

# СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ

## SYSTEM ANALYSIS AND PROCESSING OF KNOWLEDGE

УДК 001.51; 005

DOI 10.18413/2411-3808-2019-46-2-296-304

### ФОРМАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМНО-ОБЪЕКТНОГО ПОДХОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДЕСКРИПЦИОННОЙ ЛОГИКИ

### FORMALIZATION OF SYSTEM-OBJECTIVE APPROACH WITH THE USE OF DESCRIPTIONAL LOGIC

В.В. Михелев<sup>1</sup>, С.И. Маторин<sup>2</sup>  
V.V. Mikhelev<sup>1</sup>, S.I. Matorin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белгородский государственный национальный исследовательский университет,  
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, д. 85

<sup>2</sup>ЗАО «СофтКоннект», Россия, 308023, г. Белгород, ул. Студенческая, д. 19, кор. 1

<sup>1</sup>Belgorod National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia

<sup>2</sup>CJSC «SoftConnect», 19 cor. 1 Student St., Belgorod, 308023, Russia

E-mail: keeper121@ya.ru matorin@softconnect.ru

#### Аннотация

В данной статье приводится краткое описание системно-объектного подхода «Узел-Функция-Объект». Описаны основные теоретические понятия дескрипционной логики на основе базовой логики *ALC*. Предложено ее расширение в виде логики *ALCOQ*. Предложен новый способ формализации понятия «система» в виде трехэлементной конструкции «Узел-Функция-Объект» с помощью дескрипционной логики *ALCOQ*. Показаны примеры операций над системами в рамках системно-объектного подхода с использованием логики *ALCOQ*, такие как соединение двух систем, объединение систем по входу, объединение систем по выходу, сложение объединения по выходу с объединением по входу.

#### Abstract

This article provides a brief description of the «Union-Function-Object» system-object approach, proposes a new way to formalize the «Union-Function-Object» three-element construction (UFO-element) using descriptive logic *ALCOQ*. Considered the possibility of using DL for representing systems in an unambiguous, formalized form. Such logics combine rich expressive capabilities and relatively low computational complexity. DL uses the concepts of individual, concept and role. The basic theoretical concepts of description logic (DL) are described on the basis of the *ALC* DL and its extension *ALCOQ*. A description was given of each part of the UFO element in form of *ALCOQ* DL. Examples of operations on systems formalized using the *ALCOQ* DL-based UFO-approach are shown on the basis of graphic formalization. For instance, connecting two systems, combining systems on an input, combining systems on an output, adding up a combining on an output and combining on an input. The described method of system-object knowledge modeling allows to obtain logical chains of concepts and connect them with roles.

**Ключевые слова:** системно-объектный подход, формализация, элемент «Узел-Функция-Объект», дескрипционная логика *ALC* и *ALCOQ*.

**Keywords:** system-object approach, formalization, element «Union-Function-Object», *ALC* and *ALCOQ* descriptive logic.

## Введение

Несмотря на более чем полувековую историю системных исследований, наличие национальных и международных сообществ, работающих в данном направлении, наличие периодических изданий, конференций, множества публикаций и, наконец, учебных дисциплин по теории систем и системному анализу почти в каждом университете, теория систем (общая или абстрактная) находится в настоящее время на этапе формирования своего фундамента. Существующие теоретические построения, как бы они ни назывались, не представляют собой полноценной законченной научной теории, ни содержательной, ни формальной. Кроме того, как ни странно, они не обосновывают и не включают в себя как составную часть известные общесистемные принципы и закономерности. Данная ситуация обсуждается уже давно. Результаты этих обсуждений и результаты формирования теории систем можно проследить в многочисленных повторяющих друг друга публикациях (например, [Прангишвили, 2000; Волкова, Денисов, 2015]), в том числе, в Интернете (например, см. Википедию и [Дубровский, 2012; Мельник, 2013; Безматерных, 2017]). Данная ситуация побуждает исследователей предлагать различные варианты системного подхода и применять их для создания теории систем.

Одним из вариантов такого системного подхода, на основе которого строится не теоретико-множественная системная теория, является системно-объектный подход «Узел-Функция-Объект» (УФО-подход) [Маторин и др., 2006]. Исследования в рамках данного подхода в последнее время позволили предложить концепцию системной теории, учитывающей общесистемные закономерности и обосновывающей их взаимосвязи [Маторин и др., 2016а; Маторин и др., 2016б; Маторин и др. 2017; Маторин, Жихарев, 2018]. Системно-объектный УФО-подход сводится к следующим основным положениям.

Система представляется как *функциональный объект*. Функция данного объекта обусловлена функцией объекта более высокого яруса (надсистемы). Явление обусловленности функции системы функцией надсистемы рассматривается как функциональный запрос надсистемы на систему с определенной функцией – *внешняя детерминанта системы*. Она является целью существования и причиной возникновения системы, т. е. *универсальным системообразующим фактором*, так как определяет структурные, функциональные и субстанциальные свойства системы. Функционирование системы под влиянием внешней детерминанты является ее *внутренней детерминантой* и устанавливает между системой и надсистемой *отношение поддержания функциональной способности более целого*. Процесс приближения внутренней детерминанты системы к ее внешней детерминанте рассматривается как адаптация системы к запросу надсистемы. Кроме того, предполагается, что каждая система обязательно связана с другими системами. Данные связи представляют собой потоки элементов глубинного яруса связанных систем. Связи между подсистемами системы – поддерживающие, связи между данной системой и внешними системами – функциональные [Мельников, 1978].

В настоящее время одним из основных способов формализации УФО-подхода является исчисление объектов Абади-Кардели. В данном исчислении абстрактный объект представляет собой набор методов и полей. Использование метода – это вызов метода, изменение метода – это переопределение. Поле – частный случай метода. Изменение значения поля является частным случаем переопределения метода. Методы выполняются в контексте некоторого объекта, то есть имеют ссылку на объект. По аналогии с исчислением объектов система  $s_i$  как УФО-элемент представляется в виде специального объекта [Жихарев и др., 2013]:

$$s_i = [(L_i?, L_i!); fs(L_i?)L_i!; (O_i?, O_i!, O_i f)], \text{ где:}$$

–  $L_i?$  – поле специального объекта для описания множества входящих интерфейсных потоков, соответствующих входящим связям системы  $s_i$ ,



–  $L_i!$  – поле специального объекта для описания множества исходящих интерфейсных потоков, соответствующих выходящим связям системы  $s_i$ . Причем:  $L_i? \subset L$  и  $L_i! \subset L$ , т. е. относятся к множеству всех связей  $L$ .

–  $fs$  – метод специального объекта, описывающий функцию системы  $s_i$ , т. е. процесс преобразования входящих интерфейсных потоков (входящих связей системы)  $L_i?$  в выходящие  $L_i!$ . В соответствии с принятой в теории объектов манерой обозначений, метод объекта представляется в следующем виде:  $fs(L_i?)L_i!$ , где  $fs$  – метод объекта (функция/процесс системы  $s_i$ ) с областью определения  $L_i?$  и областью значений  $L_i!$ , соответственно.

–  $O_i?$  – множество полей, которое содержит интерфейсные входные характеристики специального объекта (системы  $s_i$ ),  $O_i!$  – множество полей, которое содержит интерфейсные выходные характеристики специального объекта (системы  $s_i$ ),  $O_i f$  – множество полей, которое содержит передаточные характеристики специального объекта (системы  $s_i$ ). При этом множество полей для описания объектных характеристик системы  $O_i = O_i? \cup O_i! \cup O_i f$ .

Это выражение визуально хорошо согласуется с системно-объектным пониманием системы как функционального объекта, функция которого обусловлена функцией объекта более высокого яруса [Мельников, 1978]. Оно учитывает структурные, функциональные и субстанциальные (объектные) характеристики системы. При этом метод (функциональная зависимость) может быть подробно описан, например, с помощью скрипта. Однако, при всей полноте информации в приведенном выше выражении для специального объекта как системы (УФО-элемента), такое описание систем не позволяет выполнять с ними логические операции.

С другой стороны, для описания архитектур информационных систем могут использоваться дескрипционные логики и онтологический подход [Ивашко и др., 2012]. Дескрипционные логики (ДЛ) являются семейством языков для формального описания знаний. Использование ДЛ позволяет описать элементы системы с помощью некоторых логических выражений. С точки зрения авторов данной статьи использование ДЛ для формализации системно-объектного подхода является перспективным направлением.

### Понятия дескрипционной логики

Дескрипционные логики или описательные логики – это семейство языков для представления знаний в недвусмысленном, формализованном виде. Такие логики сочетают в себе богатые выразительные возможности и относительно невысокую вычислительную сложность. ДЛ оперируют понятиями *индивид*, *концепт* и *роль* [Baader et al., 2003]. Роли используются для описания двуместных отношений (в базовой ДЛ). Например, «X есть родитель для Y». В качестве X и Y – объекты, можно подставлять произвольные предметы. Концепты используются для описания классов некоторых объектов, например, «Люди», «Животные», «Машины». Индивид представляет собой конкретное понятие предметной области, экземпляр класса, например: «Мария», «Иван», «собака».

С помощью языка ДЛ можно формировать утверждения общего вида, например, «всякая Женщина есть человек», такие утверждения называют – TBox или T. В дополнение используется набор утверждений частного вида, называемые – ABox или A. Например, «Иван имеет\_в\_собственности Машину1». Вместе эти понятия составляют так называемую базу знаний  $K = T \cup A$ .

Существует множество логик, принадлежащих к семейству ДЛ, они отличаются набором операций и ограничений. Для того чтобы задать какую-либо ДЛ, необходимо задать ее синтаксис и семантику. Синтаксис показывает, какие выражения можно считать правильно построенными в данной логике. Семантика объясняет, как интерпретировать эти выражения, то есть придает им некоторый смысл. Одной из самых известных и базовых дескрипционных логик является логика ALC [Schmidt-Schauss, Smolka, 1991]. Рассмотрим далее кратко ее синтаксис.

Пусть множество концептов логики *ALC* задается следующими правилами:

- Символы  $\perp$  и  $\top$  – концепты (представляющие истину и ложь);
- Всякий атомарный концепт *A* является концептом;
- Если *C* – концепты, то  $\neg C$  – концепт (дополнение концепта *C*);
- Если *C* и *D* – концепты, то  $C \sqcap D$  и  $C \sqcup D$  – концепты (пересечение и объединение);
- Если *C* – концепт, а *R* – атомарная роль, то  $\exists R.C$  и  $\forall R.C$  – концепты;
- Никакие другие выражения не являются концептами.

Семантика логики *ALC* задается с помощью понятия интерпретации. Интерпретация есть пара  $I = (\Delta, \cdot^I)$ , состоящая из непустого множества  $\Delta$ , называемого областью данной интерпретации, и интерпретирующей функции  $\cdot^I$ , которая сопоставляет:

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

$CN = \{A_1, \dots, A_m\}$  и  $RN = \{R_1, \dots, R_n\}$  – конечные непустые множества атомарных концептов и атомарных ролей.

Для всех концептов логики *ALC* существует несколько правил:

- $\top^I = \Delta$ ,  $\perp^I = \emptyset$ ,  $(\neg C)^I = \Delta \setminus C^I$ ;
- $(C \sqcap D)^I = C^I \cap D^I$ ,  $(C \sqcup D)^I = C^I \cup D^I$ ;
- $(\exists R.C)^I = \{e \in \Delta \mid \text{существует } d \in \Delta \text{ такой, что } \langle e, d \rangle \in R^I \text{ и } d \in C^I\}$ ;
- $(\forall R.C)^I = \{e \in \Delta \mid \text{для всех } d \in \Delta \text{ таких, что } \langle e, d \rangle \in R^I, \text{ выполнено } d \in C^I\}$ .

Пример. Пусть областью интерпретации *I* будет множество  $\Delta$  всех биологических особей. Атомарные концепты: *Animal*, *Cat*, *Human*, *Male* – множества всех животных, кошек, людей, особей мужского пола. Концепты обладают атомарными ролями *hasParent* и *hasChild*, показывающими связь концептов. Таким образом, пара  $\langle e, d \rangle$  принадлежит отношению *hasChild*, если *d* является ребенком *e*, а отношение *hasParent*<sup>*I*</sup> является обратным к *hasChild*<sup>*I*</sup>. При такой интерпретации составные концепты обретают следующий смысл.  $Male \sqcap Cat$  – множество котов (мужские особи) или  $Male \sqcap \exists hasParent.(Human \sqcap \neg Male)$  – множество особей мужского пола, у которых есть родитель, являющийся человеком не мужского пола.

Существуют многочисленные расширения логики *ALC* путем добавления новых конструкторов для создания составных конструкторов и ролей или для добавления новых видов аксиом. Например, добавляют новый конструктор, обеспечивающий *ограничение на роли*. Появляется качественное ограничение (*Q*), если *R* есть роль, *C* концепт, а  $n \geq 0$  – натуральное число, то выражение  $\leq n R.C$  – концепт. Можно выразить и количественное ограничение (*N*), так концепт вида  $\leq n R$  эквивалентен концепту  $\leq n R.\top$ , что следует из их семантики. Логика с такими конструкторами называется *ALCQ*. Расширим нашу логику с помощью понятия *номинал* (*O*). Если *a* есть индивид, то  $\{a\}$  есть концепт. Семантика:  $\{a\}^I = \{a^I\}$ . Таким образом, если индивидное имя *a* интерпретируется как элемент  $a^I \in \Delta$ , то номинал  $\{a\}$  интерпретируется как одноэлементное множество  $\{a^I\} \subseteq \Delta$ , следовательно, они являются полноправными концептами и можно писать  $A \sqcup \{a\}$  или  $\exists R.\{a\}$ . Такая логика с учетом предыдущих конструкторов называется *ALCOQ*.

Описанная выше логика *ALCOQ* может быть отражена на трехэлементную конструкцию «Узел-Функция-Объект». Так можно соотнести понятия УФО-элемента и дескриптивной логики *ALCOQ*, см. таблицу.

Выделим графический формализм на рисунке 1, представляющий систему как УФО-элемент и принадлежащий к логике *ALCOQ*.

Приведенная выше формализация УФО-элемента с помощью логики *ALCOQ* позволяет моделировать узловые, функциональные и субстанциальные (объектные) характеристики. Рассмотрение УФО-элемента в виде пересечения составных концептов (объект – концепт, функция – концепт, узел – концепт) позволяет записывать его в виде единого

выражения. Такая формализация дает возможность описывать системы целиком в виде выражений вида (1). Покажем примеры формализации сложных систем.

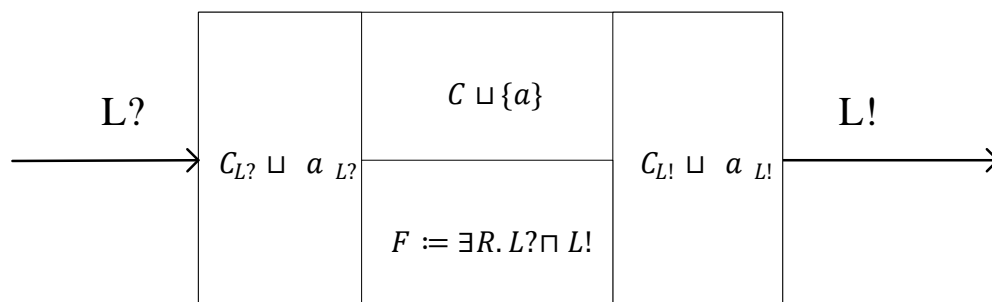


Рис. 1. Графический формализм системы как УФО-элемента

Fig. 1. Graphic formalism of the system as a UFO-element

Таблица 1

Table 1

Связь формализмов УФО-подхода и дескрипционной логики *ALCOQ*  
Relationship of UFO-Approach Formalisms and *ALCOQ* descriptive logic

Аспект рассмотрения системы	Формализмы дескриптивной логики на основе логики <i>ALCOQ</i>
<b>U</b> – узел как перекресток связей системы более высокого яруса (входных и выходных)	$U = L? \sqcap L! \sqcap \exists R. (L?) \sqcap \exists R. (L?)$ – узел-концепт, связывающий входы $L?$ и выходы $L!$ , $L?$ и $L!$ – объекты-концепты. $L? = C_{L?} \sqcup \{a\}_{L?}$ , $L! = C_{L!} \sqcup \{a\}_{L!}$ .
<b>F</b> – функция, преобразующая входы в выходы	$F = \exists R. L? \sqcap L!$ – функция-концепт, где $R$ – роль отношения входа к выходу.
<b>O</b> – объект, реализующий процесс (функцию)	$O = (C \sqcup \{a\}) \sqcap \exists F \sqcap \exists U \quad (1)$ – объект-концепт, где $C$ – другой объект-концепт, $\{a\}$ – номинал, представляющий собой индивид-концепт, вместе они моделируют субстанциальную характеристику системы. $F$ – функция-концепт, выражение $U$ – узел-концепт, показывает связь конкретного объекта (системы) с объектами (системами) верхнего и нижнего яруса.

### Операции с УФО-элементами, в логике *ALCOQ*

Дескриптивная логика *ALCOQ* в ее отражении на УФО-элемент позволяет описать широкий набор операций. Пусть даны два объекта  $O_i$  и  $O_j$ , причем  $[O_i = (C_i \sqcup \{a_i\}) \sqcap \exists F_i \sqcap \exists U_i; F_i = \exists R. L?_i \sqcap L!_i; U_i = L?_i \sqcap L!_i \sqcap R. L?_i \sqcap R. L!_i]$  и  $[O_j = (C_j \sqcup \{a_j\}) \sqcap \exists F_j \sqcap \exists U_j; F_j = \exists R. L?_j \sqcap L!_j; U_j = L?_j \sqcap L!_j \sqcap R. L?_j \sqcap R. L!_j]$ , тогда можно определить несколько операций по аналогии с [Маторин и др., 2016]:

- Соединение объектов  $L!_i \subseteq L?_j$ . Графически операция объединения показана на рисунке 2. Покажем далее операцию присоединения двух объектов  $O_i$  и  $O_j$  в логике *ALCOQ*:

$$O_{ij} = O_i \sqcap O_j = ((C_i \sqcup \{a_i\}) \sqcap (C_j \sqcup \{a_j\})) \sqcap \exists F_{ij} \sqcap \exists U_{ij};$$

$$F_{ij} = \exists R. L?_i \sqcap \exists R. L?_j \sqcap L!_i \sqcap L!_j;$$

$$U_{ij} = L?_i \sqcap L!_i \sqcap R. L?_i \sqcap R. L!_i \sqcap L?_j \sqcap L!_j \sqcap R. L?_j \sqcap R. L!_j.$$

В связи с тем, что системы соединяются последовательно, можно записать:

$$\left[ \begin{array}{l} O_{ij} = ((C_i \sqcup \{a_i\}) \sqcap (C_j \sqcup \{a_j\})) \sqcap \exists F_{ij} \sqcap \exists U_{ij}; \\ F_{ij} = \exists R. L?_i \sqcap L!_j; \\ U_{ij} = L?_i \sqcap L!_j \sqcap R. L?_i \sqcap R. L!_j \end{array} \right].$$

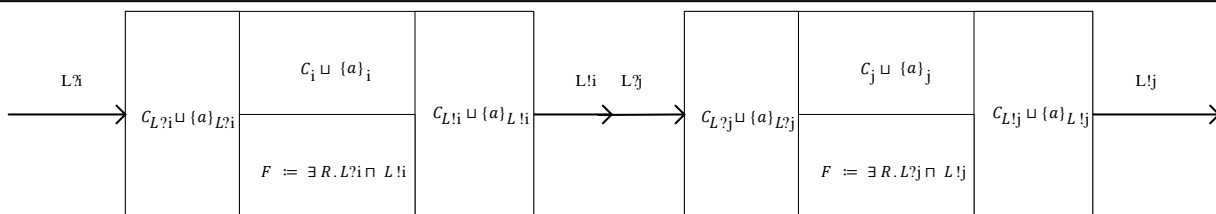


Рис. 2. Соединение UFO-объектов

Fig. 2. Joining of UFO-objects

- Объединение систем по входу  $L?_i = L?_j$ . Графически операция объединения по входу показана на рисунке 3.

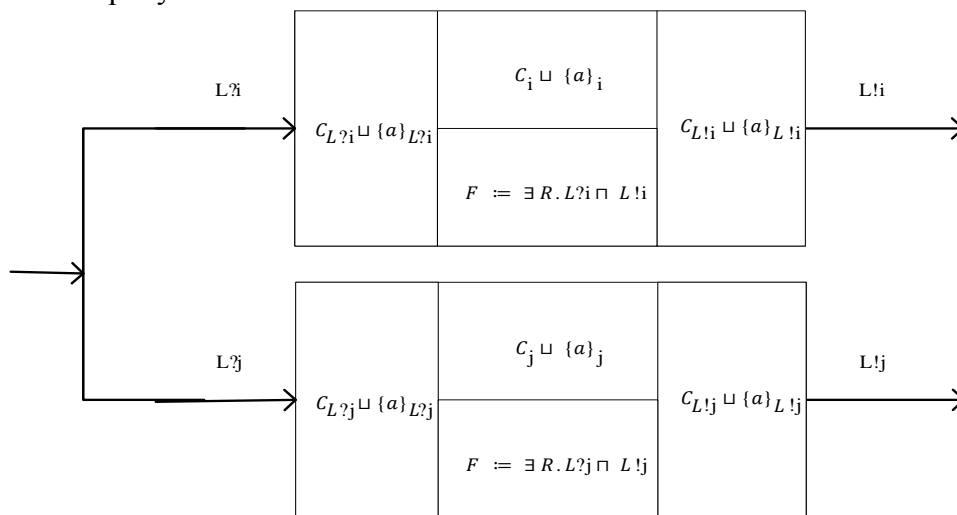


Рис. 3. Объединение объектов по входу

Fig. 3. Combining objects at the input

Покажем далее операцию присоединения двух объектов  $O_i$  и  $O_j$  в логике *ALCOQ*:

$$\left[ \begin{array}{l} O_{ij} = ((C_i \sqcup \{a_i\}) \sqcup (C_j \sqcup \{a_j\})) \cap \exists F_{ij} \cap \exists U_{ij}; \\ F_{ij} = \exists R.L?_i \cap L!_i \cap L!_j; \\ U_{ij} = L?_i \cap L!_i \cap L!_j \cap R.L?_i \cap R.(L!_i \cap L!_j) \end{array} \right].$$

- Объединение систем по выходу  $L!_i = L!_j$ . Графически операция объединения по входу показана на рисунке 4.

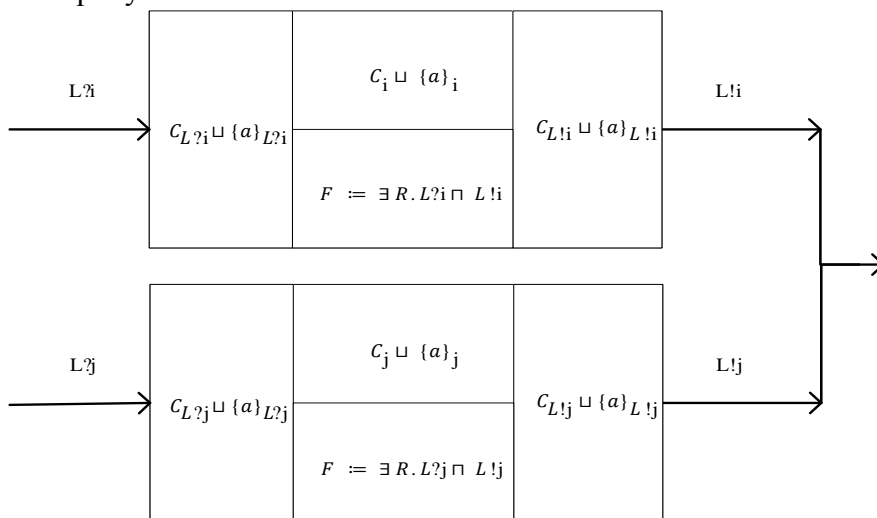


Рис. 4. Объединение объектов по выходу

Fig. 4. Combining objects at the output

С помощью логики *ALCOQ* запишем:

$$\left[ \begin{array}{l} O_{ij} = ((C_i \cup \{a_i\}) \cup (C_j \cup \{a_j\})) \cap \exists F_{ij} \cap \exists U_{ij}; \\ F_{ij} = \exists R. L?_i \cap \exists R. L?_j \cap L!_j; \\ U_{ij} = L?_i \cap L?_j \cap L!_j \cap R. L!_j \cap R. (L?_i \cap L?_j) \end{array} \right].$$

• Сложение объединения по выходу с объединением по входу,  $L!_i = L!_j = L?_k = L?_l$ , рисунок 5:

$$\left[ \begin{array}{l} O_{ijkl} = ((C_i \cup \{a_i\}) \cup (C_j \cup \{a_j\})) \cap \\ \cap ((C_k \cup \{a_k\}) \cup (C_l \cup \{a_l\})) \cap \exists F_{ijkl} \cap \exists U_{ijkl}; \\ F_{ijkl} = \exists R. L?_i \cap \exists R. L?_j \cap L!_i \cap L!_k; \\ U_{ijkl} = L?_i \cap L?_j \cap L!_i \cap L!_k \cap R. (L?_i \cap L?_j) \cap R. (L!_i \cap L!_k) \end{array} \right].$$

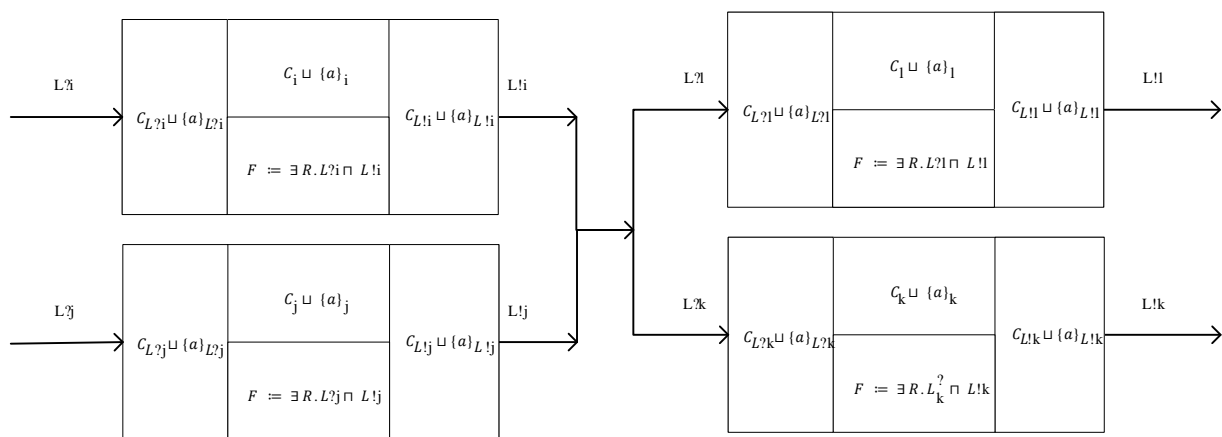


Рис. 5. Сложение объединения по выходу с объединением по входу

Fig. 5. Addition of a union on an input with a union on an output

### Заключение

В работе впервые рассмотрена возможность формализации системно-объектного подхода «Узел-Функция-Объект» с помощью дескрипционной логики *ALCOQ*. С использованием семантики и синтаксиса логики *ALCOQ* было предложено описание и графический формализм для системы как УФО-элемента. Рассмотрение узла, функции и объекта системно-объектного подхода с помощью понятия концепт логики *ALCOQ* позволяет использовать синтаксис этой логики для построения иерархии функциональных систем и выполнять логические операции для синтеза других систем. Были показаны различные примеры операций над объектами с помощью логики *ALCOQ*.

Полученные результаты показывают целесообразность формализации УФО-подхода с помощью логики *ALCOQ*. Описанный способ системно-объектного моделирования знаний позволяет получать логические цепочки концептов и связывать их ролями. Развитие данного способа формализации является целью дальнейших исследований.

**Работа поддержана грантами РФФИ 18-07-00355а, 19-07-00290а и № 19-07-00111а**

### Список литературы References

1. Волкова В.Н., Денисов А.А. 2015. Теория систем и системный анализ: учебник для академического бакалавриата. 2-е изд., перераб. и доп. М., Издательство Юрайт, 616.

Volkova V.N., Denisov A.A. 2015. *Teoriya sistem i sistemnyj analiz: uchebnik dlja akademicheskogo bakalavriata 2-e izd., pererab. i dop.* [System Theory and Systems Analysis: A Textbook for Academic Baccalaureate]. M., Izdatel'stvo Jurajt, 616.

2. Прангишвили И.В. 2000. Системный подход и общесистемные закономерности. М., СИНТЕГ, 528.

Prangishvili I.V. 2000. *Sistemnyj podhod i obshhesistemnye zakonomernosti* [System approach and system-wide laws]. M., SINTEG, 528.

3. Безматерных В.Н., Алексеев П.В., Чернавский Д.С., Винограй Э.Г. 2017. Что такое системный подход? Зачем он нужен? О системном подходе. Электронный ресурс. URL: <https://files.scienceforum.ru/pdf/2017/31116.pdf> (дата обращения: 3 марта 2019).

Bezmaternyh V.N., Alekseev P.V., Chernavskij D.S., Vinograj Je.G. 2017. *Chto takoe sistemnyj podhod? Zachem on nuzhen? O sistemnom podhode* [What is a systematic approach? Why is it needed? O systematic approach]. Available at: <https://files.scienceforum.ru/pdf/2017/31116.pdf> (accessed: 3 March 2019).

4. Дубровский В.Я. 2012. К разработке системных принципов: общая теория систем и альтернативный подход. Электронный ресурс. URL: <http://gtmarket.ru/laboratory/expertize/6566> (дата обращения: 3 марта 2019).

Dubrovskij V.Ja. 2012. *K razrabotke sistemnyh principov: obshhaja teoriya sistem i al'ternativnyj podhod* [On the development of system principles: general system theory and an alternative approach]. Available at: <http://gtmarket.ru/laboratory/expertize/6566> (accessed: 3 March 2019).

5. Мельник М.С. 2013. Формирование общей теории систем: результаты и проблемы исследования. Электронный ресурс. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/formirovanie-obschey-teorii-sistem-rezultaty-i-problemy-issledovaniya> (дата обращения: 3 марта 2019).

Mel'nik M.S. 2013. *Formirovanie obshej teorii sistem: rezultaty i problemy issledovaniya* [Formation of a general theory of systems: results and problems of research]. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/formirovanie-obschey-teorii-sistem-rezultaty-i-problemy-issledovaniya> (accessed: 3 March 2019).

6. Маторин С.И., Попов А.С., Маторин В.С. 2005. Моделирование организационных систем в свете нового подхода «Узел-Функция-Объект». Научно-техническая информация. Сер. 2. 1: 1–8.

Matorin S.I., Popov A.S., Matorin V.S. 2005. *Modelirovanie organizacionnyh sistem v svete novogo podhoda «Uzel-Funkcija-Ob'ekt»* [Modeling of organizational systems in the light of the new approach "Unit-Function-Object"]. *Nauchno-tehnicheskaja informacija* [Scientific and technical information]. Ser. 2. 1: 1–8.

7. Маторин С.И., Зимовец О.А., Щербинина Н.В., Сульженко Т.С. 2016. Концепция формализованной теории систем, основанной на подходе «Узел-Функция-Объект». Научные ведомости БелГУ. Экономика. Информатика. 16(237): 159–166.

Matorin S.I., Zimovec O.A., Shherbinina N.V., Sul'zhenko T.S. 2016. *Concept formalized theory system based an approach «Unit-Function-Object»*. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Economics. Information technologies*. 16(237): 159–166.

8. Маторин С.И., Зимовец О.А., Жихарев А.Г. 2016. Общесистемные принципы в терминах системно-объектного подхода «Узел-Функция-Объект». Труды Института системного анализа РАН. 1(66): 10–17.

Matorin S.I., Zimovec O.A., Zhigarev A.G. 2016. *System-wide principles in terms of systemically-object approach "Unit-Function-Object"*. *Proceedings of the institute for systems analysis Russian Academy of Sciences*. 1(66): 10–17.

9. Маторин С.И., Жихарев А.Г., Зимовец О.А. 2017. Обоснование взаимосвязей общесистемных принципов и закономерностей с позиции системно-объектного подхода. Труды Института системного анализа РАН. 67(3): 54–63.

Matorin S.I., Zhigarev A.G., Zimovec O.A. 2017. *Justification interrelationships of system-wide principles and laws from the perspective of system-object approach*. *Proceedings of the institute for systems analysis Russian Academy of Sciences*. 67(3): 54–63.

10. Маторин С.И., Жихарев А.Г. 2018. Общесистемные закономерности как содержательные элементы системной теории, основанной на системно-объектном подходе. Научные ведомости БелГУ. Экономика. Информатика. 45(2): 372–284.





Matorin S.I., Zhiharev A.G. 2018. System-wide regularities as meaningful elements of a system theory based on a system-object approach. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Economics. Information technologies.* 45(2): 372–284.

11. Мельников Г.П. 1978. Системология и языковые аспекты кибернетики. М.: Сов. радио, 368.

Meľnikov G.P. 1978. Sistemologija i jazykovye aspekty kibernetiki [Systematology and language aspects of cybernetics]. М., Sov. radio, 368.

12. Маторин С.И., Ельчанинов Д.Б., Зиньков С.В., Маторин В.С. 2006. Синтез и анализ систем в свете подхода «Узел-Функция-Объект». НТИ. Сер. 2. 8: 10–16.

Matorin S.I., El'chaninov D.B., Zin'kov S.V., Matorin V.S. 2006. Sintez i analiz sistem v svete podhoda «Uzel-Funkcija-Ob'ekt» [Synthesis and analysis of systems in the light of the “Unit-Function-Object” approach]. NТИ. Ser. 2. 8: 10–16.

13. Жихарев А.Г., Маторин С.И. 2011. Метод формализации организационных знаний. Искусственный интеллект и принятие решений. 2: 12–18.

Zhiharev A.G., Matorin S.I. 2011. Method of formalization of organizational knowledge. *Artificial Intelligence and Decision Making.* 2: 12–18.

14. Зимовец О.А., Маторин С.И. 2012. Интеграция средств формализации графоаналитических моделей «Узел-Функция-Объект». Искусственный интеллект и принятие решений. 1: 57–64.

Zimovec O.A., Matorin S.I. 2012. Integration of formalities of the “Unit-Function-Object” graph-analytical models. *Artificial Intelligence and Decision Making.* 1: 57–64.

15. Михелев М.В., Маторин С.И. 2010. Формализация УФО-элементов с помощью алгебраического аппарата пи-исчисления. Научные ведомости БелГУ. История. Политология. Экономика. Информатика 19(90): 145–149.

Mihelev M.V., Matorin S.I. 2010. Formalization ufo-models on the basis of picalculation. *Belgorod State University Scientific Bulletin. History. Political science. Economics. Information technologies.* 19(90): 145–149.

16. Жихарев А.Г., Маторин С.И., Маматов Е.М., Смородина Н.Н. 2013. О системно-объектном методе представления организационных знаний. Научные ведомости БелГУ. История. Политология. Экономика. Информатика. 8(151): 137–146.

Zhiharev A.G., Matorin S.I., Mamatov E.M., Smorodina N.N. 2013. On the system-object method of presenting organizational knowledge. *Belgorod State University Scientific Bulletin. History. Political science. Economics. Information technologies.* 8(151): 137–146.

17. Ивашко А.Г., Иванова Е.И., Овсянникова Е.О., Коломиец С.И., 2012. Применение дескрипционной логики для описания архитектуры информационной системы. Вестник Тюменского государственного университета. 4: 137–142.

Ivashko A.G., Ivanova E.I., Ovsjannikova E.O., Kolomic S.I., 2012. The use of description logic to describe the architecture of an information system. *Bulletin of Tyumen State University.* 4: 137–142.

18. Зимовец О.А., Маторин С.И., Цоцорина Н.В. Гуль С.В. 2014. Исчисление функций – алгебраический аппарат процессного подхода. Научные ведомости БелГУ. История. Политология. Экономика. Информатика. 21(192): 154–161.

Zimovec O.A., Matorin S.I., Tsotsorina N.V. Gul' S.V. 2014. Calculus of functions – algebraic apparatus process approach. *Belgorod State University Scientific Bulletin. History. Political science. Economics. Information technologies.* 21(192): 154–161.

19. Baader F., Calvanese D., McGuinness L., Nardi D. Patel-Schneider P.F. 2003. *The Description Logic Handbook: Theory, Implementation, and Applications.* Cambridge University Press: 576.

20. Schmidt-Schauss M., Smolka G. 1991. Attributive concept descriptions with complements. *Artificial Intelligence.* 48(1): 1–26.