

**ИЗОМОРФНОСТЬ
ОБОБЩЕННОЙ И КОНКРЕТИЗИРОВАННЫХ ОНТОЛОГИЙ
ДИСПЕТЧЕРСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ**

Я.А. Ивакин

При определенном уровне абстракции в рассмотрении диспетчерской деятельности для различных видов пространственных процессов можно выделить обобщенную онтологию такой деятельности. Тезис об изоморфности обобщенной и конкретизированных онтологий диспетчерской деятельности определяет возможности упрощения разработки систем интеллектуальной поддержки в геоинформационной системе. Рассмотрению теоретической общности и условий обеспечения указанной изоморфности посвящена данная статья

Ключевые слова: информационные системы, автоматизированные системы, диспетчеризация пространственных процессов, геоинформационные системы, искусственный интеллект, онтологии

Keywords: the intelligence systems, the automatized systems, dispatching of space processes, intelligence systems, artificial intelligence, ontologies

Существующий подход к классификации автоматизированных систем позволяет выделить во всем многообразии современных систем управления их особый вид – автоматизированные системы диспетчеризации пространственных процессов (АСДПП). Роль диспетчерского пункта в АСДПП как центрального звена в принятии управленческих решений предъявляет высокие требования к прикладному программному обеспечению поддержки диспетчерских решений. Стоящая перед диспетчерскими службами необходимость постоянного анализа физико-географических и метеорологических условий протекания пространственных процессов, моделирования их развития с учетом реальных фактов и событий обстановки предопределила базисную роль геоинформационных технологий и программных средств (ГИС) в составе прикладного программного обеспечения диспетчерских пунктов АСДПП. При этом важное значение имеет представление и анализ не только пространственного расположения (характерно для традиционного, бумажного картографирования), но и временной изменчивости происходящих явлений, процессов – их состояния, структуры, взаимосвязей и функционирования.

Практика показывает, что для интеллектуальной поддержки решаемых в ГИС-приложениях диспетчерских задач в состав геоинформационных систем необходимо включать элементы и технологии искусственного интеллекта, в частности, экспертные системы. Геоинформационная система с интегрированными средствами искусственного интеллекта определена термином «интеллектуальная ГИС» (ИГИС). Интеграция в ГИС подсистем основанных на знаниях (в том числе экспертных систем), с позиций современных технологий, невозможна без использования развитых онтологий соответствующих предметных областей. Онтология S диспетчерской деятельности T в наиболее общем ее понимании есть совокупность основных понятий этой деятельности H и связей между ними Θ :

$$S = \langle H, \Theta \rangle \quad (1)$$

Она необходима для разработки систем интеллектуальной поддержки в ГИС-приложениях, используемых на диспетчерских пунктах АСДПП.

Рассмотрение темы, вынесенной в заглавие, необходимо начать с конкретизации понятия диспетчерской деятельности T , ее онтологии S на основании концепции метаданных. При этом под диспетчерской деятельностью в данной работе понимается особый вид профессиональной деятельности по управлению протеканием пространственных процессов в соответствии с установленным регламентом (стандартом выполнения, штатом и пр.). При этом диспетчерская деятельность (диспетчеризация) понимается как особый вид управле-

ния, некоторая специфическая составляющая. Под управлением в целом в контексте данной работы понимается упорядоченная совокупность воздействий на объект управления с целью максимизации эффекта в достижении сложной интегральной цели системы. При этом управление является сложным многоэтапным процессом, учитывающим множество различных аспектов в функционировании системы: экономическая целесообразность, безопасность функционирования и др. Диспетчеризация – это частный аспект управления, связанный с обеспечением максимизации только одной (приоритетной, требующей непрерывного воздействия) составляющей в цели функционирования системы. Например, в качестве системы выступает искусственный морской канал со сложными навигационными условиями, работающий под управлением соответствующей администрации. Администрация этого канала решает задачу управления им с целью получения безопасного трафика для всех кораблей и судов, идущих по этому каналу. При этом администрация обеспечивает поддержание и наращивание пропускных возможностей канала, обеспечивает экономическую прибыльность своей деятельности и др. Общее управление таким каналом осуществляет глава администрации. Приоритетной составляющей в деятельности администрации канала является безопасность движения судов на канале. Для решения достижения необходимого эффекта по этой составляющей создана специальная диспетчерская служба. Диспетчер непосредственно управляет движением судов по рассматриваемому каналу, и вся его деятельность направлена на обеспечение регламентного режима функционирования канала. В свою очередь, действующий регламент может отражать воздействия других служб администрации по максимизации других аспектов функционирования канала, но для диспетчерской деятельности это является внешним фактором.

Диспетчеризация является следствием необходимости снизить сложность в рассмотрении объекта управления для обеспечения заданного уровня соответствующих параметров управления.

Приведенное выше представление диспетчерской деятельности позволяет рассматривать ее как процесс выявления нештатных (нестандартных) ситуаций в протекании всей совокупности диспетчеризируемых пространственных процессов, т.е. под штатной (стандартной) ситуацией понимается ситуация, соответствующая установленному регламенту протекания пространственных процессов, а под нештатной (нестандартной) – не соответствующая. Целью диспетчерской деятельности является своевременное выявление и предотвращение нештатных (нестандартных) ситуаций (либо их наступивших последствий) на совокупности контролируемых пространственных процессов. Совокупность контролируемых пространственных процессов может быть ограничена в пространстве, времени или по номенклатуре контролируемых объектов.

При формализованной постановке ситуация представляется как числовой вектор $x = (x_1, \dots, x_n)$, $x_i \in R^1$, содержащий совокупность параметров, описывающих состояние объектов (участников) ситуации. Тогда штатная ситуация – это ситуация, при которой значения соответствующего числового вектора лежат в допустимых, с точки зрения регламента, пределах; соответственно, нештатная – ситуация, при которой значения числового вектора выпадают из допустимых пределов.

Обобщенная и конкретизированные онтологии диспетчерской деятельности

Интеллектуальную геоинформационную систему можно отнести к классу сложных распределенных систем поддержки принятия решения. Разработка таких систем представляет значительную сложность и требует высоких затрат временных и человеческих ресурсов.

Одной из особенностей ИГИС является то, что в прогнозируемый период жизненного цикла системы круг решаемых ею задач будет расширяться (изменяться). Это не позволяет четко описать требования к системе, перечислить всю совокупность классов предметной области и, наконец, написать программу их реализации.

Одним из путей устранения вышеуказанного недостатка может являться использование концепции метаданных. Реализацией данной концепции является четырехуровневая модель метаданных [10], приведенная в таблице.

Таблица

Четырехуровневая модель метаданных

Уровень	Название	Пример
Уровень 3	Мета-метакласс	Порядок описания структур: <Тип структуры> ("<Имя структуры>") [<атрибут структуры ("название атрибута", значение атрибута)], [...]]
Уровень 2	Метакласс	Метакласс ("Класс" [метаатрибут ("имя", строка), метаатрибут ("поля", список полей)]) Метакласс ("Поле" ...)
Уровень 1	Класс	Класс ("Корабль", [поле ("Имя", строка), поле ("широта", строка), поле ("долгота", строка), поле ("курс", число), поле ("скорость", число)])
Уровень 0	Объект	Корабль ("Крузенштерн", "44.39N", "33.11O", "224", "14")

Метаданные – это данные, описывающие организацию других данных. При этом совокупность значений свойств объекта является конкретными данными. Прежде чем станет возможным создание программной модели объекта некоторого класса, необходимо описать данный класс объектов, т.е. привести описание того, сколько свойств будут иметь объекты данного класса, каких типов должны быть эти свойства, какой у них возможен диапазон значений и т.д. Таким образом, спецификация класса представляет собой метаданные программных объектов. В дальнейшем эти метаданные используются для создания конкретных программных объектов, выделения под них оперативной памяти и дальнейшего ее освобождения, присваивания конкретных значений свойствам и т.д.

Следующим уровнем модели метаданных являются метаклассы. Метаклассы описывают и хранят информацию о классах. Экземплярами метаклассов, соответственно, являются классы, структуры, записи, объединения, множества и другие сложные типы данных. Метаклассы содержат информацию об имени классов, совокупности его свойств, типах каждого из свойств и т.д. Метаклассы используются для описания классов и отношений между ними в моделях программных систем. Здесь необходимо отметить, что именно система метаклассов-классов-объектов в их семантической взаимосвязи и является онтологией.

Последний уровень – это уровень метаметаклассов. Этот уровень используется для задания форматов описания метаклассов.

Для описания метаклассов в настоящее время разработано большое количество языков. Первоначально это был RDF (Resource Description Framework), язык универсального описания ресурсов [11]. Развитием RDF в направлении описания метаданных стал язык OWL (Web Ontology Language) [12], в отличие от RDF специально предназначенный для обмена метаданными моделями программных систем между инструментальными средствами моделирования через сеть интернет. Также это язык DAML (DARPA Agent Markup Language), который расширяет RDF более выразительными конструкциями, предназначенными для облегчения взаимодействия агентов в сети. С помощью этих языков можно описать любую онтологию предметной области. Язык WSDL (Web Services Description Language) разработан для описания правил и форматов вызовов функций сетевых служб [12].

Разработка онтологии необходима для:

- 1) совместного использования данных людьми или программными компонентами;
- 2) общего понимания структуры информации;
- 3) возможности повторного использования знаний в предметной области;

- 4) чтобы сделать допущения в предметной области явными;
- 5) отделения знаний предметной области от оперативных знаний;
- 6) анализа знаний предметной области.

Совместное использование людьми или программными компонентами общего понимания структуры информации является одной из наиболее общих целей разработки онтологий [9]. Обеспечение возможности широкого использования знаний предметной области стало одной из движущих сил недавнего всплеска в изучении онтологий. Таким образом, если одна группа разработчиков детально разработает какую-либо онтологию, то другие могут повторно использовать ее в своих проектах и предметных областях. Кроме того, если нужно создать большую онтологию, то можно интегрировать несколько существующих онтологий, описывающих части большой предметной области. Также можно повторно использовать основную онтологию, такую как универсальный классификатор, и расширить ее для описания интересующей предметной области.

Принятие явных допущений в предметной области, лежащих в основе реализации, дает возможность легко изменить эти допущения при изменении знаний о предметной области. Жесткое кодирование предположений о мире на языке программирования приводит к тому, что эти предположения не только сложно найти и понять, но и сложно изменить, особенно не программисту. Кроме того, явные спецификации знаний в предметной области полезны для новых пользователей, которые должны узнать значения терминов предметной области.

Онтология предметной области сама по себе не является целью. Разработка онтологии есть определение набора данных и их структуры для использования другими программами. Методы решения задач, программные компоненты используют в качестве данных онтологии и базы знаний, построенные на основе этих онтологий.

Это предоставляет следующие преимущества:

- классы объектов предметной области и отношения между ними описываются не как программный код, а как данные, что значительно повышает гибкость программной системы и возможности ее адаптации к изменению требований;
- изменение характеристик класса не влечет за собой необходимости изменения программного кода системы, вследствие чего упрощается процесс сопровождения библиотек классов;
- библиотеки классов могут храниться в базе данных, при этом структура базы данных системы становится проще и не требует коррекции при изменении описания классов.

Таким образом, онтология определяет общий словарь, который необходим для совместного использования информации о предметной области и является системой метаклассов, используемых для описания классов, классов как таковых и отношений между ними в моделях программных систем. Она включает машинно-интерпретируемые формулировки основных понятий предметной области и отношения между ними. Использование метаданных для описания классов и объектов предметной области позволяет повысить степень адаптации ИГИС к изменению требований, упростить процесс сопровождения системы и наращивания его функциональности, снизить временные ресурсы на его разработку.

Как видно из приведенного выше описания, онтология в наиболее полном ее понимании содержит в себе многоуровневое представление предметной области: от объектов до мета-метаклассов. Внимание данной работы сосредоточено на рассмотрении уровней классов и объектов. Будет проведен анализ двух онтологий содержащих:

1) конкретные классы и объекты этих классов, соответствующие конкретным понятиям предметной области (например: банк Гоксхольм, остров Гогланд, фарватер № 5, корабль «Крузенштерн»);

2) абстрактные классы, соответствующие обобщенным понятиям предметной области (например: навигационная опасность, ориентир, канал, объект диспетчеризации).

Представление предметных областей диспетчерской деятельности, соответствующее первому из приведенных выше уровней, далее в работе понимается как конкретизированная онтология диспетчерской деятельности, а соответствующее второму уровню – обобщенная онтология диспетчерской деятельности.

Создание АСДПП, средств автоматизации диспетчерской деятельности, ГИС с системами интеллектуальной поддержки диспетчеров и, соответственно, онтологий диспетчерской деятельности осуществляется в различных ведомствах и отраслях самостоятельными путями, во многом на основе эмпирического опыта. Основной значимой причиной такого положения дел признается различность видов диспетчеризируемых пространственных процессов, например, таких как движение городского транспорта, железнодорожный транспорт, морские перевозки, полеты авиации и пр. Различие диспетчеризируемых пространственных процессов в совокупности с различием видов географического пространства позволяют говорить о различных предметных областях диспетчерской деятельности.

Конкретизированные онтологии на уровне программных приложений для различных предметных областей диспетчерской деятельности будут различными. Однако при определенном уровне абстракции в рассмотрении диспетчерской деятельности можно выделить обобщенную онтологию, инвариантную к виду диспетчеризируемых пространственных процессов и видам географического пространства.

Обобщенная онтология диспетчерской деятельности – это именно онтология диспетчерской деятельности безотносительно к предметной области этой деятельности, на обобщенном уровне абстракции. В отличие от конкретизированной онтологии, описываемой в понятиях строго определенной предметной области (корабли, фарватеры, точки поворота и др.), обобщенная онтология описывается именно в абстрактных терминах диспетчерской деятельности как таковой (управляемые объекты, пространственные процессы, регламенты протекания пространственных процессов, стандартное (штатное) протекание этих процессов и нестандартные (нештатные) ситуации, др.). Такое описание диспетчерской деятельности в абстракциях позволяет конкретизировать в дальнейшем такое представление и на управление потоками газа в системе газопроводов, и на морской транспорт, а при определенном уточнении и на любую предметную область, где возможно выделить некоторый стандарт развития возможных ситуаций.

Именно в процессе разработки программного обеспечения для диспетчерских пунктов совершенно разных предметных областей и было выявлено то, что соответствующие им онтологии в абстрактной основе своей совпадают. И только на этапе конкретизации классов вытекает специфика предметной области. Задача данной работы на теоретическом уровне показать, что необходимо создавать онтологию для новых проектов программного обеспечения диспетчерских автоматизированных систем управления не полному циклу разработки, а путем выделения абстрактной онтологии диспетчерской деятельности, чтобы начинать синтез онтологии создаваемой системы сразу с конкретизации выделенной обобщенной онтологии.

Таким образом, обобщенная онтология может явиться системологической основой для разработки конкретизированных онтологий при создании новых АСДПП и модернизации программного обеспечения существующих автоматизированных диспетчерских систем. Прирост эффективности в разработке конкретизированных онтологий диспетчерской деятельности для различных предметных областей возможен только при их изоморфности (взаимной однозначности) обобщенной онтологии. Это определяет необходимость теоретического обоснования следующего тезиса.

Предложение 1. Конкретизированные онтологии диспетчерской деятельности для различных видов пространственных процессов и видов географического пространства изоморфны к обобщенной онтологии, а их структуры гомеоморфны.

Это предложение можно обосновать с необходимым уровнем теоретического обобщения на базе логико-алгебраического описания онтологий диспетчерской деятельности с помощью аппарата теории категорий путем:

- представления обобщенной онтологии и классов конкретизированных онтологий в виде соответствующих категорий (задание категорной модели онтологии диспетчерской деятельности);
- заданием функтора, описывающего соответствие между введенными выше категориями;
- определением и доказательством наличия необходимых и достаточных условий свойства изоморфности заданного функтора в рамках категорной модели онтологии диспетчерской деятельности.

Категорная модель онтологии диспетчерской деятельности

Решение задачи обеспечения теоретического уровня обобщения в обосновании *Предложения 1* базируется на логико-алгебраическом рассмотрении сущности представления предметной области в конкретизированных и обобщенной онтологиях. Это позволяет применить ряд фундаментальных теоретических результатов формальной алгебры и математической логики, их междисциплинарных теорий (теории моделей, теории категорий и пр.) для аналитического описания онтологии [5]. Обобщенное логико-алгебраическое представление онтологии заключается в следующем.

1. Всякая конкретизированная онтология S предметной области T рассматривается как алгебраическая система вида

$$T \Rightarrow S : \quad S = \langle R, Y, \Omega \rangle \quad (2)^*$$

где R – класс (в алгебраическом понимании этого термина, приведенном, например в работе [2]) всех идентификаторов и множеств, на которых они определены, описывающих совокупность H -понятий предметной области. Множества класса R определяются либо как логические высказывания, соответствующие определенным алгебрам, либо как подмножества одного из фундаментальных множеств (R – множество вещественных чисел, N – множество натуральных чисел и др.); Y – совокупность заданных операций на указанных множествах; Ω – множество отношений между множествами класса R .

* В определении элементов выражения (2) использовано слово «класс» вместо слова «множество» для того, чтобы избежать парадоксов теории множеств, т.е. класс не есть множество, так как множество осознается в алгебраическом смысле как нечто единое, а класс нет. Вместе с тем элемент a принадлежит некоторому классу A ($a \in A$), если он удовлетворяет некоторому определению элементов этого класса [4]. Аналогично в алгебраическом смысле следует понимать термин «класс» ниже по тексту, не путая его с одноименной категорией объектно-ориентированного подхода.

Очевидно, что отношения $\Omega = \langle \omega_1, \omega_2, \dots, \omega_p \rangle$ есть алгебраическое представление соответствий, задаваемых между различными понятиями системой связей Θ из (1), т.е. в данном представлении каждая обусловленная в предметной области T связь между двумя понятиями рассматривается как отображение одного понятия в другое понятие или соответствующее ему множество объектов предметной области. При этом необходимо оговорить, что под отображением некоторого понятия C (или ему соответствующего множества конкретных объектов предметной области) в понятие B понимается задаваемое по какому-либо правилу соответствие, такое, что каждому элементу $x \in C$ соответствует элемент $y \in B$, причем только один.

2. Аналогично (2) рассматривается обобщенная онтология S' на заданном уровне абстракции $I(T)$ предметной области T :

$$I(T) \Rightarrow S' : \quad S' = \langle R', Y', \Omega' \rangle \quad (3)$$

Более общие понятия всегда являются обобщением совокупностей более конкретных понятий предметной области, в силу чего

$$R \neq R' \quad (4)$$

3. Отношения $\omega_i \in \Omega$ и $\omega'_i \in \Omega'$ рассматриваются как морфизмы, и тогда сами множества S как категория, описывающая конкретизированную онтологию, и S' как категория, описывающая обобщенную онтологию. Данное рассмотрение следует пояснить подробнее – в соответствии с определением категории из работы [1]. Считается, что категория S задана, если заданы:

- класс $Ob(S)$, называемый классом объектов категории S (в данном случае $Ob(S) = R$), элементы которого называются объектами категории S и обозначаются буквами $r', r'', \dots, r^i \dots$

- для каждой пары объектов (r', r'') множество $Mor_S(r', r'')$, такое, что для различных пар объектов $(r', r'') \neq (r^i, r^j)$ верно:

$$Mor_S(r', r'') \cap Mor_S(r^i, r^j) = \emptyset \quad (5)$$

где \emptyset – пустое множество.

Элементы множества $Mor_S(r', r'')$ называются морфизмами из r' в r'' и обозначаются буквами $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_p$. (В нашем случае $Mor_S(r', r'') = \Omega$; $Mor_{S'}((r')', (r'')') = \Omega'$);

- для каждой тройки объектов (r', r'', r''') задано отображение

$$Mor_S(r'', r') \times Mor_S(r', r''') \supset ((\omega_k, \omega_t) \rightarrow \omega_k \omega_t) \in Mor_S(r'', r''') \quad (6)$$

называемое умножением (или композицией) морфизмов, для которого:

1. Выполняется закон ассоциативности:

$$\omega_k (\omega_t \omega_p) = (\omega_k \omega_t) \omega_p \quad (7)$$

для всех $\omega_k \in Mor_S(r', r'')$, $\omega_t \in Mor_S(r'', r''')$, $\omega_p \in Mor_S(r''', r''''')$;

2. Существуют тождественные морфизмы: для каждого объекта

$$r \in Ob(S)$$

существует морфизм $1_r \in Mor_S(r, r')$, называемый тождественным морфизмом для r , такой, что для всех $\omega \in Mor_S(r', r'')$ верно:

$$\omega 1_r = 1_{r''} \omega = \omega \quad (8)$$

При категорном представлении онтология графически реализуется как граф:

$$G = \langle \{Ob_i\}, \{Mor_j\} \rangle,$$

где $\{Ob_i\}$ – множество вершин графа, соответствующее объектам категории, которые согласно (2) могут быть утверждениями, числовыми множествами, соответствующими понятиям предметной области; $\{Mor_j\}$ – множество дуг графа, соответствующее морфизмам категории, которые являются представлением соответствующих предметных связей между понятиями H из (1). Именно это позволяет анализировать взаимное соответствие структур конкретизированной и обобщенной онтологий как некоторых топологических подпространств в рамках категорной модели.

Таким образом, представление онтологии (1) в категориальном виде при ее логико-алгебраическом рассмотрении является наиболее общим. Это позволяет рассмотреть любую онтологию как некоторый класс множеств или утверждений (в зависимости от уровня абстракции представления предметной области) и установленных связей между ними. Элементы указанного класса являются объектами категории ($Ob(S) = R$ и $Ob(S') = R'$), а связи, установленные между ними (в виде отображений множеств, поэлементных соответствий, логических условий и др.), есть морфизмы ($Mor_S(r', r'') = \Omega$ и $Mor_{S'}(r', r'') = \Omega'$).

В таком случае соотнесение конкретизированной онтологии S и обобщенной онтологии S' в одной и той же предметной области T можно рассмотреть как задание отображения Φ множества Ω в множество Ω' при ранее определенном соответствии классов R и R' :

$$\Omega \leftrightarrow \Omega' : \{\phi(\omega_1), \phi(\omega_2), \dots, \phi(\omega_p)\} \quad (9)$$

3. Согласно терминологии теории категорий и функторов [9] такое отображение Φ можно рассмотреть как задание соответствия между категориями S и S' в целом:

$$\Phi = \{\phi(\omega_1), \phi(\omega_2), \dots, \phi(\omega_p)\} \quad (10)$$

Связь между категориями, определенная как на уровне морфизмов, так и на уровне классов объектов категорий, получила наименование – функтор [8] (функтор – отображение одной категории в другую, согласованное со структурой категории). Следовательно, соотнесение конкретизированной онтологии S и обобщенной онтологии S' для одной и той же предметной области T описывается алгебраически в виде функтора Φ :

$$\Phi : \begin{cases} \forall r^i \in Ob(S) & \phi(r^i) \in Ob(S') \\ \forall \varpi \in Mor(r', r'') & \phi(\varpi) \in Mor(\phi(r'), \phi(r'')) \end{cases} \quad (11)$$

Таким образом, в рамках категорной модели онтология предметной области T вида (1) при представлении ее как совокупности конкретизированных и обобщенной подонтологий, на множественно-алгебраическом языке есть семейство категорий S и S' с задаваемым функтором Φ :

$$\Phi : \Omega \leftrightarrow \Omega' \quad (12)$$

4. Изоморфность конкретизированных онтологий диспетчерской деятельности для различных видов пространственных процессов и видов географического пространства и обобщенной онтологии выражается в изоморфности функтора Φ , т.е. само понятие «изоморфности» рассматривается в контексте данной работы как показатель схожести (взаимной однозначности) каких-либо различных сущностей по некоторым специальным свойствам. Такое понимание термина «изоморфность онтологий» позволяет рассматривать взаимное соответствие конкретизированной онтологии предметной области T и обобщенной онтологии, на заданном уровне абстракции $I(T)$, в алгебраическом смысле как изоморфность соответствующих категорий.

При рассмотрении выражений (9)–(12) в силу того, что само отображение $\Phi = \{\phi_i\}$ задается на множестве морфизмов $\{\omega(x_n)\}$ и $\{\omega'(x_n)\}$, эквивалентность в отображении (12) следует понимать как свойство изоморфности функтора Φ :

$$\Phi = S \cong S' \Rightarrow [\Omega \cong \Omega'] \Rightarrow \phi(\omega_1 * \omega_2) = \phi(\omega'_1) \circ \phi(\omega'_2) \quad (13)$$

где $\langle *, \circ \rangle$ – сопоставленные операции в категориях S и S' .

Из вышеприведенных рассуждений нетрудно заметить, что

$$T \rightarrow I(T) \Rightarrow (\Omega \leftrightarrow \Omega') \quad (14)$$

Содержательно это позволяет рассматривать изоморфизм функтора Φ , задающего собой отображение $(\Omega \leftrightarrow \Omega')$, как условие взаимной однозначности свойств утверждений, алгебраических операций, отношений (морфизмов $\{\omega_i\}, \{\omega'_i\}$ категорий S и S') в конкретизированной онтологии предметной области T и в обобщенной онтологии, на заданном уровне абстракции $I(T)$ соответственно, при изменении (обобщении) областей их задания $R \rightarrow R'$ (т.е. сужении класса объектов $Ob(S)$ до $Ob(S')$). Учитывая, что отношения в S и S' при рассмотрении их в виде (2) и (3) соответствуют системе связей предметной области Θ , а понятия H строго упорядочены при обобщении, можно записать:

$$[\Omega \cong \Omega'] \Rightarrow (S \leftrightarrow S') \quad (15)$$

Таким образом, на основании выражений (14) и (15) можно прийти к выводу, что обоснование *Предложения 1* сводится к нахождению и определению выполнимости необходимых и достаточных условий изоморфности функтора Φ в рамках приведенной выше алгебраической постановки:

$$\Phi = [\Omega \cong \Omega'] \Rightarrow \phi(\omega_1 * \omega_2) = \phi(\omega'_1) \circ \phi(\omega'_2)$$

При этом условия существования изоморфизма $[\Omega \cong \Omega']$ (изоморфности функтора Φ по условию (13)) рассматриваются, как условия существования взаимнообратного гомоморфизма между Ω и Ω' :

$$\exists (\omega_1(r''', r^i), \omega_2(r', r'') \in \Omega); (\omega'_1(r''', r^i), \omega'_2(r', r'') \in \Omega') : \begin{cases} \phi(\omega_1(r''', r^i)) * \phi(\omega_2(r', r'')) \rightarrow \omega'_1(r''', r^i) \circ \omega'_2(r', r'') \\ \phi(\omega'_1(r''', r^i) \circ \omega'_2(r', r'')) \rightarrow \omega_1(r''', r^i) * \omega_2(r', r'') \end{cases}$$

где $\langle r', r'', r''', r^i \rangle \in Ob(S)$; $\langle \omega_1, \omega_2 \rangle \in Mor_S$; $\langle \omega'_1, \omega'_2 \rangle \in Mor_{S'}$

$\langle *, \circ \rangle$ – сопоставленные операции в категориях S и S' .

**Условие изоморфности обобщенной
и конкретизированных онтологий в рамках категорной модели**

Изоморфность функтора в рамках приведенной выше категорной модели онтологии диспетчерской деятельности обоснована в два приема: нахождение, определение выполнимости условий изоморфности и рассмотрение степени общности выполнения указанных условий. Определение выполнимости условий изоморфности осуществлено на базе фундаментальных результатов теории категорий и функторов в шесть этапов [1]:

1. Пусть конкретизированная онтология S предметной области T и обобщенная онтология S' на заданном уровне абстракции $I(T)$ предметной области T представлены как соответствующие категории в рамках категорной модели онтологии, описанной в выражениях (9–15):

$$T \Rightarrow S : S = \langle R, \Omega \rangle \quad (18)$$

$$I(T) \Rightarrow S' : S' = \langle R', \Omega' \rangle \quad (19)$$

$$R \neq R', \quad (20)$$

а соответствие между категориями – как задание функтора

$$\Phi : S \rightarrow S' \quad (21)$$

2. Категории S и S' , как и каждая категория, имеют скелет⁹. Скелетом категории S является минимальная полная подкатегория S^0 категории S , эквивалентная самой категории. Аналогично это выполняется для категории S' . В произвольной категории существует множество скелетов. Любой скелет можно построить путем выбора в каждом классе объектов категории по одному представителю. Тогда полная подкатегория искомой категории, порожденная выбранным подклассом объектов, является скелетом [2, с. 1215].

Иными словами, при выделении S^0 на базе S из множеств r^i класса R , который есть $Ob(S) = R$, выбираются типовые элементы ρ_j^i ($\rho_j^i \in r^i$, где $r^i \in R$), а множество морфизмов оставлено без изменений:

$$S^0 = \langle \{\rho_j^i\}, \Omega \rangle \quad (22)$$

Таким образом, скелет S^0 отражает всю существенную категорную структуру категории S . Категории S^0 и S структурно эквивалентны. Аналогично для категории S' , для соответствующих элементов $\rho_j^{i'}$:

$$S^{0'} = \langle \{\rho_j^{i'}\}, \Omega' \rangle \quad (23)$$

3. На основании выражения (21) функтор Φ для скелетов S^0 и $S^{0'}$ будет описан:

$$\Phi : \begin{cases} Mor_S(\rho_j^i; \rho_{j+1}^i) \rightarrow Mor_{S'}(\rho_j^{i'}; \rho_{j+1}^{i'}) \\ \{\rho_j^i\} \rightarrow \{\rho_j^{i'}\} \end{cases} \quad (24)$$

4. Естественное упорядочение (установление отношений порядка, определяемое логикой предметной области) понятий, определяющее структуру как конкретизированной, так и обобщенной категорий, выражается в категорной модели онтологии взятием композиции морфизмов в виде (6).

Тогда изоморфность функтора Φ между скелетами S^0 и S^0' реализуется, если для соответствующих композиционно-связанных пар морфизмов выполняется следующее условие:

$$\exists (\omega_1(\rho_j^i, \rho_j^{i+1}), \omega_2(\rho_j^{i+1}, \rho_j^{i+2}) \in \Omega); (\omega_1'(\rho_j^{i'}, \rho_j^{i+1}'), \omega_2'(\rho_j^{i+1}', \rho_j^{i+2}') \in \Omega) \quad (25)$$

Взаимно-обратные гомоморфные преобразования между скелетами S^0 и S^0' :

$$\begin{cases} S^0 \rightarrow S^0' : \phi(\omega_1(\rho_j^i, \rho_j^{i+1})) \times \phi(\omega_2(\rho_j^{i+1}, \rho_j^{i+2})) = (\omega_1'(\rho_j^{i'}, \rho_j^{i+1}')) \times (\omega_2'(\rho_j^{i+1}', \rho_j^{i+2}')) \\ S^0' \rightarrow S^0 : \phi(\omega_1'(\rho_j^{i'}, \rho_j^{i+1}')) \times \phi(\omega_2'(\rho_j^{i+1}', \rho_j^{i+2}')) = (\omega_1(\rho_j^i, \rho_j^{i+1})) \times (\omega_2(\rho_j^{i+1}, \rho_j^{i+2})) \end{cases} \quad (26)$$

где $\langle \rho_j^i, \rho_j^{i+1}, \rho_j^{i+2} \rangle \in Ob(S^0)$; $\langle \rho_j^{i'}, \rho_j^{i+1}', \rho_j^{i+2}' \rangle \in Ob(S^0')$; $\langle \omega_1, \omega_2 \rangle \in Mor_S$; $\langle \omega_1', \omega_2' \rangle \in Mor_{S'}$

позволяют путем последовательного выполнения преобразования $S^0 \rightarrow S^0'$ и его обращения $S^0' \rightarrow S^0$ получить исходный объект. Таким образом, обеспечивается взаимная однозначность отображения между скелетами S^0 и S^0' , то есть изоморфность функтора Φ .

5. Проверка взаимной однозначности отображения, задаваемого функтором Φ , в условиях категорной модели онтологии (24)–(26):

а) прямое гомоморфное преобразование $S^0 \rightarrow S^0'$, раскрываемое на основании правила взятия композиции морфизмов (6) и отображения задаваемого функтором Φ в (11).

$$\begin{aligned} \text{Пусть} \quad \omega_1(\rho_j^i, \rho_j^{i+1}) \times \omega_2(\rho_j^{i+1}, \rho_j^{i+2}) &= \omega(\rho_j^i, \rho_j^{i+2}) \\ \omega_1'(\rho_j^{i'}, \rho_j^{i+1}') \times \omega_2'(\rho_j^{i+1}', \rho_j^{i+2}') &= \omega'(\rho_j^{i'}, \rho_j^{i+2}') \end{aligned}$$

Тогда

$$\phi(\omega(\rho_j^i, \rho_j^{i+2})) = \phi(\omega_1(\rho_j^i, \rho_j^{i+1})) \times \phi(\omega_2(\rho_j^{i+1}, \rho_j^{i+2})) = \omega_1'(\rho_j^{i'}, \rho_j^{i+1}') \times \omega_2'(\rho_j^{i+1}', \rho_j^{i+2}') = \omega'(\rho_j^{i'}, \rho_j^{i+2}')$$

б) обратное гомоморфное преобразование $S^0' \rightarrow S^0$:

$$\bar{\phi}(\omega'(\rho_j^{i'}, \rho_j^{i+2}')) = \bar{\phi}(\omega_1'(\rho_j^{i'}, \rho_j^{i+1}')) \times \bar{\phi}(\omega_2'(\rho_j^{i+1}', \rho_j^{i+2}')) = (\omega_1(\rho_j^i, \rho_j^{i+1})) \times (\omega_2(\rho_j^{i+1}, \rho_j^{i+2})) = \omega(\rho_j^i, \rho_j^{i+2})$$

Таким образом, скелеты S^0 и S^0' изоморфны в рамках представленной в п. II категорной модели при реализации в ней условий (24)–(26), описывающих алгебраическое представление отношений (связей) между понятиями в онтологии.

6. В работе [3] приводится формулировка и доказательство основного свойства изоморфных категорий:

Категории J и N изоморфны, как объекты в множестве категорий, тогда и только тогда, когда имеют изоморфные скелеты ($J \cong N$ т. и т.т. $J^0 \cong N^0$).

На основании указанного свойства и доказанной изоморфности скелетов S^0 и S^0' можно сделать вывод о том, что категории S и S' также изоморфны при заданных условиях построения категорной модели онтологии, что на основании выражений (2), (3) трактуется как изоморфность обобщенной и конкретизированных онтологий предметной области. Приведенное выше представление структуры онтологии как графа G в рамках категорной модели позволяет говорить о гомеоморфности структур обобщенной и конкретизированных онтологий, так как гомеоморфизм рассматривается как изоморфизм для частного случая топологических пространств [3].

Если принять функцию $\gamma : S \rightarrow S^0$ как естественное преобразование по выделению скелета соответствующей категории, то для этапов 1)–6) следующая диаграмма является коммутативной (см. рис.).

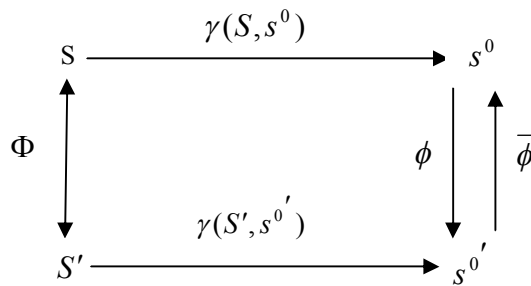


Рис. Выполнимость условий изоморфности функтора Φ в виде коммутативной диаграммы

Теоретически значимая общность приведенного выше обоснования выполнения условий изоморфности для обобщенной и конкретизированных онтологий предметной области диспетчерской деятельности определяется использованием для логико-алгебраической интерпретации наиболее абстрактного в математическом понимании аппарата – средств теории категорий и функторов. Категорная точка зрения позволяет рассматривать совокупность однотипных онтологий как новую, разумным образом организованную логико-алгебраическую систему, а не как случайный конгломерат моделей предметной области.

Приведенное в данной работе обоснование во многом носит логико-описательный характер, строгое доказательство *Предложения 1* требует более детального задания категорной модели онтологии и строгой интерпретации свойств этой модели в понятиях общей алгебры. Трудоемкость осуществления такого доказательства очевидна, ограниченный объем данной статьи не позволяет привести его полностью. Вместе с тем обоснованность взаимной однозначности конкретизированных и обобщенных онтологий диспетчерской деятельности для различных видов пространственных процессов и видов географического пространства позволяет использовать данное свойство в дальнейших прикладных исследованиях и разработках программных систем интеллектуализации в АСДПП.

Теоретическая значимость приведенного выше тезиса об изоморфности обобщенной и конкретизированной онтологий диспетчерской деятельности для различных видов пространственных процессов и видов географического пространства заключается в возможности получения эталонной структуры онтологии диспетчерской деятельности для АСДПП, исследовании граничных условий применимости различных конкретизированных онтологий, их квалиметрическом анализе. В практическом плане он может явиться методологической основой для сокращения времени и повышения эффективности создания новых средств интеллектуальной поддержки в специализированных ГИС автоматизированных систем диспетчеризации пространственных процессов.

Библиографический список

1. Каш, Ф. Модули и кольца / Ф. Каш. – М. : Мир, 1981.
2. Математическая энциклопедия. – Т. 3. – М. : Советская энциклопедия, 1984.
3. Цаленко, М. Ш. Моделирование семантики в базах данных / М. Ш. Цаленко. – М. : Наука, 1989. – 286 с.
4. Цаленко, М. Ш. Основы теории категорий / М. Ш. Цаленко, Е. Г. Шульгейфер. – М., Наука, 1974. – 256 с.
5. DeLoach, S. A. Category theory approach to fusion of wavelet-based features / S. A. DeLoach, M. M. Kokar // Proceedings of the Second International Conference on Information Fusion. – 1999. – Vol. 1. – P. 117–124.
6. Kent, R. E. The IFF Category Theory Ontology / R. E. Kent. – IEEE : Computer Society Press, 2004.
7. Kokar, M. M. Data vs. decision fusion in the category theory framework / M. M. Kokar, J. A. Tomasik, J. Weyman // Proceedings of Fusion 2001 – 4th International Conference on Information Fusion. – 2001. – Vol. 1. – P. TuA3-15–TuA3-20.
8. Kokar, M. M. Formalizing Classes of Information Fusion Systems / M. M. Kokar, J. A. Tomasik, J. Weyman // Journal of Robotic Systems. – 2005. – № 7 (3). – P. 4–35.

9. Musen, M. A. Dimensions of knowledge sharing andreuse / M. A. Musen // Computers and Biomedical Research. – 1992. – № 25. – P. 435–467.
10. Object management group. MetaObjectFacility (MOF) Specification v 1.4. – Режим доступа: <http://www.omg.org/docs/formal/02-04-03.pdf>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ.
11. Understand RDF and RDFs. – Режим доступа: <http://www-128.ibm.com/developerworks/edu/x-dw-x-ultimashup3.html>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ.
12. Web Ontology Language (OWL). – Режим доступа: <http://www.w3.org/2004/OWL>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ.