

УДК 519.113.115+681.3

<https://doi.org/10.32362/2500-316X-2025-13-2-18-26>

EDN PJVWFG



## НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

# Информационное онтологическое моделирование

В.Я. Цветков<sup>@</sup>,  
Н.С. Курдюков

МИРЭА – Российский технологический университет, Москва, 119454 Россия

<sup>@</sup> Автор для переписки, e-mail: [cvj7@mail.ru](mailto:cvj7@mail.ru)

### Резюме

**Цели.** Несмотря на широкое применение термина «онтология» в философии и социальных науках, в области информатики онтология и, тем более, онтологическое моделирование остаются мало изученными. Также мало исследована онтология в области информационного поля. Цель работы – разработка методики информационного онтологического моделирования и исследование технологии информационного поиска в широком смысле и как части онтологического моделирования. На основе онтологического моделирования необходимо показать различие между закономерностью и функциональной зависимостью.

**Методы.** Для достижения цели применен логически структурный подход, включающий построение концептуальных схем и логический формализм их описания. Логически структурный подход включает построение концептуальных схем, которые служат для применения логического формализма. Основой логического моделирования является выделение родственных моделей. Для этой цели предлагается применить расширенную технологию информационного поиска, которая ищет не отдельные объекты, а группы объектов. Онтологическое исследование строится на применении перехода от качественного описания к количественному. К числу применяемых методов относится метод количественно-качественных переходов.

**Результаты.** Вводится новое понятие – информационное онтологическое моделирование. Обоснованы условия онтологического моделирования. Исследованы отношения между понятиями закономерности и функциональности. На этой основе дается трактовка закономерности и функциональной зависимости. Показано структурное и формальное различие между информационным моделированием, технологиями информационного поиска и онтологическим моделированием. Раскрыты три задачи информационного поиска. При онтологическом моделировании решают вторую и третью задачи информационного поиска, соответственно, поиск группы связанных между собой объектов и поиск отношений или связей внутри группы связанных между собой объектов. Даны формальные схемы онтологического моделирования. Показан переход от отношений к связям в случае онтологического моделирования.

**Выводы.** Доказано, что онтологическое моделирование можно применять только к родственным моделям или к моделям, между которыми существует общность. Предложена технология онтологического моделирования, в варианте которой информационный поиск является начальной частью онтологического моделирования. Вторым вариантом является применение технологии кластерного анализа. Онтологическое моделирование использует качественно-количественные переходы и в предлагаемом варианте может служить для извлечения неявного знания.

**Ключевые слова:** моделирование, онтологическое моделирование, информационный поиск, информационное поле, закономерность, обобщение, логически структурное описание, родственные модели

• Поступила: 23.06.2024 • Доработана: 02.08.2024 • Принята к опубликованию: 22.01.2025

**Для цитирования:** Цветков В.Я., Курдюков Н.С. Информационное онтологическое моделирование. *Russian Technological Journal*. 2025;13(2):18–26. <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2025-13-2-18-26>, <https://elibrary.ru/PJWWFG>

**Прозрачность финансовой деятельности:** Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## RESEARCH ARTICLE

# Informational ontological modeling

Viktor Ya. Tsvetkov<sup>@</sup>,  
Nikita S. Kurdyukov

MIREA – Russian Technological University, Moscow, 119454 Russia

<sup>@</sup> Corresponding author, e-mail: [cvj7@mail.ru](mailto:cvj7@mail.ru)

### Abstract

**Objectives.** Despite the wide application of the term “ontology” in philosophy and social sciences, ontological modeling in the fields of computer science and information theory remains poorly studied. The purpose of the work is to develop a methodology for the ontological modeling of information and to clarify the theory of information retrieval technology both in a broad sense and as part of ontological modeling. Relevant problems in ontological modeling include the necessity of demonstrating the difference between regularity and functional dependence.

**Methods.** To achieve the stated goal, a logically structural approach is used, including the construction of conceptual schemes and their description in terms of logical formalism. The logically structural approach includes the construction of conceptual schemes that serve to apply logical formalism. The basis of logical modeling involves the selection of related models. The extended information retrieval technology proposed for this purpose searches not for individual objects, but for groups of objects. Since ontological research is based on a transition from qualitative to quantitative description, the methods used include quantitative-qualitative transitions.

**Results.** A new concept of ontological modeling of information is introduced. The conditions of ontological modeling are substantiated. Relationships between the concepts of regularity and functionality are investigated. On this basis, an interpretation of regularity and functional dependence is given. Structural and formal differences between information modeling, information retrieval technologies, and ontological modeling are demonstrated. Three information retrieval tasks are described, of which the second and third tasks involving the search for a group of related objects and the search for relationships or connections within a group of related objects, respectively, are solved using ontological modeling. Formal schemes of ontological modeling are provided. The transition from relations to connections in the case of ontological modeling is demonstrated.

**Conclusions.** Ontological modeling is shown to be applicable only to related models or to models between which there is a commonality. A technology of ontological modeling is proposed, in which version information retrieval is the initial part, while the second option involves the use of cluster analysis technology. Since ontological modeling uses qualitatively quantitative transitions, the proposed variant can be used to extract implicit knowledge.

**Keywords:** modeling, ontological modeling, information retrieval, information field, regularity, generalization, logical structural description, related models

• Submitted: 23.06.2024 • Revised: 02.08.2024 • Accepted: 22.01.2025

**For citation:** Tsvetkov V.Ya., Kurdyukov N.S. Informational ontological modeling. *Russian Technological Journal*. 2025;13(2):18–26. <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2025-13-2-18-26>, <https://elibrary.ru/PJWWFG>

**Financial disclosure:** The authors have no financial or proprietary interest in any material or method mentioned.

The authors declare no conflicts of interest.

## ВВЕДЕНИЕ

В философии онтологию применяют для концептуального описания реальности [1]. В информатике онтология дифференцируется по предметным областям и относится к информационному артефакту [2]. Она включает словарь, используемый для описания тематической определенной реальности, онтологические соглашения, используемые для комплементарности, согласования понятий и контекстных отношений, схемы построения и анализа. Первоначально онтологии были предложены для проверки и построения концептуальных моделей. Проверка уходит в область логики. В связи с этим логические конструкции широко применяют в онтологическом моделировании. В настоящее время онтологии применяют для извлечения знаний и накопления опыта. При этом следует отметить информационный поиск [3] как средство для последующего онтологического моделирования. В информатике онтология выходит в область информационного поля (ИП) [4] и это дает основание ввести понятие *информационной онтологии*. Информационная онтология – это онтология в ИП. В ИП широко применяют разные виды моделирования, среди которых основным является информационное. Эта особенность дает основание говорить об информационном онтологическом моделировании [5].

Информационное онтологическое моделирование полностью согласуется с теоретическими положениями онтологии, которые связаны с определением типов, свойств и взаимосвязей сущностей [1]. Упрощенно обозначают: онтология – это теория сущностей объектов и сущностей их связей [6]. Различают формальные, описательные и формализованные онтологии. Формальная онтология была введена Эдмундом Гуссерлем в его «Логических исследованиях». Согласно Гуссерлю, объектом онтологии является изучение сущности и важных категорий. В информационных науках такой формальный подход связывает онтологию с таксономией. Необходимо разграничить онтологии информационных сущностей и онтологии информационных систем [7]. Применение онтологического подхода обусловлено потребностями современного общества. Информационная поддержка и обмен знаниями являются ключевым фактором развития информационного обществ. В условиях глобального

обмена ресурсами получение знаний и методы получения знаний заслуживают особого внимания. Однако отсутствует методология систематического информационного моделирования по этому вопросу. Онтология является одним из таких методов. В работе [8] предложен подход, основанный на онтологии, который обеспечивает семантическое представление информации.

Информационное моделирование применяют для разных целей. Одной из целей является извлечение смысла и знаний. Это сближает информационное и онтологическое моделирование. Информационное моделирование иногда трактуют как концептуальное моделирование или моделирование семантических данных. Это также сближает онтологическое моделирование с информационным. Вариант информационного моделирования направлен на построение информационной модели, в которой представлены концептуальные аспекты объективной и субъективной реальности. Концептуальная основа этой методологии опирается на онтологии и понятия, возникающие в онтологических построениях. Это составляет сущность онтологического информационного моделирования. Многообразие моделей и информационных технологий порождает избыточные требования и правила обмена данными. Чтобы улучшить эту ситуацию в работе [9] использованы онтологические принципы. В [10] представлены результаты исследования, основанного на онтологии подхода к построению информационного моделирования для облегчения обмена информацией между различными приложениями предметной области. Подход основан на общей онтологии информационной сущности, которая моделирует типы элементов ИП и отношения между ними. Информационные системы, подлежащие интеграции, должны быть смоделированы с использованием общей онтологии; каждая область знаний добавляет свои собственные свойства элементов в общую онтологию. Существует точка зрения представления онтологии как прикладной системы.

В области искусственного интеллекта онтологию применяют для обобщения и уменьшения сложности [11] информации. Для онтологий применяют топологические модели, что существенно упрощает их анализ. Существуют онтологические модели, которые можно распространить на область

информационного поиска. Такие онтологические модели можно назвать онтологическими моделями информационного поиска. Все это говорит о важности онтологий в ИП и необходимости онтологического моделирования. Онтологическое моделирование [12] направлено на обобщение свойств ряда родственных моделей, нахождение закономерностей и знаний в этом обобщении. Информационный поиск [3] предшествует онтологическому моделированию. Информационный поиск в широком смысле слова означает часть научного исследования для получения знания. Исследование сочетания онтологического моделирования и информационного поиска является новым и актуальным.

## 1. МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Использован логически структурный подход анализа. Применены вторая и третья задачи информационного поиска, суть которых раскрывается ниже. Использованы метод качественно-количественных переходов, методы сравнительного и качественного анализа.

## 2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 2.1. Концептуальные схемы

Логический структурный подход подразумевает построение графических схем, которые в дальнейшем служат основой построения логических конструкций. В системе онтологического моделирования для сравнения целесообразно рассмотреть информационное моделирование и информационный поиск как связанные процессы моделирования. Концептуальная схема информационного моделирования показана на рис. 1.

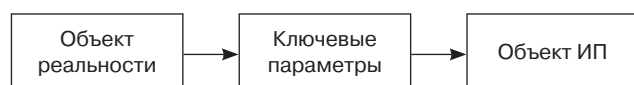


Рис. 1. Схема информационного моделирования

Основой моделирования является объект реальности, который на основе ключевых параметров, условий моделирования и поставленной задачи преобразуется в объект ИП. Синонимом объекта ИП является информационная модель. Структура модели информационного поиска показана на рис. 2.

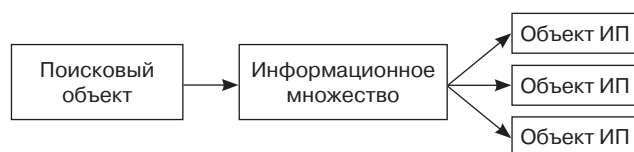


Рис. 2. Структура информационного поиска

Информационный поиск может выполняться с разными целями или задачами. Наиболее часто информационный поиск выполняют для того, чтобы найти один, нужный для пользователя объект. В первой задаче информационного поиска объект определяют из множества найденных объектов по релевантности признаков. Существует вторая задача информационного поиска – найти группу связанных между собой объектов. В третьей задаче информационного поиска необходимо найти отношения или связи внутри группы связанных между собой объектов. При онтологическом моделировании решают вторую и третью задачи поиска. Во всех случаях основой поиска является поисковая модель, которую также называют *паттерном*. Связанные объекты при решении второй и третьей задачи информационного поиска следует назвать *родственными объектами*.

Во второй и третьей задачах поиска создается дискретное множество объектов, имеющих общности. Паттерн порождает множество объектов ИП (рис. 2). Объекты ИП тождественны информационным моделям. Поэтому информационный поиск во второй и третьей задачах порождает множество информационных моделей, имеющих общности.

Сходство информационного поиска с информационным моделированием состоит в том, что в обеих технологиях формируют информационные модели. Одиночное информационное моделирование формирует одну информационную модель. Информационный поиск формирует совокупность информационных моделей. В этой совокупности на основе онтологического моделирования можно искать явные и неявные закономерности и связи. На рис. 3 приведена обобщенная модель онтологического моделирования.

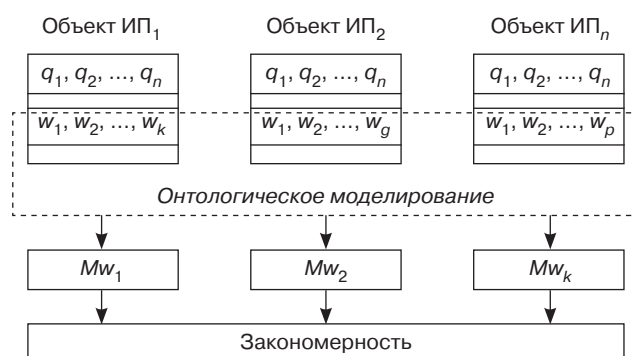


Рис. 3. Обобщенная модель онтологического моделирования

Здесь показаны 3 типа параметров: заданные или явные ( $q_1, q_2, \dots, q_n$ ); найденные или дополнительные ( $w_1, w_2, \dots, w_k$ ); обобщенные ( $Mw_1, Mw_2, \dots, Mw_k$ ).

Количество этих параметров обычно разное. Количество заданных параметров может быть больше или меньше количества найденных. Количество обобщенных параметров обычно меньше найденных и заданных.

## 2.2. Закономерности группировки родственных объектов

Родственными называют объекты, между которыми существуют общности и явные или скрытые связи. Необходимо различать понятия *закономерность*, *связь* и *функциональная зависимость*. Закономерность, как правило, есть мягкая качественная констатация. Она имеет логическую или вербальную форму представления. Например, повышение стоимости транспортного средства повышает стоимость перевозки грузов. Связь есть жесткая зависимость одной величины от другой или объектов между собой. Например, связь между вагонами в поезде осуществляется с помощью разных видов сцепок. Сцепки могут быть разными, но жесткая связь всегда присутствует. Функциональная зависимость есть связь, определенная в явной форме в виде аналитической формы. Любой известный закон – Кулона или всемирного притяжения – есть пример функциональной зависимости.

Одним из способов нахождения родственных объектов является информационный поиск в аспекте отмеченных выше второй и третьей задачи поиска. Информационный поиск начинается с формирования поисковой сущности с использованием когнитивных методов. Пользователь может сформировать морфологический образец и дополнить его альтернативными параметрами: тип, размер, дата создания файла и другими. Принципиальным является то, что образец поиска формируется морфологически, а не семантически.

Паттерн ( $Pat$ ) содержит параметры запроса  $\{q\}$ . Обозначение  $\{\}$  применяют для описания дискретной совокупности значений. В общем виде модель поиска может быть представлена как закономерность:

$$Pat\{q_i\} \rightarrow IR(IS) \rightarrow \{Ex_j\}, j = 1, \dots, m; i = 1, \dots, n. \quad (1)$$

Выражение (1) интерпретируется так. Запрос  $Pat\{q_i\}$  направляется в информационное множество ( $IS$ ) через технологию информационного поиска  $IR$ . В результате формируется дискретное множество  $\{Ex_j\}$ . Величина  $n$  задает количество параметров запроса. Величина  $m$  задает количество экземпляров, выделенных в информационном множестве на основе запроса. Существует закономерность:

$$\uparrow n \rightarrow \uparrow m \rightarrow \uparrow t. \quad (2)$$

Согласно (2) рост количества параметров запроса влечет рост числа экземпляров и увеличение времени поиска  $t$ . Такая закономерность приводит к необходимости минимизировать количество параметров поиска.

Поиск  $\{Ex_j\}$  как целостных объектов является объектным поиском. При этом результат запроса есть информационная модель или объект ИП, например, файл. Результат  $\{Ex_j\}$  есть совокупность родственных объектов для дальнейшего анализа.

## 2.3. Схемы моделирования

Онтологическое моделирование есть многоэтапный процесс в отличие от информационного моделирования (рис. 1). Онтологическое моделирование начинается с выделения группы объектов, имеющих общности. Одни вариант такого выделения связан с когнитивным моделированием. Другой вариант основан на использовании технологии информационного поиска в рамках задач 2 и 3. Такой информационный поиск можно представить, как процесс кластеризации гетерогенного множества.

Объектом поиска или кластеризации могут быть информационная модель, модель процесса, модель состояния, связи и неявные знания. Эти объекты имеют разные степени абстракции. Для задачи 1 имеет место индивидуальный поиск. Для задач 2 и 3 имеет место групповой поиск. При формировании запроса на групповой поиск используют опыт эксперта или когнитивные способности субъекта. Простейшая схема поиска приведена в выражении (1).

В выражении (1) присутствуют известные, заданные параметры  $(q_1, q_2, \dots, q_n)$ . Рассмотрим условно 5 экземпляров в группе. Вновь найденные параметры обозначим через  $(w_1, w_2, \dots, w_k)$ , где  $k$  – общее количество найденных параметров. В результате запроса имеем всего  $(n + k)$  параметров. Первый экземпляр группы имеет вид:

$$Ex_1(q_1, q_2, w_1, w_2, w_3, w_4). \quad (3)$$

Из выражения (3) видно, что первый экземпляр содержит 2 заданных и 4 найденных параметра. Все 6 параметров описывают первый экземпляр.

Второй экземпляр группы имеет вид:

$$Ex_2(q_1, q_3, w_6, w_5, w_2, w_4) \quad (4)$$

и также содержит 2 заданных и 4 найденных параметра. Но эти параметры отличаются: вместо  $q_2$  появился  $q_3$ , вместо  $w_2, w_3$  появились  $w_6, w_5$ . Все 6 параметров описывают второй экземпляр.



Третий экземпляр группы имеет вид:

$$Ex_3(q_1, q_3, q_n, w_1, w_3, w_6, w_8, w_4) \quad (5)$$

и содержит 3 заданных и 5 найденных параметров. Параметры отличаются от первого экземпляра. Дополнительно появился параметр  $q_n$ , вместо  $w_2$  появились  $w_6, w_8$ . Все 8 параметров описывают третий экземпляр.

Четвертый экземпляр группы имеет вид:

$$Ex_4(q_1, q_2, q_3, w_7, w_8, w_1, w_4) \quad (6)$$

и содержит 3 заданных и 4 найденных параметров. Параметры отличаются от первого экземпляра. Дополнительно появился параметр  $q_3$ , вместо  $w_2, w_3$  появились  $w_7, w_8$ . Все 7 параметров описывают четвертый экземпляр.

Пятый экземпляр группы имеет вид:

$$Ex_5(q_1, q_3, w_1, w_5, w_9, w_4) \quad (7)$$

и содержит 2 заданных и 4 найденных параметров. Параметры отличаются от первого экземпляра. Вместо параметра  $q_2$  появился  $q_3$ , вместо  $w_2, w_3$  появились  $w_5, w_9$ . Все 6 параметров описывают пятый экземпляр.

В чем недостаток описаний экземпляров группы? Исключено описание и влияние ситуации, в которой находятся объекты. Допустимо наличие разных видов отношений между параметрами. Следует выделить разные возможные типичные отношения между параметрами:

$$Re_1(q_1, q_2, q_3, \dots, q_n), \quad (8)$$

$$Re_2(q_1, q_2, w_1, \dots, w_i), \quad (9)$$

$$Re_3(w_1, w_2, \dots, w_k). \quad (10)$$

Выражение (8) говорит, что существуют отношения между параметрами запроса. Выражение (9) говорит, что существуют отношения между частью параметров запроса и частью новых найденных параметров. Выражение (10) говорит, что существуют отношения между найденными параметрами. Это возможные ситуации существования отношений.

Отношения служат основой установления возможных связей (*Con*) и функциональных зависимостей (*F*). По аналогии с (8)–(10) можно выделить 3 возможные группы связей:

$$Con_1(q_1, q_2, q_3, \dots, q_n), \quad (11)$$

$$Con_2(q_1, q_2, w_1, \dots, w_i), \quad (12)$$

$$Con_3(w_1, w_2, \dots, w_k). \quad (13)$$

Выражение (11) говорит о возможном существовании связей между параметрами запроса, выражение (12) – о возможном существовании связей между частью параметров запроса и частью новых найденных параметров, выражение (13) – о возможном существовании связей между найденными параметрами.

Наличие связей может привести к функциональной зависимости, например, для выражения (12) и (13) может появиться функциональная зависимость типа:

$$\begin{aligned} Con_2(q_1, q_2, w_1, \dots, w_i) \rightarrow \\ \rightarrow Y = F_2(q_1, q_2, w_1, \dots, w_i), \end{aligned} \quad (14)$$

$$Con_3(w_1, w_2, \dots, w_k) \rightarrow Y = F_3(w_1, w_2, \dots, w_k). \quad (15)$$

Выражения (14) и (15) называют качественно-количественным переходом. С левой стороны стоит константа или логическое выражение, которое служит основой для формирования функциональной зависимости. Функциональная зависимость указана справа. Выражение (14) выдвигает гипотезу, что связи между разными параметрами могут приводить к образованию функциональной зависимости между разными параметрами. Выражение (15) выдвигает гипотезу, что связи между новыми параметрами могут приводить к образованию функциональной зависимости между новыми параметрами. Выражения (14), (15) можно рассматривать как новое знание. Такие функции появились после выявления новых параметров.

Онтологическое моделирование осуществляют на основе дополнительного анализа. Например, анализ экземпляров в выражениях (3)–(7) показывает устойчивость появления параметров  $q_1, w_1, w_4$ . Это дает основание предположить, что данные параметры являются общими характеристиками для разных экземпляров. Они характеризуют общность. Эта общность выявлена на группе моделей, связанных общей тематикой. Общая тематика организуется либо по принципу «от частного к общему» (информационный поиск), либо по принципу «от общего к частному» (кластерный анализ).

Результат дальнейшего онтологического моделирования является трехуровневым. На первом уровне определяют и выделяют метапараметры. Для выражений (3)–(7) это  $q_1, w_1, w_4$  и возможны новые мета-параметры как функции:

$$Mw_1 = \varphi_1(\{q\}, \{w\}), \quad (16)$$

$$Mw_2 = \varphi_2(\{q\}, \{w\}), \quad (17)$$

$$Mw_3 = \varphi_3(\{q\}, \{w\}). \quad (18)$$

Количество и состав аргументов в функциях  $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$  разные, и можно сделать обобщение:

$$(\{q\}, \{w\}) \rightarrow Mw_k. \quad (19)$$

В выражении (19)  $Mw$  – метапараметры, количество которых равно  $k$ .

После получения метапараметров находят отношения между ними. Это второй этап онтологического моделирования:

$$(Mw_1, Mw_2, \dots, Mw_k) \rightarrow ReW. \quad (20)$$

В выражении (20)  $ReW$  есть неявные отношения между метапараметрами, невидимые первоначально по параметрам  $q, w$  и определяемые только по метапараметрам. Новые отношения  $ReW$  дают основание искать и устанавливать новые связи:

$$(Mw_1, Mw_2, \dots, Mw_k) \rightarrow ConMw \rightarrow \psi(\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_k). \quad (21)$$

В выражении (21)  $ConMw$  – неизвестные ранее связи,  $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_k$  – функции метапараметров,  $\psi$  – онтологическая функция.

Выражение (21) описывает новую зависимость. Эта зависимость является неявной до начала онтологического моделирования и выявляется только на его третьем этапе.

### 3. ОБСУЖДЕНИЕ

Онтологическое моделирование проводят на конкретных объектах или моделях. Для него необходимы родственные или связанные модели. Пока такое понятие не применяют в теории онтологического моделирования. В тоже время, это обязательное условие онтологического моделирования. Онтологический анализ моделей, которые никак не связаны, не даст достоверного результата. Онтологический анализ и онтологическое моделирование связанных внутренними свойствами моделей приводит к получению новых закономерностей и новых знаний. Онтологическое информационное моделирование на связанных моделях является одним из методов извлечения неявных знаний [13].

Важной особенностью онтологического информационного моделирования является влияние когнитивных факторов на результат моделирования. Когнитивное моделирование требуется на стадии формирования запроса на поиск родственных моделей. Это обстоятельство также слабо учитывают в теории онтологии. Недостатком когнитивного подхода является то, что когнитивные факторы создают неоднозначность формирования поискового запроса и, соответственно, неоднозначность формирования родственных моделей.

Онтологическое информационное моделирование использует модель ИП [14, 15], и само является технологией ИП. Информационное поле создает интегральную модель реальности со всеми внутренними связями и отношениями. Это дает возможность их находить с применением онтологического информационного моделирования. Преимущество ИП в том, что оно содержит все внутренние связи и отношения. Это повышает адекватность онтологического моделирования.

В настоящее время на моделирование и особенно на онтологическое моделирование влияет проблема больших данных. При онтологическом моделировании возникает необходимость кластеризации с использованием больших данных [16]. Кроме того, возникает задача интеллектуального анализа данных с учетом их объема [17]. Для этой цели необходимы специальные методы. Поэтому современные методы онтологического моделирования включают дополнительно алгоритмы обработки больших данных.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Онтологическое моделирование выполняют только на моделях, которые имеют внутреннюю общность и внутренние связи. Онтологическое моделирование и информационный поиск связаны. Их можно рассматривать как единую составную технологию. Информационный поиск в составной технологии является предварительным этапом. Он служит для выбора связанных моделей, которые являются основой последующего онтологического анализа. Онтологическое моделирование в этой составной технологии находит закономерности и функциональные зависимости. Фактически это метод получения нового знания. В процессе данного исследования уточнились понятия закономерности и функциональной зависимости. Установлено, что между ними существуют качественно-количественные переходы. Закономерность выражается с помощью логических описаний. Отношением закономерности является следование, основным отношением функциональной зависимости является эквивалентность. Закономерность дает качественное описание и качественные оценки. Функциональная зависимость позволяет количественно оценивать внутренние связи.

В данной работе для получения родственных моделей предложена технология информационного поиска в расширенном понимании группового поиска. Как альтернативу можно использовать кластерный анализ, но это предмет исследования другой работы.

**Вклад авторов.** Все авторы в равной степени внесли свой вклад в исследовательскую работу.

**Authors' contribution.** All authors equally contributed to the research work.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gigi M., Tzfadia E. Frontieriphery: An anti-positivist ontological approach to intersectional investigation. *Ethnopolitics*. 2023;23(4):1–17. <http://doi.org/10.1080/17449057.2023.2176586>
2. Bader S., Pullmann J., Mader C., et al. The international data spaces information model—an ontology for sovereign exchange of digital content. In: Pan J.Z., et al. *The Semantic Web – ISWC 2020. ISWC 2020. Series: Lecture Notes in Computer Science*. Springer; 2020. V. 12507. P. 176–192. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-62466-8\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-030-62466-8_12)
3. Lin J., Ma X., Lin S.C., et al. Pyserini: A Python toolkit for reproducible information retrieval research with sparse and dense representations. In: *Proceedings of the 44th International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval*. 2021. P. 2356–2362. <https://doi.org/10.1145/3404835.3463238>
4. Кудж С.А. *Информационное поле*. М.: МАКС Пресс; 2017. 97 с. ISBN 978-5-317-05530-1
5. Bolbakov R.G., Sinitsyn A.V., Tsvetkov V.Ya. Onomasiological modeling in the information field. *J. Phys.: Conf. Ser. The Third International Conference on Metrological Support of Innovative Technologies (ICMSIT-III-2022)*. 2022;2373(2):2201. <http://doi.org/10.1088/1742-6596/2373/2/022010>
6. Sánchez-Zas C., Villagra V., Vega-Barbas M., et al. Ontology-based approach to real-time risk management and cyber-situational awareness. *Future Gener. Comput. Syst.* 2023;141(2):462–472. <https://doi.org/10.1016/j.future.2022.12.006>
7. Milton S., Kazmierczak E., Thomas L. Ontological foundations of data modeling in information systems. In: *AMCIS 2000 Proceedings*. 2000. P. 292. URL: <https://aisel.aisnet.org/amcis2000/292>
8. Lu W., Xiong N., Park D.S. An ontological approach to support legal information modeling. *J. Supercomput.* 2012;62:53–67. <https://doi.org/10.1007/s11227-011-0647-8>
9. Lee Y.C., Eastman C.M., Solihin W. An ontology-based approach for developing data exchange requirements and model views of building information modeling. *Adv. Eng. Informatics*. 2016;30(3):354–367. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2016.04.008>
10. Karshenas S., Niknam M. Ontology-based building information modeling. *Comput. Civil Eng.* 2013;2013:476–483. <https://doi.org/10.1061/9780784413029.060>
11. Сигов А.С., Цветков В.Я., Рогов И.Е. Методы оценки сложности тестирования в сфере образования. *Russian Technological Journal*. 2021;9(6):64–72. <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2021-9-6-64-72>
12. Kogalovsky M.R., Kalinichenko L.A. Conceptual and ontological modeling in information systems. *Program. Comput. Soft.* 2009;35:241–256. <https://doi.org/10.1134/S0361768809050016>
13. Сигов А.С., Цветков В.Я. Неявное знание: оппозиционный логический анализ и типологизация. *Вестник Российской Академии Наук*. 2015;85(9):800–804. <https://doi.org/10.7868/S0869587315080319>
14. Ostrom T.M., Pryor J.B., Simpson D.D. The organization of social information. In: *Social Cognition*. Routledge; 2022. P. 3–38.
15. Tsvetkov V.Ya., Romanchenko A., Tkachenko D., et al. The Information Field as an Integral Model. In: Silhavy R., Silhavy P. (Eds.). *Software Engineering Research in System Science. CSOC 2023. Series: Lecture Notes in Networks and Systems*. Springer. 2023;722:174–183. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-35311-6\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-031-35311-6_19)
16. Ikotun A.M., Ezugwu A.E., Abualigah L., et al. K-means clustering algorithms: A comprehensive review, variants analysis, and advances in the era of big data. *Inf. Sci.* 2023;622(11):178–210. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2022.11.139>
17. Thayyib P.V., Mamilla R., Khan M., et al. State-of-the-art of artificial intelligence and big data analytics reviews in five different domains: a bibliometric summary. *Sustainability*. 2023;15(5):4026. <https://doi.org/10.3390/su15054026>

## REFERENCES

1. Gigi M., Tzfadia E. Frontieriphery: An anti-positivist ontological approach to intersectional investigation. *Ethnopolitics*. 2023;23(4):1–17. <http://doi.org/10.1080/17449057.2023.2176586>
2. Bader S., Pullmann J., Mader C., et al. The international data spaces information model—an ontology for sovereign exchange of digital content. In: Pan J.Z., et al. *The Semantic Web – ISWC 2020. ISWC 2020. Series: Lecture Notes in Computer Science*. Springer; 2020. V. 12507. P. 176–192. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-62466-8\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-030-62466-8_12)
3. Lin J., Ma X., Lin S.C., et al. Pyserini: A Python toolkit for reproducible information retrieval research with sparse and dense representations. In: *Proceedings of the 44th International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval*. 2021. P. 2356–2362. <https://doi.org/10.1145/3404835.3463238>
4. Kudzh S.A. *Informacionnoe pole (Information Field)*. Moscow: MAKSS Press; 2017. 97 p. (in Russ.). ISBN 978-5-317-05530-1
5. Bolbakov R.G., Sinitsyn A.V., Tsvetkov V.Ya. Onomasiological modeling in the information field. *J. Phys.: Conf. Ser. The Third International Conference on Metrological Support of Innovative Technologies (ICMSIT-III-2022)*. 2022;2373(2):2201. <http://doi.org/10.1088/1742-6596/2373/2/022010>
6. Sánchez-Zas C., Villagra V., Vega-Barbas M., et al. Ontology-based approach to real-time risk management and cyber-situational awareness. *Future Gener. Comput. Syst.* 2023;141(2):462–472. <https://doi.org/10.1016/j.future.2022.12.006>
7. Milton S., Kazmierczak E., Thomas L. Ontological foundations of data modeling in information systems. In: *AMCIS 2000 Proceedings*. 2000. P. 292. Available from URL: <https://aisel.aisnet.org/amcis2000/292>
8. Lu W., Xiong N., Park D.S. An ontological approach to support legal information modeling. *J. Supercomput.* 2012;62:53–67. <https://doi.org/10.1007/s11227-011-0647-8>



9. Lee Y.C., Eastman C.M., Solihin W. An ontology-based approach for developing data exchange requirements and model views of building information modeling. *Adv. Eng. Informatics*. 2016;30(3):354–367. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2016.04.008>
10. Karshenas S., Niknam M. Ontology-based building information modeling. *Comput. Civil Eng.* 2013;2013:476–483. <https://doi.org/10.1061/9780784413029.060>
11. Sigov A.S., Tsvetkov V.Ya., Rogov I.E. Method for assessing testing difficulty in educational sphere. *Russian Technological Journal*. 2021;9(6):64–72. <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2021-9-6-64-72>
12. Kogalovsky M.R., Kalinichenko L.A. Conceptual and ontological modeling in information systems. *Program. Comput. Soft.* 2009;35:241–256. <https://doi.org/10.1134/S0361768809050016>
13. Sigov A.S., Tsvetkov V.Ya. Tacit knowledge: Oppositional logical analysis and typologization. *Her. Russ. Acad. Sci.* 2015;85(5):429–433. <https://doi.org/10.1134/S1019331615040073>  
[Original Russian Text: Sigov A.S., Tsvetkov V.Ya. Tacit knowledge: Oppositional logical analysis and typologization. *Vestnik Rossiiskoi Akademii Nauk*. 2015;85(9):800–804 (in Russ.). <https://doi.org/10.7868/S0869587315080319> ]
14. Ostrom T.M., Pryor J.B., Simpson D.D. The organization of social information. In: *Social Cognition*. Routledge; 2022. P. 3–38.
15. Tsvetkov V.Ya., Romanchenko A., Tkachenko D., et al. The Information Field as an Integral Model. In: Silhavy R., Silhavy P. (Eds.). *Software Engineering Research in System Science. CSOC 2023. Series: Lecture Notes in Networks and Systems*. Springer. 2023;722:174–183. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-35311-6\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-031-35311-6_19)
16. Ikotun A.M., Ezugwu A.E., Abualigah L., et al. K-means clustering algorithms: A comprehensive review, variants analysis, and advances in the era of big data. *Inf. Sci.* 2023;622(11):178–210. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2022.11.139>
17. Thayyib P.V., Mamilla R., Khan M., et al. State-of-the-art of artificial intelligence and big data analytics reviews in five different domains: a bibliometric summary. *Sustainability*. 2023;15(5):4026. <https://doi.org/10.3390/su15054026>

## Об авторах

**Цветков Виктор Яковлевич**, д.т.н., д.э.н., профессор, профессор кафедры инструментального и прикладного программного обеспечения, Институт информационных технологий, ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 78). Лауреат Премии Президента РФ, Лауреат Премии Правительства РФ, академик Российской академии информатизации образования, академик Российской академии космонавтики им. К.Э. Циолковского. E-mail: cvj2@mail.ru. Scopus Author ID 56412459400, ResearcherID J-5446-2013, SPIN-код РИНЦ 3430-2415, <http://orcid.org/0000-0003-1359-9799>

**Курдюков Никита Сергеевич**, аспирант, кафедра инструментального и прикладного программного обеспечения, Институт информационных технологий, ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 78). E-mail: nskurdyukov@gmail.com. SPIN-код РИНЦ 8535-1612, <https://orcid.org/0000-0001-6784-3369>

## About the authors

**Viktor Ya. Tsvetkov**, Dr. Sci. (Eng.), Dr. Sci. (Econ.), Professor, Department of Instrumental and Applied Software, Institute of Information Technologies, MIREA – Russian Technological University (78, Vernadskogo pr., Moscow, 119454 Russia). Laureate of the Prize of the President of the Russian Federation, Laureate of the Prize of the Government of the Russian Federation, Academician at the Russian Academy of Education Informatization, Academician at the K.E. Tsiolkovsky Russian Academy of Cosmonautics. E-mail: cvj2@mail.ru. Scopus Author ID 56412459400, ResearcherID J-5446-2013. RSCI SPIN-code 3430-2415, <http://orcid.org/0000-0003-1359-9799>

**Nikita S. Kurdyukov**, Postgraduate Student, Department of Instrumental and Applied Software, Institute of Information Technologies, MIREA – Russian Technological University (78, Vernadskogo pr., Moscow, 119454 Russia). E-mail: nskurdyukov@gmail.com. RSCI SPIN-code 8535-1612, <https://orcid.org/0000-0001-6784-3369>