Russian]. *Bulletin of the Don State Technical University*. 2019. 19(3): 262-267. DOI: 10.23947/1992-5980-2019-19-3-262-267.
- [12] **Yusupova NI, Smetanina ON, Agadullina AI, Rassadnikova EYu.** Modeling issues in organizing information intellectual support for management decisions in complex systems [In Russian]. *Fundamental Research*. 2017; 2: 107-113.

- [13] **Kononov NA, Suvorova VA.** Development of a formal model for implementing the process of interaction between the components of a complex system using the example of information support for the admissions campaign [In Russian]. *Youth bulletin of UGATU*. 2023; 1(27): 59-64.
  - [14] **Ouksel A, Sheth A.** Semantic Interoperability in Global Information Systems: A Brief Introduction to the Research Area and the Special Section. *SIGMOD*, 1999, 28: 5-12.
  - [15] **Kulikov GG, Sapozhnikov AYu, Kuznetsov AA, Mavrin AS.** Methodology for designing system models of work processes using domain-specific metalanguages [In Russian]. *Bulletin of the South Ural State University. Series: computer technologies, control, radio electronics*. Chelyabinsk: 2020. P.45-55.
  - [16] **Arsenyev DG, Shkodyrev VP.** Semantic interoperability of cyberphysical systems as a technological platform for industrial automation systems [In Russian]. *Proceedings of the multiconference XVI All-Russian multiconference on management problems*, 2023; 2: 44-47.
  - [17] **Oleynikov AYa, Ruban KA.** Models and standards for ensuring interoperability [In Russian]. *Informatization of education and science*, 2009; 3: 24-34.
  - [18] **Kulikov GN, Antonov VV, Antonov DV, Shingareev FF.** Method of subject-oriented classification and system modeling of weakly formalized information flows in automated production systems [In Russian]. *Bulletin of the South Ural State University. Series: computer technologies, control, radio electronics*, 2016. pp.116-130.
  - [19] **Vinogradov GP, Prokhorov AA.** Ontologies in the problems of building a concept domain model [In Russian]. *Software & Systems - Software products and systems*, 2018; 4: 677-683. DOI: 10.15827/0236-235X.124.677-683.
  - [20] **Raikov A.N.** Ontology of scientific discoveries. Management of the development of large-scale systems [In Russian]. *Institute of Management Problems named after. V.A. Trapeznikov RAS*, 2021. pp. 342-348.
  - [21] Topoi: Categorical analysis of logic R. Goldblatt; Trans. from English V.N. Grishina, V.V. Shokurov. - Moscow: Mir, 1983. 486 p.
  - [22] **Cormen T.** Introduction to Algorithms. 3rd ed: trans. from English. Moscow: Williams, 2013. 1323 p.
  - [23] Certificate of state registration of a computer program No. 2024661463 Russian Federation. "Program for automated semantic comparison of information resource entities based on information models": No. 2024660117: application. 05/03/2024: publ. 05.17.2024. N.A. Kononov.
- 

## About the authors

**Vyacheslav Viktorovich Antonov** (b. 1956) graduated from the Bashkir State University (1979), Ph.D. (2007), Doctor of Technical Sciences (2015). Head of the Department of Automated Control Systems, Ufa University of Science and Technology (UUST). The list of scientific papers includes more than 130 works in the field of building intelligent systems. AuthorID (RSCI): 530537; Author ID (Scopus): 57200254522; Researcher ID (WoS): AAH-5121-2019. [antonov.v@bashkortostan.ru](mailto:antonov.v@bashkortostan.ru)

**Nikita Alekseevich Kononov** (b.1999) graduated from the master's program at the UUST (2023) with a degree in Applied Informatics (Business Process Reengineering). Postgraduate student of the Department of Automated Control Systems, UUST. The list of scientific papers includes more than 20 works in the field of system modeling and design of information systems. AuthorID (RSCI): 1062057; ORCID: 0000-0001-8738-653X; Researcher ID: AAB-6061-2022. [knnv.nkt@gmail.com](mailto:knnv.nkt@gmail.com) ✉.

**Evgeny Vladimirovich Palchevsky** (b. 1994) graduated from the Ufa State Aviation Technical University (2019). Senior lecturer at the Department of Data Analysis and Machine Learning of the Financial University under the Government of the Russian Federation. The list of scientific works includes about 200 works in the field of software development and intelligent computing. AuthorID (RINC): 837544. Author ID (Scopus): 57220744490; ORCID 0000-0001-9033-5741; Researcher ID (WoS): ABB-2403-2021. [teelxp@inbox.ru](mailto:teelxp@inbox.ru).

---

Received February 10, 2024. Revised July 23, 2024. Accepted July 26, 2024.

---