

Формализация структуры иерархических систем с помощью дескрипционной логики*

В. В. Михелёв, email: 1334449@bsu.edu.ru¹

С. И. Маторин, email: matorin@bsu.edu.ru¹

¹ Белгородский государственный национальный исследовательский университет

***Аннотация.** В работе рассматриваются результаты формального описания иерархии концептуальных систем с учетом их системных взаимоотношений путем формализации средствами дескрипционной логики некоторых положений системно-объектного подхода. Описан синтаксис и семантика дескрипционных логик ALCOQ и SHIOQ. Введены и формально описаны понятия объёма и содержания концептуальной системы, которые расширяют системную теорию, основанную на системно-объектном подходе.*

***Ключевые слова:** формализация, иерархические системы, дескрипционная логика, концептуальные системы.*

Введение

В настоящее время в различных сферах человеческой деятельности широко используется понятие «*информационные системы*», которые рассматриваются как системы, предназначенные для хранения, поиска и обработки информации, включающие в себя соответствующие ресурсы и обеспечивающие распространение информации [ISO/IEC 2382:2015], основным предметом и продуктом труда в которых является информация.

Таким образом, информация представляет собой ресурс, с которым работает информационная система. Для понятия же «*информация*» существует множество определений. Начиная от определения Н. Винера: «Информация — это не материя и не энергия, информация — это информация». И заканчивая определениями в международных и российских стандартах: знания о предметах, фактах, идеях и т.д., которыми могут обмениваться люди в рамках конкретного контекста [ISO/IEC 10746-2:1996]; знания относительно фактов, событий, вещей, идей и понятий, которые в определённом контексте имеют конкретный смысл [ISO/IEC 2382:2015]; сведения, воспринимаемые человеком и

© Михелёв В. В., Маторин С. И., 2019

* Работа поддержана грантами РФФИ №19-07-00290а, №19-07-00111а, 18-07-00355а, 19-29-01047мк.

(или) специальными устройствами как отражение фактов материального или духовного мира в процессе коммуникации [ГОСТ 7.0-99].

При этом сама информация также может представлять собой информационную систему, например, совокупность данных при определенных условиях, классификация, модель знаний (онтология). Одним из важных для нашего исследования примером таких информационных систем являются *концептуальные системы* (они же *внешние системы* по Ю.А. Шрейдеру [1]), которые состоят из нефизических объектов, то есть идей или концепций. Нами принят термин «*системы-классы*», например, в соответствии с работой [2].

В работе [3] обоснована важность изучения таких систем и разработки системных принципов, применимых и к материальным, и к концептуальным системам, для построения действительно общей теории систем, а также для преодоления пропасти, разделяющей естественные и гуманитарные науки.

Средствами системно-объектного подхода показано, что внешний путь образования систем соответствуют основным диалектическим принципам системного подхода [4]. Кроме того, в работе [5] показано, что основные известные общесистемные закономерности выполняются как для материальных систем, так и для систем-классов.

С точки зрения данного исследования, кроме того, важно подчеркнуть, что системы-классы образуют иерархическую структуру, обладающую некоторой особенностью. Данная особенность состоит в том, что иерархия систем-классов, формируемая отношением род-вид, имеет верхнюю границу в соответствии с известным логическим законом обратного отношения объема и содержания понятий/классов [6]. Дело в том, что упомянутый закон требует уменьшения содержания, т.е. уменьшения количества информации, которое соответствует числу содержательных признаков, описывающих содержание класса, при увеличении объема класса, т.е. числа подклассов, входящих в класс. При этом содержание, естественно, может уменьшиться только до нуля. Это и обуславливает верхнюю границу иерархии систем-классов (концептуальных систем).

При моделировании понятийных знаний для обеспечения адекватности концептуальных моделей этих знаний реальной действительности необходим учет особенностей иерархии систем-классов (концептуальных систем). Только в случае такого учета модели понятийных знаний становятся моделями, отражающими системность реальной действительности. Для изучения особенностей иерархии систем-классов с целью совершенствования существующих и создания новых классификаторов (классификационных систем), представляющих

собой важный вид концептуальных моделей понятийных знаний, необходимо описать ее (иерархии систем-классов) свойства формальными средствами. В данном исследовании используются средства дескрипционной логики.

1. Использование дескрипционной логики

Дескрипционная логика (ДЛ) представляет собой язык представления знаний для описания понятий предметной области в недвусмысленном, формализованном виде. Любая ДЛ имеет синтаксис и семантику. Базовыми синтаксическими элементами языка дескрипционной логики являются атомарные концепт и роль, соответствующие одноместному и двуместному предикатам языка математической логики. Концепты применяются для описания классов, роли – для описания отношений между концептами. Концепты и роли позволяют описывать понятия и их свойства [7]. Одной из базовых дескрипционных логик является ДЛ ALC [7] и её расширение ALCOQ [8]. Её синтаксис представлен ниже (1).

$$\{ \top; \perp; A; A \sqsubseteq C; \neg C; C \sqcap D; C \sqcup D; \exists R.C; \forall R.C; \exists R \} \quad (1)$$

Символы \top и \perp – концепты (называются истина и ложь). Семантика ДЛ описывается с помощью понятия интерпретация [8]. Интерпретация есть пара $I = (\Delta, .^I)$, состоящая из непустого множества Δ , называемого областью данной интерпретации, и интерпретирующей функции I , которая сопоставляет:

- каждому атомарному концепту $A \in CN$ – произвольное подмножество $A^I \subseteq \Delta$, CN – множество всех концептов;
- каждой атомарной роли $R \in RN$ – произвольное подмножество $R^I \subseteq \Delta \times \Delta$, RN – множество всех ролей.

Предметную область, описываемую с помощью ДЛ, можно представить на рисунке 1.

В теориях, описывающих базы знаний, различаются общие знания о понятиях и их взаимосвязях, которые выражаются с помощью утверждений общего вида – терминологий, или аксиом, а также знания об индивидуальных объектах, их свойствах и связях с другими объектами – утверждения об индивидах. Так, выделяют набор терминологических аксиом, называемый $TBox$, и набор утверждений об отношениях и свойствах индивидов – $ABox$. Вместе они образуют базу знаний, или онтологию $K = TBox \cup ABox$. Покажем ниже в (2) и (3)

пример предметной области описываемой $ABox$ и $TBox$. В (4) дано описание $TBox$ на естественном языке.



Рис. 1. Графическое изображение предметной области

В соответствии, например, с работами [9, 10] иерархия систем-классов (концептуальных систем) состоит из объектов-классов и свойств-классов (которые в свою очередь делятся на свойства-объектов и свойства-свойств). С помощью ДЛ можно определить концепты для объектов-классов, при этом роли в ДЛ будут соответствовать свойствам-классам.

$$ABox = \left\{ \begin{array}{l} \text{Мужчина}(\text{Джон}); \\ \text{Женщина}(\text{Мария}); \\ \text{Любит}(\text{Джон}, \text{Мария}); \\ \text{Женатый}(\text{Джон}, \text{Мария}); \end{array} \right\} \quad (2)$$

$$TBox = \left\{ \begin{array}{l} \text{Бакалавр} = \neg \exists \text{Женатый} \sqcap \text{Человек}; \\ \exists \text{Женатый} \sqsubseteq \text{Счастлив}; \\ \exists \text{Женатый} . \text{Женщина} \sqsubseteq \exists \text{Любит} . \text{Женщина}; \\ \text{Человек} = \text{Мужчина} \sqcap \text{Женщина}; \end{array} \right\} \quad (3)$$

$$TBox = \left\{ \begin{array}{l} \text{Бакалавр} - \text{это неженатый человек}; \\ \text{Все женатые люди счастливы}; \\ \text{Женатый на женщине также любит её}; \\ \text{Мужчина или женщина это человек}; \end{array} \right\} \quad (4)$$

Для описания иерархии ролей выразительности логики ALCOQ будет недостаточно, необходимо воспользоваться расширенной ДЛ с аксиомами для ролей SHIOQ [7]. Такая ДЛ имеет аксиомы для ролей –

$RBox$ (по аналогии с $TBox$ и $ABox$). Дополнительными, важными расширениями этой логики являются следующие пункты:

- иерархия ролей: допускаются аксиомы вида $R \sqsubseteq S$, где R, S – произвольные роли. При этом говорят, что R является подролью S , а S – надролью R .
- транзитивные роли: допускаются аксиомы вида $Tr(R)$ или R^* , где R – произвольная роль, R^* – транзитивная роль.
- композиция ролей ($R \circ S$):

$$(R \circ S) = \left\{ \begin{array}{l} (e, d) \in \Delta \times \Delta \mid \text{существует } x \in \Delta, \text{ такой,} \\ \text{что, } (e, x) \in R^I \text{ и } (x, d) \in S^I \end{array} \right\} \quad (5)$$

В ДЛ SHIOQ к $TBox$ и $ABox$ добавляются аксиомы для ролей $RBox$ R . Следовательно, база знаний определяется, как: $K = TBox \cup ABox \cup RBox$.

2. Формализация иерархии систем-классов с помощью ДЛ

С позиций системного подхода получение нового знания лишь в частном случае может основываться на формальных математических процедурах. В общем случае это должен быть прежде всего содержательный вывод, учитывающий системообразующие факторы, законы развития, адаптации и эволюции. Однако, если содержательный анализ фундаментальных закономерностей уже состоялся, целесообразно привлечь средства математического моделирования к формальному обоснованию содержательных выводов [11].

Для этого рассмотрим возможность создания формальной модели иерархии систем-классов (концептуальных систем) средствами дискрипционной логики, описывающей системные взаимоотношения между классами, что, в конце концов, позволит по-новому взглянуть на процедуры классифицирования.

В соответствии с системным (системно-объектным) подходом система рассматривается и как явление (материальный объект), и как класс (концептуальная система), функция или роль которого обусловлены функцией явления или ролью класса более высокого яруса (т.е. надсистемой-явлением или надсистемой-классом) [4]. Формализованное описание такого понимания системы с использованием обозначений, принятых в ДЛ, выглядит следующим образом:

$$S_i = [S_{i-1}; RS_i \sqsubseteq RS_{i-1}] \quad (6)$$

В выражении (6) представлено формальное описание системы в соответствии с правилами исчисления объектов Абади-Кардели [4], где: S_{i-1} – поле для указания на систему-класс более высокого яруса иерархии, соответствующее узлу US_i системы S_i ; $RS_i \sqsubset RS_{i-1}$ – метод, соответствующий роли (функции FS_i) системы S_i в надсистеме S_{i-1} .

Учитывая процесс формирования системы в соответствии с функциональным запросом надсистемы в виде функционального узла, можно уточнить формальное выражение для системы-класса следующим образом: $S_i = [US_i \Rightarrow FS_i]$ и $S_i = [S_{i-1} \Rightarrow RS_{i-1} \Rightarrow RS_i]$.

В работе [12] одним из основных общесистемных принципов, назван принцип моноцентризма, который прямо определяет, что устойчивая система «будет характеризоваться единым центром, а если она представляет из себя сложную, цепную, то она имеет один высший, общий центр». Данный принцип, является следствием, иерархической упорядоченности систем, в нашем случае, иерархической структуры родовидовых отношений между системами-классами (концептуальными системами).

В первую очередь целесообразно подтвердить единство вершины иерархии систем-классов, т.е. принцип моноцентризма. Воспользуемся приведённым определением системы (6) и понятиями ДЛ. Пусть существуют системы-классы S_{ij}^l и RS_{ij}^l , i – номер яруса иерархии, j – порядковый номер узла в ярусе, l – порядковый номер узла родителя в ярусе. В терминах дескрипционной логики: S_{ij}^l – концепт, RS_{ij}^l – роль.

Примем, что существуют концепты $S_{i+1,p}^j$ входящие в S_{ij}^l , т.е. $\exists S_{i+1,p}^j \sqsubset S_{ij}^l : p = \overline{1, N}$. Пусть существуют роли $RS_{i+1,p}^j$ входящие в RS_{ij}^l , т.е. $\exists RS_{i+1,p}^j \sqsubset RS_{ij}^l : p = \overline{1, N}$. Покажем фрагменты $TBox$ и $RBox$ соответствующие вышеупомянутым утверждениям (7):

В работе [5] показано, что роль RS_{ij}^l – это признак (свойство-класс, роль), поддерживающий систему-класс (объект-класс, концепт). Уточним приведенные ранее аксиомы для систем-классов в соответствии с определением системы (6).

$$TBox = \left\{ \begin{array}{l} \dots \\ S_{i+1,1}^j \sqsubset S_{ij}^l \\ \dots \\ S_{i+1,N}^j \sqsubset S_{ij}^l \\ \dots \end{array} \right\}; RBox = \left\{ \begin{array}{l} \dots \\ RS_{i+1,1}^j \sqsubset RS_{ij}^l \\ \dots \\ RS_{i+1,N}^j \sqsubset RS_{ij}^l \\ \dots \end{array} \right\}. \quad (7)$$

Воспользуемся понятиями объем и содержание системы-класса. Объем системы-класса (*Vol*) - совокупность видовых систем-классов, входящих в данную родовую систему-класс. Содержание (*Cont*) системы-класса - совокупность существенных и отличительных признаков (ролей), качеств системы-класса вместе с надсистемой-классом.

Опишем данные понятия средствами ДЛ. Содержание системы-класса, выражается через роль, которая является отличительным признаком данной системы-класса и признаком, поддерживающим надсистему-класс, а также через саму надсистему-класс.

$$Cont(S_{ij}^l) = S_{i-1,l}^n \sqcap \exists RS_{i+1,p_j}^l, \quad (8)$$

где $i = \overline{0, N}$. i – номер яруса иерархии. Роли, также являются системами-классами. Следовательно, тоже обладают содержанием (свойства-свойств).

$$Cont(RS_{ij}^l) = RS_{i-1,l}^n \sqcap \exists RS_{i+1,p_j}^l, \quad (9)$$

где $i = \overline{0, N}$. i – номер яруса иерархии.

Понятие объема системы-класса можно описать с помощью операции принадлежности концепту:

$$Vol(S_{ij}^l) = S_{i+1,1}^j \sqcup S_{i+1,2}^j \sqcup \dots \sqcup S_{i+1,\bar{N}_i}^j. \quad (10)$$

Как было указано ранее $S_{i+1,p}^j \sqsubset S_{ij}^l, p = \overline{1, \bar{N}_i}$. \bar{N}_i – количество узлов i -уровня иерархии.

Покажем фрагменты *TBox* в (12) и *RBox* в (13) с использованием упомянутых уточнений.

Графически структура иерархии систем-классов, задаваемая с помощью *TBox* (12) и *RBox* (13) на рисунке 2.

$$TBox = \left\{ \begin{array}{l} \dots \\ S_{i,1}^l \sqsubset S_{i-1,l}^n \sqcap \exists RS_{i+1,p_1}^{l_1} \\ S_{i,2}^l \sqsubset S_{i-1,l}^n \sqcap \exists RS_{i+1,p_2}^{l_2} \\ \dots \\ S_{i,N}^l \sqsubset S_{i-1,l}^n \sqcap \exists RS_{i+1,p_N}^{l_N} \\ \dots \end{array} \right\} \quad (11)$$

$$RBox = \left\{ \begin{array}{l} \dots \\ RS_{i,1}^l \sqsubset RS_{i-1,l}^n \sqcap \exists RS_{i+1,p_1}^{l_1} \\ RS_{i,2}^l \sqsubset RS_{i-1,l}^n \sqcap \exists RS_{i+1,p_2}^{l_2} \\ \dots \\ RS_{i,N}^l \sqsubset RS_{i-1,l}^n \sqcap \exists RS_{i+1,p_N}^{l_N} \\ \dots \end{array} \right\} \quad (12)$$

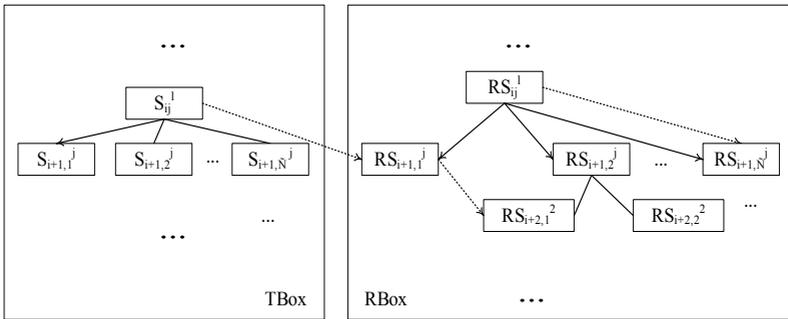


Рис. 2. Иерархическая структура систем-классов, формализованная с помощью (12) и (13)

Воспользуемся логическим законом обратного отношения объема и содержания [6] для построения предыдущих и последующих ярусов иерархии. В соответствии с упомянутым законом система-класс, наследуемая от текущей системы-класса, должна обладать большим количеством поддерживающих признаков, т.е. большим содержанием

$Cont(S_{ij}^l) \sqsubset Cont(S_{i+1,p}^j)$, но меньшим объемом $Vol(S_{ij}^l) \supset Vol(S_{i+1,p}^j)$.

Если двигаться в обратную сторону, то каждая родительская система-класс должна иметь меньшее количество признаков чем текущая, следовательно, иметь больший объем. По мере подъема ярус за ярусом с увеличением объема классов – уменьшается количество признаков до предельного состояния.

Предельным состоянием будем называть случай, когда содержание является наиболее общим. В таком случае, мы можем говорить о корневой системе-классе S_0 , которая имеет следующие характеристики. Содержание $Cont(S_0) = RS_{11}^0$, где RS_{11}^0 – система-класс, включающая в себя все поддерживающие признаки предметной области. Объем $Vol(S_0) = S_{11}^0 \sqcup RS_{11}^0$. Система-класс S_0 не имеет родителей и является корнем иерархии систем-классов. При этом, RS_{11}^0 – предельно широкая роль, соответствующая классу «свойство» [11]. Это подтверждает единство вершины классификационной схемы, рисунок 3.

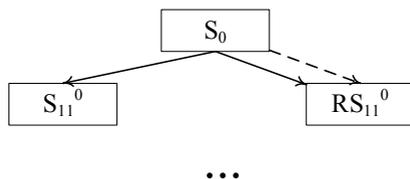


Рис. 3. Корень иерархии систем классов

Заключение

В данной работе рассмотрены результаты формального описания иерархии концептуальных систем (систем-классов). Понятия системно-объектного подхода «система-класс» и «свойство-класс» сопоставлены с понятиями дескрипционной логики. Путем описания синтаксиса и семантики ДЛ ALCOQ и SHIOQ формально обоснована структура иерархии систем-классов и показана обязательность выполнения принципа моноцентризма для концептуальных систем. Введены и описаны средствами ДЛ понятия объема и содержания систем-классов, которые расширяют системную теорию, основанную на системно-объектном подходе. Полученные результаты в перспективе позволяют совершенствовать существующие и создавать новые классификаторы (классификационные системы), представляющие собой важный вид концептуальных моделей понятийных знаний.

Список литературы

1. Шрейдер, Ю. А. Системы и модели / Ю. А. Шрейдер, А. А. Шаров. – М. : Радио и связь, 1982. – 152 с.
2. Маторин, С. И. Детерминантная модель системы и системологический анализ принципов детерминизма и бесконечности мира / С. И. Маторин, Е. А. Соловьева // НТИ. Сер. 2. – 1996. – №8. – С. 1-8.
3. Ackoff, R. L. General system theory and systems research: Contrasting conceptions of system science / R. L. Ackoff // In Proceedings of the Second Systems Symposium at Case Institute of Technology. – 1964. – P. 51-60.
4. Маторин, С. И. Системный подход к классам объектов / С. И. Маторин, А. Г. Жихарев // Сборник трудов 8-й Международной конференции «Системный анализ и информационные технологии (САИТ)» – М. : ФИЦ ИУ РАН, 2019. – С. 244-249.
5. Маторин, С. И. Учет общесистемных закономерностей при концептуальном моделировании понятийных знаний / С. И. Маторин, А. Г. Жихарев, В. В. Михелёв // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2019. – № 3. – С. 12-23.
6. Кондаков, Н. И. Логический словарь / Н. И. Кондаков, Д. П. Горский. – М. : Наука, 1971. – 656 с.
7. Schmidt-Schauss, M. Attributive concept descriptions with complements / M. Schmidt-Schauss, G. Smolka // Artificial Intelligence. – 1991. – 48 (1). – P. 1-26.
8. Baader, F. The Description Logic Handbook: Theory, Implementation, and Applications / F. Baader [and other] // Cambridge University Press. – 2003. – 576 p.
9. Соловьева, Е. А. Применение теории категорий к исследованию и моделированию естественной классификации / Е. А. Соловьева, Д. Б. Ельчанинов, С. И. Маторин // НТИ. Сер. 2. – М. : ВИНТИ, 1999. – № 3. – С. 1-7.
10. Маторин, С. И. Концепция формализованной теории систем, основанной на подходе «УЗЕЛ-ФУНКЦИЯ-ОБЪЕКТ» / С. И. Маторин, О. А. Зимовец, Н. В. Щербинина, Т. С. Сульженко // Научные ведомости БелГУ. Сер. Экономика. Информатика, 2016. – № 16 (237), вып.39. – С. 159-166.
11. Мельников, Г. П. Системология и языковые аспекты кибернетики / Г. П. Мельников. – М.: Советское радио, 1978. – 368 с.
12. Богданов, А. А. Тектология: всеобщая организационная наука / А. А. Богданов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Экономика, 1989. – 304 с.