

С.И. МАТОРИН, В.В. МИХЕЛЁВ, А.Г. ЖИХАРЕВ  
S.I. MATORIN, V.V. MIKHELEV, A.G. ZHIKHAREV

## СИСТЕМО-ОБЪЕКТНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ПОНЯТИЙНЫХ ЗНАНИЙ С ПОМОЩЬЮ ДЕСКРИПЦИОННОЙ ЛОГИКИ SYSTEM-OBJECTIVE REPRESENTATION OF CONCEPTUAL KNOWLEDGE WITH DESCRIPTION LOGIC

*В работе показана возможность применения системно-объектного подхода «Узел – Функция – Объект» и средств дескрипционной логики для описания понятийных знаний. Понятийные знания представляются с помощью иерархии концептуальных систем. Полученные результаты позволяют совершенствовать существующие способы представления понятийных знаний, а также разрабатывать модели понятийных знаний, отражающие системность реальной действительности, что существенно при решении задач классифицирования.*

*Ключевые слова:* системно-объектный подход «Узел – Функция – Объект», представление понятийных знаний, концептуальные системы, системы-классы, системы-явления, дескрипционная логика.

*The paper uses the possibilities of applying the system-object approach «Unit-Function-Object» in terms of descriptive logic for describing conceptual knowledge. Conceptual knowledge is represented using a hierarchy of conceptual systems. The results allow us to improve the existing ways of presenting conceptual knowledge, as well as develop models of conceptual knowledge that reflect the systemic reality that exists when solving classification problems.*

*Keywords:* system-object approach «Unit-Function-Object», the presentation of conceptual knowledge, conceptual systems, systems-classes, systems-facts, descriptive logic.

### Введение

Представление знаний является одним из основных направлений развития искусственного интеллекта. Это направление связано с разработкой способов хранения знаний в информационных системах (ИС) и включает в себя модели и методы структурирования и описания знаний. В настоящее время представление знаний и моделирование концептуальных процессов является одним из важных вопросов инженерии знаний [1].

Проблема представления знаний заключается в несоответствии между сведениями о зависимостях данной предметной области, имеющимися у специалиста, и возможностями однозначного представления такой информации в компьютерной ИС [2, 3]. Основной составляющей знаний современного человека являются понятийные знания. Такие знания представляют из себя набор понятий предметной области, их свойства и взаимосвязи. Однако в настоящее время связь методов представления знаний и концептуальных моделей с системными исследованиями в работах по инженерии знаний практически не рассматривается.

В данной работе авторы используют для этого системно-объектный подход «Узел – Функция – Объект». Это обусловлено тем, что только этот подход позволяет рассматривать не только материальные (наш термин «системы-явления»), но и концептуальные системы (наш термин «системы-классы»), о необходимости учета которых при построении общей теории систем отмечено еще в работах [4–6]. В работах [7, 8] рассмотрено соответствие систем-классов системам-явлениям с точки зрения системного подхода, а также обоснована возможности применения и к тем, и к другим всех положений системно-объектного подхода.

В рамках данного исследования обратим внимание на то, что иерархия систем-явлений, формируемая отношением часть-целое, не имеет верхней границы в

соответствии с известным принципом бесконечности. Иерархия систем-классов, формируемая отношением род – вид, имеет верхнюю границу в соответствии с известным логическим законом обратного отношения объема и содержания понятий (классов). Упомянутый закон требует уменьшения содержания, т.е. уменьшения количества информации, которое соответствует числу 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) [9–11].

Из упомянутых выше работ следует, что на самом верхнем уровне иерархии концептуальных систем находятся системы-классы двух видов: классы (системы-классы) системных компонент или *объекты-классы* и классы (системы-классы) свойств, т.е. *свойства-классы*. При этом последние также существуют в двух видах: свойства-классы объектов (*свойства объектов*) и свойства-классы свойств (*свойства свойств*). Данная работа направлена на изучение свойств иерархии систем-классов с целью совершенствования существующих и создания новых классификаторов (классификационных систем), а также на обоснование свойств этой иерархии формальными средствами с учетом ее содержательных особенностей, для чего используются средства дескрипционной логики (ДЛ).

### 1. Системно-объектный подход «Узел – Функция – Объект»

В рамках данного подхода система рассматривается как функциональный объект или класс, функция или роль которого обусловлена функцией или ролью объекта, или класса более высокого яруса (т.е. надсистемы), что уточняет определение системы в работе [12]. Упомянутое в этом определении явление обуславливания функции системы функцией надсистемы рассматривается как функциональный запрос надсистемы на систему с определенной функцией, который именуется внешней детерминантой системы. Последняя есть причина возникновения системы, цель ее существования и главный определитель ее структурных, функциональных и субстанциальных свойств. Таким образом, внешняя детерминанта системы рассматривается в качестве *универсального системообразующего фактора*.

Представление системы удобно конкретизировать в виде триединой конструкции (Узел – Функция – Объект), описывающей структурные, функциональные и субстанциальные характеристики системы, например, [7, 8]. При этом именно узел как перекресток связей описывает функциональный запрос надсистемы к данной системе, т.е. ее внешнюю детерминанту. Данный подход позволяет представить систему-явление  $s$  в виде специального объекта исчисления объектов Абади – Кардели [7]:  $s = [(Ls?, Ls!); fs(Ls?)Ls!; (Os?, Os!, Osf)]$ , где  $(Ls?, Ls!)$  – поле для описания узла  $us$  или перекрестка конечного множества входных связей  $Ls?$  и выходных связей  $Ls!$  в структуре надсистемы;  $fs(Ls?)Ls!$  – поле для описания функции  $fs$ , заданной надсистемой, или метода, обеспечивающего функциональное соответствие между выходными  $Ls?$  и входными  $Ls!$  потоками данного узла;  $(Os?, Os!, Osf)$  – поле для описания субстанциальных (объектных) характеристик системы (входных, выходных, передаточных).

Система-класс  $S^i$ , роль которой определяется ролью системы-класса более высокого яруса иерархии, может быть формально представлена в виде другого специального объекта исчисления объектов Абади – Кардели с использованием обозначений, принятых в ДЛ [8]:

$$\forall S^i \exists RS^i \text{ и } S^i = [S^{i-1}; RS^i \sqsubset RS^{i-1}], \quad (1)$$

где  $S^{i-1}$  – поле для указания на систему-класс более высокого яруса иерархии, соответствующей узлу  $US^i$  системы  $S^i$ ;  $RS^i \sqsubset RS^{i-1}$  – поле для описания метода,

соответствующего роли  $RS^i$  (функции  $FS^i$ ) системы  $S^i$ , вложенной в роль  $RS^{i-1}$  надсистемы  $S^{i-1}$ ;  $\sqsubset$  – символ вложения концепта в концепт или роли в роль в языке ДЛ.

## 2. Дескрипционная логика как средство представления понятийных знаний

ДЛ – это язык представления знаний для описания понятий предметной области в недвусмысленном, формализованном виде. 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. Одной из базовых дескрипционных логик является ДЛ *ALC* [13, 14] Синтаксис логики *ALC* представлен ниже в краткой форме.

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

Символы  $\bullet$  и  $\perp$  – концепты (называются истина и ложь).  $A$  – атомарный концепт,  $C, D$  – произвольные концепты,  $R$  – атомарная роль.

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. В ДЛ выделяют набор терминологических аксиом, называемый *TBox*, и набор утверждений об отношениях и свойствах индивидов – *ABox*. Вместе они образуют базу знаний, или онтологию  $K = TBox \cup ABox$ . В работе используется расширение логики *ALC* до *ALCOIQ*, представленное в работе [14]. С помощью ДЛ *ALCOIQ* можно определить концепты для систем-классов. Однако для описания иерархии ролей выразительности этой логики недостаточно. Для решения задачи построения иерархии концептуальных систем воспользуемся ДЛ *SHOIQ ALC* [13]. Она расширяет *ALCOIQ* и имеет аксиомы для ролей *RBox* (по аналогии с *TBox* и *ABox*), что позволяет описывать иерархию ролей как систем-классов. В ДЛ *SHOIQ* допускаются аксиомы вида  $R \sqsubset S$ , где  $R, S$  – произвольные роли. При этом говорят, что  $R$  является подролью  $S$ , а  $S$  – над ролью  $R$ .

## 3. Формализация иерархии понятийных знаний (концептуальных систем)

Для обоснования структуры иерархии концептуальных систем необходимо ввести в логику *SHOIQ* понятий «объем» и «содержание» системы-класса.

*Содержание системы-класса (Cont)* включает надсистему-класс (родовой класс), а также совокупность отличительных признаков (ролей в надсистеме) этой системы-класса.

Содержание системы-класса в ДЛ выражается через роль, поддерживающую функциональную способность надсистемы-класса, а также через саму надсистему-класс:

$$Cont(S_{ij}^l) = S_{i-1,l}^n \text{ у } \exists RS_{i+1,p_j}^j,$$

где  $i = \overline{0, N}$ ,  $i$  – номер яруса иерархии;  $l, j, l_j, p_j$  – номера внутри одного яруса иерархии. Роли также являются системами-классами. Следовательно, также обладают содержанием (свойства-свойств).

*Объем системы-класса (Vol)* составляет совокупность видовых систем-классов, входящих в систему-класс, являющуюся для них родовой.

Понятие объема системы-класса можно описать с помощью операции объединения концептов:

$$Vol(S_{ij}^l) = S_{i+1,1}^j \sqcup S_{i+1,2}^j \sqcup S_{i+1,\overline{N_{i+1}}}^j,$$

причем  $S_{i+1,p}^j \text{ р } S_{ij}^l, p = \overline{1, N_{i+1}}$ .  $N_i$  – количество узлов  $i$ -уровня иерархии.

Далее обоснуем правила построения иерархии систем-классов. Так, исследованный А.А. Богдановым принцип моноцентризма утверждает, что устойчивая система «будет характеризоваться единым центром, а если она представляет из себя сложную, цепную, то она имеет один высший, общий центр» [15]. Данный принцип является следствием иерархической упорядоченности систем, в нашем случае – иерархической структуры родовидовых отношений между системами-классами (концептуальными системами). Далее предлагаются утверждения, обосновывающие этот принцип и в целом структуру взаимоотношений концептуальных систем.

**Утверждение 1.** Если система-класс является видом системы-класса более высокого яруса и свойства (свойства-классы) системы-класса также являются видом свойств (свойств-классов) системы класса более высокого яруса, то данная иерархия имеет один корень.

Докажем вышеупомянутое утверждение. Пусть даны системы-классы  $S_{ij}^l$  и  $RS_{ij}^l$ , где  $i$  – номер яруса иерархии,  $j$  – порядковый номер узла в ярусе,  $l$  – порядковый номер надсистемы в ярусе. В терминах дескрипционной логики  $SHOIQ$ , расширенной понятиями «объём» ( $Vol$ ) и «содержание» ( $Cont$ ) системы-класса:  $S_{ij}^l$  – концепт,  $RS_{ij}^l$  – роль (функциональная роль).

Допустим, что существуют системы-классы (потомки)  $S_{i+1,p}^j$ , входящие в  $S_{ij}^l$ , т.е.  $S_{i+1,p}^j \text{ p } S_{ij}^l$ . Пусть существуют системы-классы (свойства-классы)  $RS_{i+1,p}^j$ , входящие в  $RS_{ij}^l$ ,  $RS_{i+1,p}^j \text{ p } RS_{ij}^l$ . Опишем фрагменты  $TBox$  и  $RBox$  в виде выражения:

$$TBox = \left\{ \begin{array}{c} \dots \\ S_{i+1,p}^j \text{ p } S_{ij}^l \\ \dots \end{array} \right\}; RBox = \left\{ \begin{array}{c} \dots \\ RS_{i+1,p}^j \text{ p } RS_{ij}^l \\ \dots \end{array} \right\}. \quad (2)$$

Из (1) известно, что свойства-классы (функциональные роли) поддерживают функциональную способность надсистемы  $S_{ij}^l$ . Следовательно, каждая система-класс должна иметь поддерживающие, функциональные роли, определяющие ее назначение. В свою очередь,  $RS_{i+1,p}^j$  также является системой-классом и видом  $RS_{ij}^l$ .  $RS_{ij}^l$  – надсистема-класс, т.е. она должна обладать поддерживающими признаками (свойства-свойств).

Опишем систему-класс  $S_{i,j}^l$  в терминах логики  $SHOIQ$ . Получим составной концепт, который можно описать с помощью операции пересечения:

$$S_{ij}^l \text{ p } S_{i-1,l}^n \text{ y } \exists RS_{i+1,p_j}^{l_j},$$

где  $l_j$  – порядковый номер надсистемы-класса (свойства-класса) по отношению к  $S_{ij}^l$ ;  $p_j$  – порядковый номер системы-класса в ярусе по отношению к  $S_{ij}^l$ . Уточним приведенное ранее выражение в соответствии с определением системы (1).

В виде выражений для  $TBox$  и  $RBox$  получим следующее:

$$TBox = \left\{ \begin{array}{c} \dots \\ S_{ij}^l \text{ p } S_{i-1,l}^n \text{ y } \exists RS_{i+1,p_j}^{l_j} \\ \dots \end{array} \right\}; RBox = \left\{ \begin{array}{c} \dots \\ RS_{ij}^l \text{ p } RS_{i-1,l}^n \text{ y } \exists RS_{i+1,p_j}^{k_j} \\ \dots \end{array} \right\}.$$

Системы-классы должны иметь видовые признаки (свойства-классы), отличные от родовых. Это необходимо для построения последующих ярусов иерархии и соотносится с логическим законом обратного отношения объема и содержания, в соответствии с которым система-класс, наследуемая от текущей системы-класса, должна обладать большим количеством видовых признаков, т.е. большим содержанием, но меньшим объемом. При применении закона целиком ко всей иерархии систем должны выполняться следующие соотношения:

$$Vol(S_{0,p_0}) \subset \dots \subset Vol(S_{i,p_k}^{p_{k-1}}) \subset Vol(S_{i+1,p_{k+1}}^{p_k}) \dots \quad (3)$$

$$Cont(S_{0,p_0}) \supset \dots \supset Cont(S_{i,p_k}^{p_{k-1}}) \supset Cont(S_{i+1,p_{k+1}}^{p_k}) \dots \quad (4)$$

Из (3) следует, что если двигаться по ярусам, то каждая родительская система-класс должна иметь меньшее количество признаков, чем текущая, следовательно, иметь больший объем, а из (4) следует, что уменьшается количество признаков до предельного состояния, при котором содержание является наиболее полным и  $k=0, p_0=0$ . При этом мы можем говорить о корневой системе-классе  $S_0$ , что подтверждает единство вершины классификационной схемы и Утверждение 1.

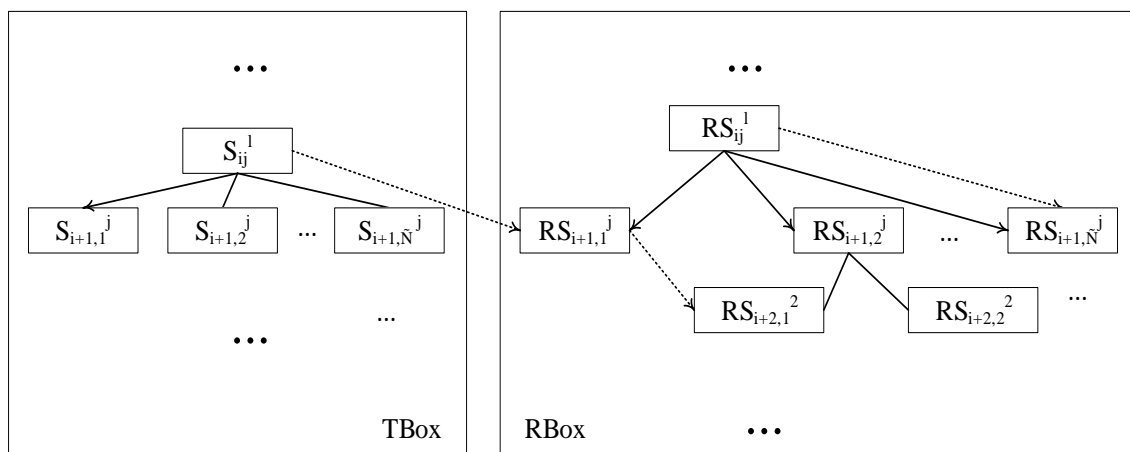


Рисунок 1 – Иерархическая структура систем-классов

**Утверждение 2.** Корень иерархии систем классов делится на системы-классы, представляющие объекты-классы и свойства-классы.

Пусть существует корневая система-класс  $S_0$ , которая не имеет родителей. Допустим, что она имеет двух потомков (системы-классы)  $S_{11}^0$  и  $RS_{11}^0$ , тогда  $S_{11}^0 \supset S_0$ ;  $RS_{11}^0 \supset S_0$ ;  $Vol(S_0) = S_{11}^0 \cap RS_{11}^0$ .  $Cont(S_0) = RS_{11}^0$ , где  $RS_{11}^0$  – система-класс, включающая все поддерживающие признаки предметной области, т.е. являющаяся функциональной ролью.  $RS_{11}^0$  – предельно широкая роль, соответствующая классу «свойство». Справедливо заметить, что в этом случае также будут выполняться соотношения (3) и (4). Это подтверждает структуру иерархии концептуальных систем и Утверждение 2.

### Заключение

Рассмотренный в данной статье способ описания знаний является универсальным, т.к. учитывает не только материальные, но и концептуальные системы, отражающиеся в нашем сознании в виде понятийных знаний. Представленный способ позволяет описать структурные, функциональные и объектные



характеристики изучаемой предметной области как на уровне явлений, так и на уровне классов. Информационные системы, основанные на таком методе хранения знаний, позволяют хранить и обрабатывать опыт организаций в удобном виде. Кроме того, представленный метод описания знаний является формализованным, так как в данной работе показано, что для формального описания модели концептуальных знаний можно использовать системно-объектный подход «Узел – Функция – Объект» и формальные средства дескрипционной логики.

Кроме того, в работе показано, что понятия системно-объектного подхода «система-класс» и «свойство-класс» однозначно сопоставляются с понятиями дескрипционной логики. Синтаксис и семантика дескрипционной логики *ALCOIQ* и ее оригинального расширения *SNOIQ* позволяют обосновать структуру иерархии систем-классов и обязательность выполнения принципа моноцентризма для концептуальных систем. Введение понятий «объем» и «содержание» систем-классов и описание их средствами дескрипционной логики расширяет системную теорию, основанную на системно-объектном подходе. Полученные результаты в перспективе позволят совершенствовать существующие и создавать новые классификаторы (классификационные системы), являющиеся важным видом концептуальных моделей понятийных знаний.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 18-07-00355а, № 18-07-00356а, № 19-07-00290а, № 19-07-00111а, № 19-29-01047мк).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Советов Б.Я., Цехановский В.В., Чертовской В.Д. Представление знаний в информационных системах: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования – 2-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2012.
2. Спицын В.Г., Цой Ю.Р. С 72 Представление знаний в информационных системах: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007.
3. Морозова В.А., Паутов В.И. Представление знаний в экспертных системах: учебное пособие. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2017.
4. Ackoff R.L., General system theory and systems research: Contrasting conceptions of system science. // In Proceedings of the Second Systems Symposium at Case Institute of Technology. 1964.
5. Шрейдер Ю.А., Шаров А.А. Системы и модели. – М.: Радио и связь, 1982.
6. Дубровский В.Я. К разработке системных принципов: общая теория систем и альтернативный подход [Электронный ресурс]. <http://gtmarket.ru/laboratory/expertize/6566>. 2012.
7. Жихарев А.Г., Маторин С.И., Маматов Е.М., Смородина Н.Н. О системно-объектном методе представления организационных знаний // Научные ведомости БелГУ. Сер. Информатика. 2013. № 8 (151). Выпуск № 26/1.
8. Маторин С.И., Жихарев А.Г., Михелев В.В. Учет общесистемных закономерностей при концептуальном моделировании понятийных знаний // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2019. – № 3 – С. 12–23.
9. Маторин С.И., Соловьева Е.А. Детерминантная модель системы и системологический анализ принципов детерминизма и бесконечности мира // Научно-техническая информация. Сер. 2. 1996. № 8.
10. Маторин С.И., Жихарев А.Г. Системный подход к классам объектов // Сборник трудов 8-й Международной конференции «Системный анализ и информационные технологии (САИТ)». – М.: ФИЦ ИУ РАН, 2019.
11. Маторин С.И., Михелев В.В. Анализ роли и структуры информационных (концептуальных) систем // НТИ. Серия 2. 2020. № 4.
12. Мельников Г.П. Системология и языковые аспекты кибернетики. – М.: Советское радио, 1978.
13. Schmidt-Schauss M., Smolka G. Attributive concept descriptions with complements // Artificial Intelligence. Elsevier Science Publishing Company, Inc. 1991. № 48 (1).

14. Baader F., Calvanese D., McGuinness L., Nardi D. Patel-Schneider P.F. The Description logic handbook: theory, implementation, and applications. Cambridge University Press. 2003.
15. Богданов А.А. Тектология: всеобщая организационная наука. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Экономика, 1989.

**Маторин Сергей Игоревич**

ЗАО «СофтКоннект», г. Белгород

Д.т.н., профессор, заместитель генерального директора по науке и инновациям

E-mail: matorin@softconnect.ru

**Михелёв Владимир Владимирович**

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород (НИУ «БелГУ»)

Аспирант кафедры прикладной информатики и информационных технологий

E-mail: keeper121@ya.ru

**Жихарев Александр Геннадиевич**

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород (НИУ «БелГУ»)

К.т.н., доцент кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: zhikharev@bsu.edu.ru