

УДК 004.823

DOI: 10.46960/1816-210X_2021_4_16

**ФРЕЙМОВОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ
ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ, УПРАВЛЯЕМОЙ МОДЕЛЯМИ****С.Н. Никольский**ORCID: 0000-0002-5648-7394 e-mail: nikolskij@mirea.ru

МИРЭА – Российский технологический университет

*Москва, Россия***И.И. Антонова**ORCID: 0000-0001-9708-3567 e-mail: antonova_i@mirea.ru

МИРЭА – Российский технологический университет

*Москва, Россия***Н.Ш. Газанова**ORCID: 0000-0001-7512-1008 e-mail: gazanova@mirea.ru

МИРЭА – Российский технологический университет

*Москва, Россия***К.С. Сумкин**ORCID: 0000-0002-6678-0789 e-mail: sumkin@mirea.ru

МИРЭА – Российский технологический университет

Москва, Россия

В результате онтологического анализа среды моделирования построено фреймовое представление системы поддержки принятия решений, управляемой моделями. Анализируется задача автоматизации в отношении объектов, удовлетворяющих кибернетической точке зрения на интеллектуальное поведение. Предметом исследования является среда моделирования и ее изучение в контексте принципов концептуально-ориентированного моделирования и онтологических систем представления знаний. Процесс разработки компьютерной информационной системы задается в форме модели жизненного цикла программного обеспечения. Основным элементом модели жизненного цикла является среда моделирования, в которой осуществляется последовательный синтез компьютерной информационной системы. Принципиальным требованием к этой среде является ее универсальность, т.е. возможность использования при решении задачи автоматизации широкого класса объектов исследования.

Ключевые слова: представление знаний, фреймовая модель, системы поддержки принятия решений, онтологическая редукция, метаязыки, семантика, метаонтология, моделирование, жизненный цикл программного обеспечения, логика.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Никольский, С.Н. Фреймовое представление системы поддержки принятия решений, управляемой моделями / С.Н. Никольский, И.И. Антонова, Н.Ш. Газанова, К.С. Сумкин // Труды НГТУ им. П.Е. Алексеева. 2021. № 4. С. 16-31. DOI: 10.46960/1816-210X_2021_4_16

**FRAME REPRESENTATION
OF A MODEL-DRIVEN DECISION SUPPORT SYSTEM****S.N. Nikolsky**ORCID: 0000-0002-5648-7394 e-mail: nikolskij@mirea.ru

MIREA-Russian Technological University

Moscow, Russia

I.I. Antonova

ORCID: **0000-0001-9708-3567** e-mail: **antonova_i@mirea.ru**

MIREA-Russian Technological University

Moscow, Russia

N.Sh. Gazanova

ORCID: **0000-0001-7512-1008** e-mail: **gazanova@mirea.ru**

MIREA-Russian Technological University

Moscow, Russia

K.S. Sumkin

ORCID: **0000-0002-6678-0789** e-mail: **sumkin@mirea.ru**

MIREA-Russian Technological University

Moscow, Russia

Abstract. As a result of the ontological analysis of the modeling environment, a frame representation of a decision support system controlled by models is constructed. The problem of automation in relation to objects satisfying the cybernetic point of view on intellectual behavior is analyzed. The subject of the research is the modeling environment and its study in the context of the principles of conceptually oriented modeling and ontological systems of knowledge representation. The process of developing a computer information system is defined in the form of a software lifecycle model. The main element of the life cycle model is the modeling environment in which the sequential synthesis of a computer information system is carried out. The principal requirement for this environment is its universality, i.e. the possibility of using a wide class of research objects in solving the automation problem.

Key words: knowledge representation, frame model, decision support systems, ontological reduction, metalanguages, semantics, meta-ontology, modeling, software lifecycle, logic.

FOR CITATION: Nikolsky S.N., Antonova I.I., Gazanova N.Sh., Sumkin K.S. Frame representation of a model-driven decision support system. Transactions of NNSTU n. a. R.E. Alekseev. 2021. № 4. Pp. 16-31.

DOI: 10.46960/1816-210X_2021_4_16

Задача автоматизации кибернетической модели информационного поведения

В настоящее время проводится множество исследований в области разработки моделей жизненного цикла программного обеспечения и универсальных сред моделирования, используемых на этапе проектирования и поддержки программных компонент [1]. Примерами таких сред являются ERM, UML, ARIS, 1C, SysML и др., применяемые на ранних стадиях процесса проектирования. На более поздних этапах часто используются технологии и методы сред типа MAPLE или специально разрабатываемых сред моделирования [2-4]. В контексте исследования связи процессов автоматизации и моделирования представляется интересным исследовать вопрос о разработке универсальных сред моделирования как проблему решения задачи автоматизации процессов поддержки принятия решений, связанных с понятиями *цель* и *управление*.

В обобщенной постановке эта задача может быть представлена в виде пары [5] (1):

$$(Inv, (I, H)) \quad (1)$$

Здесь внешний исследователь *Inv* решает задачу автоматизации следующих внутренних информационных процессов, обычно связываемых с понятиями *цели* и *управления* относительно объекта исследования *H*:

- процесс моделирования (MS – Modelling System);
- процесс принятия решений (DMS – Decision Making System);
- процесс управления с обратной связью (FCS – Feedback Control System);
- процесс коммуникации (CS – Communication System);
- психологические процессы (PS – Psychological System).

Эти пять процессов представляют кибернетическую точку зрения на интеллектуальное поведение. В паре (1) они соответствуют символу I, и образуют информационный фрейм I-frame, детализирующий структуру информационного поведения. Его можно рассматривать как систему поддержки принятия решений (СППР), управляемую моделями [4]. При решении задачи автоматизации этих процессов остановимся на автоматизации процесса моделирования MS объекта исследования H, который реализует внутренний исследователь Arch (2):

$$(Inv, (I, H)) = (Inv, (Arch, H)) \quad (2)$$

В такой постановке задача автоматизации сводится к задаче моделирования процесса моделирования, которую решает внешний исследователь Inv, определяя поведение внутреннего исследователя Arch в среде моделирования Im(H) [5].

Модели и принципы моделирования

Среда моделирования Im(H) задается через модели объекта исследования H и их типы. Поведение внутреннего исследователя Arch в среде Im(H) задается правилами построения моделей и правилами переходов между моделями. Вместе они задают процесс моделирования *Modelling System* = (Arch, Im(H)), применяемый к объекту исследования H(•), которым является выделенное значение переменной H.

Определим *среду* моделирования Im(H) и поведение исследователя Arch в Im(H), используя принципы концептуально-ориентированного моделирования:

- принцип характеристики;
- принцип структуризации;
- принцип отнесения;
- принцип онтологической редукции.

Принцип характеристики определяет модель объекта исследования H(•) следующим образом:

- модель представляется в виде связанных между собой характеристик объекта исследования H(•);
- характеристики могут быть простые и сложные, составленными из простых;
- характеристики относятся к следующим типам:
 - a) £-тип – лингвистические характеристики H(•) (называющие формы);
 - b) N-тип – числовые характеристики H(•) (параметры);
 - c) G-тип – структурные характеристики H(•) (структура).

Общей логической формой сложной характеристики является модельная система понятия [6]: $\langle [c], V(c), cont(c), 1(c) \rangle$.

- [c] – называющая форма понятия c (имя объекта исследования H(c))
- V(c) – объем понятия c,
- (cont(c), cont(1(c))) – содержание понятия c (признаки объекта исследования H(c))
- 1(c) – один элемент объема понятия V(c).

Принцип отнесения определяет символ H как переменную, отнесение которой состоит в присвоении ей значения, которое рассматривается как некоторый объект исследования H(•). Связь принципов характеристики и отнесения устанавливается диаграммой (3):

$$H \Rightarrow H(\bullet) \Rightarrow \langle [c], V(c), cont(c), 1(c) \rangle \quad (3)$$

Согласно данной диаграмме, при отнесении объекта исследования H(•) к понятию «с» ему ставятся в соответствие элементы модельной системы понятия «с». Следовательно, поведение Arch в среде моделирования Im(H) можно понимать как характеристику объекта исследования H(•) через его отнесение к понятию «с», выделяя следующие фундаментальные операции:

- операция классификации – характеристика через отнесение объекта исследования H(•) к объему понятия C, т.е. к классу ([c], V(c)):

$$\circ \quad H \Rightarrow H(\bullet) \rightarrow V(c)$$

- операция структуризации – характеристика через отнесение объекта исследования $H(\bullet)$ к одному элементу объема понятия C , т.е. к структурному типу $([c], 1(c))$ (4):

$$H \Rightarrow H(\bullet) \rightarrow 1(c). \quad (4)$$

Данная операция определяется диаграммой, задающей характеристику «целое» $1(E)$.

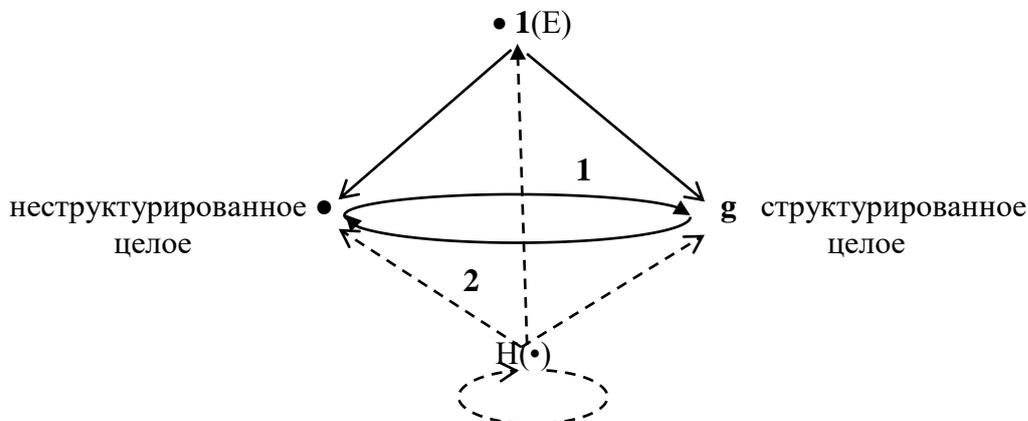


Рис. 1. Диаграмма понятия «целое»

Fig. 1. Diagram of the «whole» concept

Согласно диаграмме, модель объекта исследования $H(\bullet)$ строится в терминах понятия «целое», задаваемого метаонтологией $MetaU$ – целое = {«целое»}, которая определяет структурный тип и структурный статус объекта исследования при операции структуризации. Структурный тип есть форма «целого», в которой исследователь Arch строит модель объекта исследования $H(\bullet)$ при применении операции структуризации:

- если объект исследования $H(\bullet)$ рассматривается архитектором Arch как неструктурированное целое, то его структурным типом g считается «точка».
- если объект исследования $H(\bullet)$ рассматривается архитектором Arch, как структурированное целое, то его структурным типом g считается пара $g = \langle \text{Носитель, Связи между элементами носителя} \rangle$, где каждый элемент носителя структурного типа g есть «неструктурированное целое» и имеет структурный тип «точка».

Обозначим через G множество структурных типов. Каждый структурный тип $g \in G$ относится к структурным характеристикам из G -типа. Продолжим диаграмму операции структуризации (4) следующим образом: $H \Rightarrow H(\bullet) \Rightarrow H(c) \rightarrow 1(c) \rightarrow g \in G$.

Структурный статус $1(E)$, представляет точку зрения на объект исследования $H(\bullet)$, как на неструктурированное или структурированное целое в зависимости от применения к нему операции структуризации.

Стрелки **1** и **2** диаграммы указывают на возможность исследователя Arch переходить от одной точки к другой, используя операции анализа и синтеза.

Онтологический анализ среды моделирования

В теории информационных систем выделяют следующие существенные особенности онтологии, рассматривающиеся как полезные с точки зрения информатики:

- онтология относится к моделированию на концептуальном уровне и определяется как спецификация концептуализации модели объекта исследования (предметной области);
- онтология относится к языку моделирования и определяется как формальный взгляд на семантику (проблему значения и смысла).

Эти точки зрения предполагают, что среда моделирования задается парой представлений $(C(H), \mathcal{L}(H))$, язык $\mathcal{L}(H)$ – лингвистическое представление среды моделирования и совокупность понятий $C(H)$ – концептуальное представление среды моделирования. Данные представления являются предметом изучения в логике и лингвистике, а соответствующие модели формулируются в языках внешнего исследователя Inv или метаязыках. Метаязыки соответствуют синтаксической, семантической и прагматической точкам зрения исследователя Inv на структуру среды моделирования в лингвистическом или концептуальном представлении.

Остановимся на семантической точке зрения, выделив два типа семантики:

- H -семантика, решает вопрос о модели значения переменной H , т.е. о структуре объекта исследования $H(\bullet)$;
- L -семантика, решает вопрос об истинностном значении модели значения переменной H , т.е. о ее соответствии тому, что « $H(\bullet)$ есть на самом деле».

Обратимся к исследованию связи $\mathcal{L}(H)$ – лингвистического и $C(H)$ – концептуального представлений среды моделирования с H -семантикой. Для этого будем считать, что концептуальное представление $C(H)$ задано в форме онтологической системы представления знаний, $C(H) = \langle Ont^{D\&T}, MetaOnt(H) \rangle$.

Здесь $Ont^{D\&T}$ – совокупность предметных онтологий. Каждая такая онтология соответствует определенной области знаний, в том числе научных, и соответствует разнообразию интересов внутреннего моделирующего субъекта (*архитектора*) $Arch$. Метаонтология $MetaOnt(H)$ соответствуют внешнему *архитектору* Inv .

Н-семантика. Метаонтологии и модели значений

Представим связь лингвистического покрытия $\mathcal{L}(H)$ и онтологической системы представления знаний $C(H)$ следующей диаграммой [6] (2):

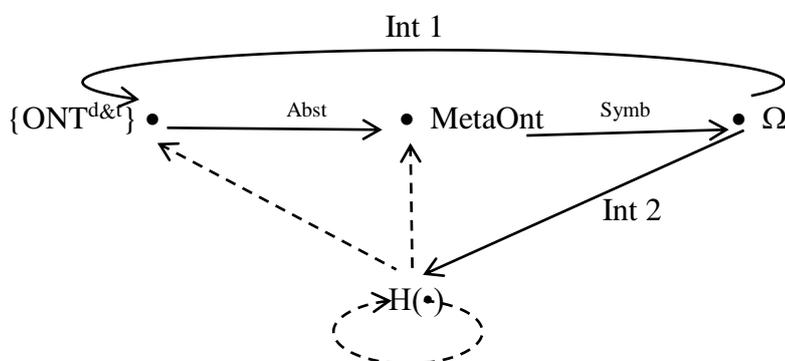


Рис. 2. Концептуальное обобщение

Fig. 2. Conceptual generalization

Диаграмма включает следующие элементы:

- $\{ONT^{d\&t}\}$ – называющие формы понятий, относящиеся к различным предметным онтологиям (онтологии предметных областей и задач);
- $MetaOnt$ – называющие формы понятий, относящиеся к метаонтологиям (понятия с предельно широкой областью отнесения);
- Ω – абстрактные символы (символы без указания области отнесения).

Эти элементы связаны стрелками:

- $Abst$ – абстрагирование (концептуальное обобщение, расширение области отнесения называющих форм);
- $Symb$ – символизация (элиминация области отнесения называющих форм);

- Int 1 – подстановочная интерпретация символов (интерпретация Лесьневского);
- Int 2 – стандартная интерпретация символов (интерпретация Куайна).

Разделим лингвистическое представление $\mathfrak{L}(H)$ на две части в соответствии со структурой онтологической системы представления знаний $C(H)$:

- $\mathfrak{L}(\text{Ont}^{\text{D\&T}})$ – языки, порождаемые понятиями предметных онтологий $\text{Ont}^{\text{D\&T}}$;
- $\mathfrak{L}(\text{MetaOnt})$ – языки, порождаемые понятиями из метаонтологии MetaOnt .

Языки $\mathfrak{L}(\text{MetaOnt})$, грамматически порождаемые метаонтологиями-словарями, будем называть H -метаязыками. Выделим в метаонтологии MetaOnt следующие частные метаонтологии:

- $\text{MetaOnt}^{\text{Nat}} = \{\text{объект, свойство, отношение}\}$ – естественная метаонтология;
- $\text{MetaOnt}^{\text{Ph}} = \{\text{объект, состояние, время}\}$ – метаонтология физической точки;
- $\text{MetaOnt}^{\text{Evt}} = \{\text{событие, свойство, отношение}\}$ – метаонтология событий;
- $\text{MetaOnt}^{\text{Syst}} = \{\text{система, свойство, отношение}\}$ – системная метаонтология.

Понятия из этих метаонтологий играют важную роль в семантических исследованиях лингвистики и логики. Например, в логике понятия из $\text{MetaOnt}^{\text{Nat}}$, относят к семантическим категориям языка [7]. В лингвистике они используются как типы значений слов для определения частей речи, а также используются в определении семантических падежей Ч. Филмора.

Роль H -метаязыков в семантике состоит в том, что:

- в лингвистическом представлении $\mathfrak{L}(H)$ они отвечают за модели значений переменной H , через фиксацию лексики, для выражения понимания того, что есть объект исследования $H(\bullet)$ в самом общем случае.
- в концептуальном представлении $C(H)$ они соответствуют онтологическим допущениям, относительно типов значений переменной H , через фиксацию понятий с предельно широкой областью отнесения.

Онтологическая редукция как метод решения обобщенной задачи реализации

Метаонтология MetaOnt состоит из нескольких частных метаонтологий, каждая из которых может рассматриваться как «точка зрения» на значение переменной H , поэтому возникает вопрос о выборе и согласовании понятий в MetaOnt . Попытки решения этого вопроса осуществляется через построение онтологий высокого уровня, например, SUMO [8-11]. Другой подход к решению этого вопроса состоит в использовании возможности выражения понятий из частных метаонтологий между собой [5, 6].

Задачей, позволяющей решить вопрос о значении в этом случае является обобщенная задача реализации, которая определяется следующей диаграммой [12]

$$[c] \rightarrow \mathbf{1}(c) \rightarrow g \in G, c \in C(H),$$

где $[c]$ – называющая форма понятия «с», $g \in G$ – множество структурных типов, соответствующих характеристике $\mathbf{1}$ (целое).

Характеристика $\mathbf{1}(c)$ играет фундаментальную роль в логике, где ей соответствует генетическое определение понятия и мереология [13].

Решить обобщенную задачу реализации при отнесении объекта исследования $H(\bullet)$ к понятию «с» $\in C(H)$ означает построить множество структурных типов G^c , каждый из которых имеет форму пары $g = \langle \text{Supp}(g), \text{Sign}(g) \rangle \in G^c$. Выберем в качестве метода решения обобщенной задачи реализации, «известную в теории онтологических допущений операцию онтологической редукции, т.е. перевод теории с одной онтологией в другую теорию с другой онтологией» [13]. Обратимся к случаю метаонтологии MetaOnt . Определим онтологическую редукцию для частных метаонтологий из метаонтологии MetaOnt .

Пусть дана некоторая метаонтология Ont из MetaOnt . Будем говорить, что в Ont концептуально определен структурный тип $g \in G$, если выделены понятия, соответствующие элементам его носителя $\text{Supp}(g)$ и сигнатуры $\text{Sign}(g)$.

Выделим два типа редукции:

- внутренняя редукция – выражение значения элементов сигнатуры структурного типа в терминах элементов носителя;
- внешняя редукция – выражение элементов носителя структурных типов одной метаонтологии в терминах элементов носителя структурных типов другой метаонтологии.

Универсальная метаонтология MetaU

Для осуществления онтологической редукции, как метода решения обобщенной задачи реализации в MetaOnt, надо выбрать универсальную метаонтологию MetaU, независимую от выбора объекта исследования $H(\bullet)$.

Универсальность метаонтологии MetaU состоит в том, что в терминах ее понятий можно построить модели объекта исследования $H(\bullet)$ при любой называющей форме, приписанной ему в результате операции характеристики через отнесение к любому из понятий из MetaOnt.

Независимость метаонтологии MetaU состоит в том, что язык моделирования, порождаемый ее понятиями, не зависит от языков $\mathcal{L}(\text{Ont}^{\text{D\&T}})$, порождаемых понятиями предметных онтологий $\text{Ont}^{\text{D\&T}}$ (области интересов внутреннего архитектора Arch).

Нетрудно видеть, что метаонтология, удовлетворяющая этим условиям, представляет собой среду моделирования, основанную на понятиях, уточняющих точки зрения такие элементы модельной системы понятия, как $V(c)$ – объем понятия и $1(c)$ – один элемент объема понятия. Универсальность следует из того, что эти характеристики присутствуют при любом отнесении значения $H(\bullet)$ переменной H .

$$\text{MetaU} = \{V(c), 1(c)\} \quad (5)$$

В определении обобщенной задачи реализации присутствует понятие $1(c)$ из MetaU, а ее решение строится на основе операции структуризации. Поэтому в качестве метаонтологии, уточняющей понятие $1(c)$ из MetaU, выберем метаонтологию MetaU-целое, с которой прямо связана характеристика $1(E)$. Роль метаонтологии MetaU-целое состоит в том, что она дополняет характеристику «один элемент объема понятия» $1(c)$ характеристикой «одно целое» $1(E)$. Тем самым метаонтология MetaU-целое позволяет проводить различие между элементарными и сложными элементами объема понятия в зависимости от применения к ним операции структуризации.

Диаграмма означает, что пара характеристик $1(c)$ и $1(E)$ ставит в соответствие объекту исследования $H(\bullet)$ пару статусов:

- статус $1(c)$: элементарный / сложный;
- статус $1(E)$: неструктурированный / структурированный.

При этом статус $1(c)$ определяется операцией характеристики через отнесение, а статус $1(E)$ определяется операцией структуризации и метаонтологией MetaU-целое.

Согласно диаграмме, применение операции структуризации требует, чтобы статусы $1(c)$ и $1(E)$ были согласованы следующим образом:

- если структуризация не применяется, то объект исследования имеет статус $1(E)$ – *неструктурированный* и статус $1(c)$ – *элементарный*;
- если структуризация применяется, то объект исследования имеет статус $1(E)$ – *структурированный* и статус $1(c)$ – *сложный*.

1(c) •1(E)

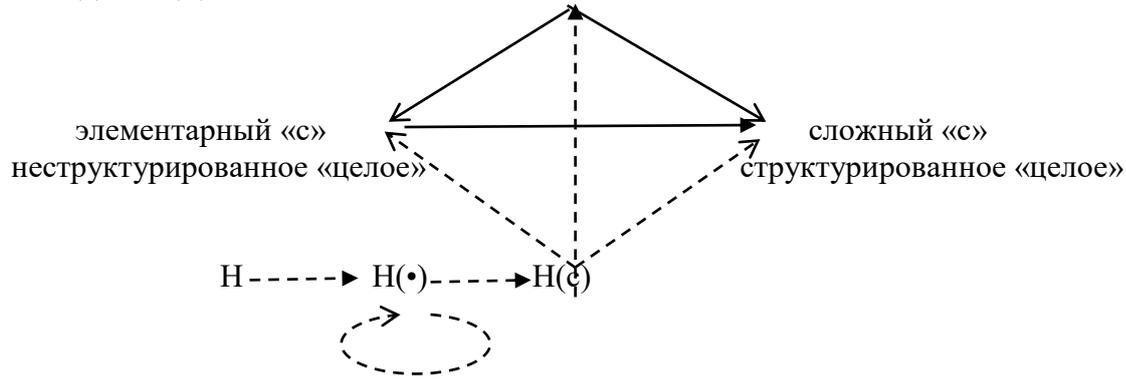


Рис. 3. Диаграмма согласования статусов

Fig. 3. Status matching diagram

Диаграмма констатирует, что метаонтология MetaU присутствует в онтологической редукции в виде метаонтологии MetaU-целое. Выбор типа «целого» определяет глубинную точку зрения на структуру значения переменной H , необходимую для построения решения обобщенной задачи реализации на основе операции структуризации. Языки, порожденные метаонтологиями MetaU-целое будем называть глубинными H -метаязыками или глубинными семантическими метаязыками. Покажем, каким образом внутренняя и внешняя онтологическая редукция позволяет решать обобщенную задачу реализации и строить *глубинные* H -метаязыки, для моделирования значений переменной H в терминах понятий, «объект» и «система» использующихся в современных технологиях проектирования компьютерных систем поддержки принятия решений [14].

Объектные H -метаязыки

В естественной метаонтологии $MetaOnt^{Nat}$ обобщенная задача реализации имеет вид: $[ob] \rightarrow \mathbf{1}(ob) \rightarrow g \in G^{ob}, «ob» \in MetaOnt^{Nat}$ и состоит в том, чтобы построить множество структурных типов $g \in G^{ob}$, соответствующих понятию «объект» в смысле характеристик $\mathbf{1}(ob)$ и $\mathbf{1}(E)$. Предполагается, что понятие «объект» относится к элементам носителя, понятия «свойство» и «отношение» к элементам сигнатуры структурного типа $g \in G^{ob}$. Решение этой задачи построено в работе [12] на основе внутренней редукции в метаонтологии $MetaOnt^{Nat}$ для случая, когда в качестве метаонтологии MetaU-целое используется метаонтология MetaU-категория, абстрактная категория. Результатами внутренней редукции в метаонтологии $MetaOnt^{Nat}$ являются следующие структурные типы, где носитель $\text{supp}(g) = A(ob)$:

- структурный тип $g1 = \langle A(ob), \emptyset \rangle$ – множество;
- структурный тип $g2 = \langle A(ob), R \rangle$ – множество с отношениями (реляционная система);
- структурный тип $g3 = \langle A(ob), F \rangle$ – множество с операциями (алгебра);
- структурный тип $g4 = \langle A(ob), R, F \rangle$ – множество с отношениями и операциями (алгебраическая система).

В метаонтологии MetaU-категория каждый из них имеет пару статусов: $\mathbf{1}(E)$ – «неструктурированный» $\mathbf{1}(ob)$ – «элементарный». Тем самым, решениями обобщенной задачи реализации в естественной метаонтологии $MetaOnt^{Nat}$, соответствующими характеристике $\mathbf{1}(ob)$, являются структурные типы из множества G^{ob} : $\mathbf{1}(ob) \rightarrow G^{ob} = \{g1, g2, g3, g4\}$. Структурные типы из G^{ob} задают объектные H -метаязыки, соответствующие алгебраической точке зрения на глубинную семантику. В терминологии систем представления знаний множество структурных типов G^{ob} , соответствующих характеристике $\mathbf{1}(ob)$, является фреймом «объект». Логической моделью языка структурных типов G^{ob} является исчисление предикатов.

Системные N-метаязыки

В системной метаонтологии $MetaOnt^{Syst}$ обобщенная задача реализации имеет вид $[system] \rightarrow \mathbf{1}(syst) \rightarrow g \in G^{Syst}$, « $syst \in MetaOnt^{Syst}$ » и состоит в том, чтобы построить множество структурных типов $g \in G^{Syst}$, соответствующих понятию *система* в смысле характеристик $\mathbf{1}(syst)$ и $\mathbf{1}(E)$. Предполагается, что *система* относится к элементам носителя, а *свойство* и *отношение* – к элементам сигнатуры структурного типа $g \in G^{Syst}$.

Построим решение этой задачи, учитывая последовательность отнесений:

- отнесение 1: $H \dashrightarrow H(\bullet) \dashrightarrow H(ob)$;
- отнесение 2: $H \dashrightarrow H(\bullet) \dashrightarrow H(система)$.

Будем считать, что характеристика при отнесении 2 явно или косвенно включает характеристику «время». Будем считать отнесение 1 исходным и обратимся к анализу решения обобщенной задачи реализации при последующем отнесении 2 объекта исследования $H(\bullet)$ к понятию *система*. Использование онтологической редукции предполагает, что носители структурных типов из G^{Syst} , относящиеся к характеристике $\mathbf{1}(syst)$ должны быть построены на основе носителей структурных типов из G^{ob} .

При таком построении присутствие понятия «время» приводит к изменению точки зрения на элементы носителя структурных типов из G^{ob} :

- в $MetaOnt^{ob}$ элемент носителя рассматривается, как «неподвижная точка»;
- в $MetaOnt^{Syst}$ элемент носителя рассматривается, как «движущаяся точка».

Поэтому редукция $\mathbf{1}(ob) \rightarrow \mathbf{1}(syst)$ должна включать преобразование

- на уровне элементов носителя;
- на уровне элементов сигнатуры.

Рассмотрим редукцию на уровне элементов носителя $Supp(g) \rightarrow Supp(g^*)$, $g \in G^{ob}$, $g^* \in G^{Syst}$. Для преобразования носителя следует указать понятие, которое было бы связано с понятием *объект* и указывало бы на возможность его изменения. В работах [15,16] показано, что таким понятием является «элементарный динамический объект» или «физическая точка», определенная тройкой понятий из $MetaOnt^{Ph} \text{ evt} = (ob, s, t) = \langle \text{объект } ob \text{ находится в состоянии } s \text{ на элементе времени } t \rangle$, где t – элемент времени, s есть состояние объекта ob . Следующее определение связывает элемент носителя структурного типа *движущаяся точка* с понятиями *физическая точка*, *событие* и *динамика*.

Определение. Движущаяся точка есть событие с объектом ob на элементе динамики (s,t) , которое состоит в том, что объект ob находится в состоянии s на элементе времени t . На каждом элементе динамики (s,t) движущаяся точка является элементарным динамическим объектом (ob, s, t) , который является элементарным событием [5, 15]. Таким образом, внешняя онтологическая редукция на уровне элементов носителя $Supp(g) \rightarrow Supp(g^*)$, $g \in G^{ob}$, $g^* \in G^{Syst}$ осуществляется по схеме $A(ob) \rightarrow A(evt)$ и представляет собой переход от «объектов» к «событиям с объектами» на уровне элементов носителей $A(ob)$ структурных типов $g \in G^{ob}$ и носителей $A(evt)$ структурного системного типа $g^* \in G^{Syst}$.

Рассмотрим внешнюю редукцию для элементов сигнатуры $Sign(g) \rightarrow Sign(g^*)$, $g \in G^{ob}$, $g^* \in G^{Syst}$. В универсальной метаонтологии $MetaU$ -категория каждая стрелка относится к понятию *соответствие*. Кроме того, в $MetaU$ -Monoid каждый моноид допускает представление в форме абстрактной категории при отождествлении стрелок категории с элементами носителя [17]. Это дает основания считать, что элементы сигнатуры $sign(g)$ структурных типов $g \in G^{ob}$ заданы в виде множества стрелок $A(ob)^\rightarrow$, в частности, стрелок, относящихся к операциям на носителе. Стрелки из сигнатуры $sign(g^*) = A(evt)^\rightarrow$ наследуются из $sign(g) = A(ob)^\rightarrow$ объектного структурного типа $g \in G^{ob}$, выбранного для онтологической редукции и разделяются на два типа – стрелки *отношений* $A(R^\rightarrow)$ и стрелки *операций* $A(m^\rightarrow)$, указывающие на присутствие элементов-операторов m из носителя $supp(g) = A(ob)$.

Таким образом, внешняя редукция сигнатур состоит в стрелочном представлении сигнатуры структурного типа $sign(g) = A(ob)^\rightarrow$ и выделении стрелок $A(m^\rightarrow) \subseteq A(evt)^\rightarrow$. Общая

схема внешней онтологической редукции на уровне элементов носителей и сигнатур $g \rightarrow (A(ob), A(ob) \rightarrow) \rightarrow (A(evt), A(evt)) \rightarrow \rightarrow g^{evt} \in G^{Evt}$, переводит структурные типы $g \in G^{Ob}$ в *событийные структурные типы* $g^{evt} \in G^{Evt}$, соответствующие понятию *движущаяся точка* $g^{evt} = \langle A(evt), A(\rightarrow) \rangle$, $A(\rightarrow) \subseteq A(evt) \rightarrow$. Чтобы построить структурные типы, относящиеся к характеристике $\mathbf{1}(syst)$ воспользуемся внутренней онтологической редукцией в структурном типе $g^{evt} \in G^{Evt}$

По аналогии с объектными структурными типами $g \in G^{Ob}$, внутренняя редукция рассматривается как моделирование в структурном типе $g^{evt} \in G^{Evt}$ и состоит в представлении понятий метаонтологии $MetaOnt^{Evt} = \{\text{событие, свойство, отношение}\}$, соответствующих сигнатуре в терминах понятий, относящихся к элементам носителя структурного типа $g^{evt} \in G^{Evt}$. Модели, получаемые в результате внутренней редукции, будем называть *событийными динамическими системами* и относить к структурному типу G^{Syst} , разделяя их в соответствии со статусом $\mathbf{1}(syst)$ элементарный сложный.

Выделим *причинность* как отношение между событиями. Тогда результаты внутренней редукции можно разделить на два типа событийных динамических систем, соответствующих понятию *движущаяся точка*. Временные событийные динамические системы, констатируют, что причиной изменений объекта является *временная*. Элементарная *временная событийная динамическая система* есть пара $\langle ob, \partial(ob) \rangle$, где временная событийная динамика задается как $\partial(ob): T \rightarrow S(ob)$ – временная динамика, где $S(ob)$ – множество состояний объекта [18, 19]. Так как элементарный объект $ob \in V(ob)$ задается как класс $([ob], A(ob))$, следует выделять:

- элементарную временную событийную динамику класса $A(ob) \partial(A(ob)): T \rightarrow S(A(ob))$ – временная *динамика класса*, где $S(A(ob))$ – множество состояний класса;
- элементарную временную событийную динамику экземпляра класса $ex(ob) \in A$ $\partial(ex(ob)): T \rightarrow S(ex(ob))$ – временная *динамика экземпляра класса*, где экземпляр класса $ex(ob) \in A(ob)$, а $S(ex(ob))$ – множество состояний экземпляра класса.

Операциональные событийные динамические системы констатируют, что причиной изменений *объекта* является его взаимодействие с другими объектами. Элементарная операциональная событийная динамическая система есть пара $\langle \{ob_0, ob_1\}, \partial(ob_0, ob_1) \rangle$, которая определяется приписыванием $Int^{(ob_1 \rightarrow)}_{A(evt)}$ операторной стрелки в носитель $A(evt)$ событийного структурного типа $g^{evt} \in G^{Evt}$:

$$\partial(ob_0, ob_1) \left\{ \begin{array}{l} \partial(ob): ob_0 \xrightarrow{ob_1} ob_2 \text{ – объектная динамика} \\ \partial(\rightarrow): \partial(ob_0) \xrightarrow{\partial(ob_1)} \partial(ob_2) \text{ – событийная динамика} \end{array} \right.$$

где динамика $\partial(\rightarrow)$ является системной в том смысле, что она задает координирующее условие $Coord(\partial(ob_0), \partial(ob_1))$ согласования событий на динамиках $\partial(ob_0)$ и $\partial(ob_1)$, необходимого для исполнения объектной динамики $\partial(ob)$.

Заметим, что, как и в случае временных динамик, следует выделять элементарную операциональную событийную динамическую систему классов и элементарную операциональную событийную динамическую систему экземпляров класса [19].

Сложная событийная динамическая система объектов

С точки зрения универсальной метаонтологии $MetaU$ –*целое*, как элементарная, так и сложная событийная динамическая система, относящаяся к структурному типу G^{Syst} должны соответствовать характеристике $\mathbf{1}(E)$ – «целое, наделенное динамикой». По построению, в качестве «целого» рассматривается носитель $A(ob)$ объектного структурного типа $g \in G^{Ob}$, использованного для редукции в событийный структурный тип $g^{evt} \in G^{Evt}$. Нетрудно видеть,

что для элементарных событийных динамических систем это условие выполняется. Обратим внимание на то, что в математической теории систем понятие динамическая система относят только к динамикам. Поэтому сложная событийная динамическая система может быть определена как носитель $A(ob)$ объектного структурного типа $g \in G^{Ob}$, дополненный динамикой, представляющей взаимодействие динамик своих элементов. Такая динамика называется системной, потому что она определяет динамическое понимание целостности носителя как «целого, наделенного динамикой». В этом смысле сложная событийная динамическая система может быть определена как граф $\Gamma(\Sigma, R)$ с множеством вершин Σ и множеством ребер R . Вершинами графа являются элементарные временные или операциональные событийные динамические системы $\sigma_k, k=1, n$. Ребрами графа являются связи $r(\partial(\sigma_k), \partial(\sigma_m)), k=1, n, m=1, n$ между их динамиками. Примерами связей между динамиками элементарных событийных динамических систем являются технологическая, системная связь, а также информационная связь в форме обмена сообщениями [20].

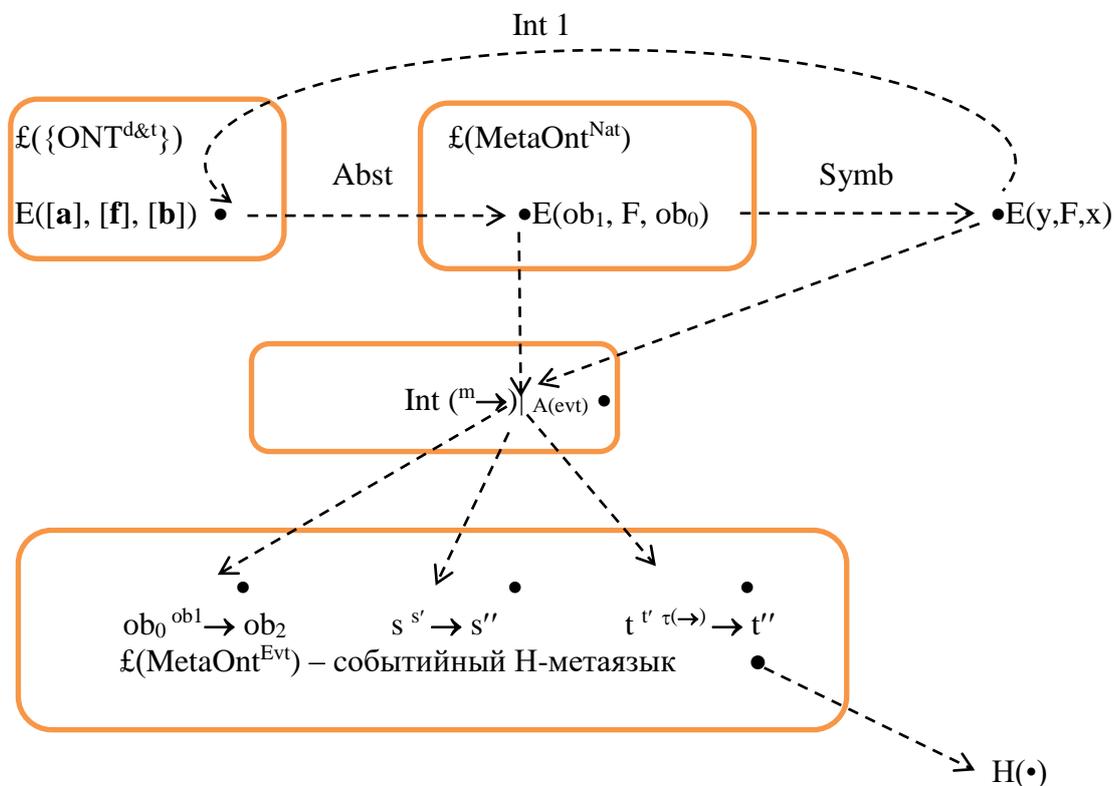


Рис. 4. Падежный фрейм приписывания операциональной стрелки $Int (m \rightarrow) |_{A(evt)}$

Fig. 4. Case frame of attribution of the operational arrow $Int (m \rightarrow) |_{A(evt)}$

Фреймовое представление СППР, управляемой моделями

Замечание. Событийные динамические системы могут рассматриваться как дискретные в зависимости от модели времени и от разнообразия типов элементарных систем в составе сложной системы.

Задача автоматизации информационного фрейма I-frame была представлена как задача моделирования процесса моделирования, которую решает внешний исследователь Inv , на основе исследования поведения внутреннего исследователя $Arch$ в среде моделирования $Im(H)$. Проведенные выше исследования можно представить в форме *надежного фрейма*, связывающего процессы кибернетической модели информационного поведения, участвующие в разработке и поддержке принятия решений. Фрейм фиксирует *схему*, определяющую

процесс моделирования на уровне внутреннего исследователя Arch как приписывание стрелки $\text{Int} ({}^m \rightarrow) |_{A(\text{evt})}$, в выбранном структурном типе. Элементы верхнего уровня схемы соответствуют элементам онтологической системы представления знаний из диаграммы концептуального обобщения (рис. 4). Приписывание операциональной стрелки представлено в схеме подграфом-деревом с корнем в вершине $\text{Int} ({}^m \rightarrow) |_{A(\text{evt})}$. С формальной точки зрения приписывание предполагает реализацию процессов, смысл которых состоит в том, чтобы найти значения переменных (символов) входящих в символическое выражение $E(y, F, x)$.

Стрелки-ребра этого подграфа связывают процесс моделирования MS с процессом принятия решений DMS из информационного фрейма I-frame. Каждой стрелке соответствует задача принятия решений:

- стрелке к $ob_0 \xrightarrow{ob_1} ob_2$ соответствуют задачи принятия решений по выбору объектов как значений следующих переменных:
 $Z_1(F)$ – выбор значения переменной F , результат $F = [f]$ – имя действия;
 $Z_2(ob_0)$ – выбор значения переменной x , результат $x = [a]$ – имя «объекта действия»;
 $Z_3(ob_1)$ – выбор значения переменной y , результат $y = [b]$ – имя «субъекта действия»;
 $Z_4(ob_2)$ – выбор значения переменной ob_2 , результат $[ob_2] = [c]$ – имя «результата действия»;
- стрелке к $s \xrightarrow{s'} s''$ соответствуют задачи принятия решений по выбору состояний объектов ob_0, ob_1, ob_2 ;
- стрелке к $t \xrightarrow{\tau} t''$ соответствуют задачи принятия решений по выбору элементов времени: t и t' – момент начала действия, t'' – момент окончания действия, $\tau(\rightarrow)$ – длительности действия при условии $t'' = \max(t, t') + \tau(\rightarrow)$.

Результатом решений задач, соответствующих стрелкам, является тройка событий: $\text{evt}(\mathbf{a}) = (\mathbf{a}, (s, t))$, $\text{evt}(\mathbf{b}) = (\mathbf{b}, (s', t'))$, $\text{evt}(\mathbf{c}) = (\mathbf{c}, (s'', t''))$ – цель действия при выполнении условий истинности $\psi(\mathbf{a}, (s, t)) = 1$, $\psi(\mathbf{b}, (s', t')) = 1$, определяющих корректность подстановки имен $[f]$, $[a]$ и $[b]$ из $\mathcal{L}(\{\text{ONT}^{d \& t}\})$ на место переменных в выражение $E(y, F, x)$.

Лингвистическим *результатом* приписывания операциональной стрелки является предложение $E([a], [f], [b])$, которое представляет собой подстановочную интерпретацию $\text{Int}1$ символического выражения $E(y, F, x)$ в языке $\mathcal{L}(\{\text{ONT}^{d \& t}\})$ и может использоваться как сообщение в процессе коммуникации CS. Системным результатом приписывания операциональной стрелки является операциональная событийная динамическая система $\langle \{\mathbf{a}, \mathbf{b}\}, \partial(\mathbf{a}, \mathbf{b}) \rangle$.

Связь процесса управления с обратной связью FCS, ассоциированного с этой системой, с задачами, решаемыми процессами MS и DMS при реализации приписывания осуществляется через:

- управление «целым, наделенным динамикой», связанное с координирующим условием $\text{Coord}(\partial(\mathbf{a}), \partial(\mathbf{b}))$;
- управление «частями целого, наделенными динамиками», связанное с каждой из динамик $\partial(\mathbf{a})$ и $\partial(\mathbf{b})$.

Психологический процесс PS занимает особое место в решении задач, связанных с приписыванием стрелки $\text{Int} ({}^m \rightarrow) |_{A(\text{evt})}$. Влияние этого процесса на результаты соответствует влиянию фактора субъективности.

Замечание. Следующая последовательности подстановок, представляет моделирование поведения внутреннего исследователя Arch в среде моделирования $\text{Im}(H)$ (Inv, H) = $(\text{Inv}, (I, H)) = (\text{Inv}, (\text{Arch}, H)) = (\text{Inv}, (\text{Int} ({}^m \rightarrow) |_{A(\text{evt})}, H))$. Конечный элемент этой последовательности включает абстрактный интеллектуальный агент $(\text{Int} ({}^m \rightarrow) |_{A(\text{evt})}, H)$. Агент определяется падежным фреймом, представленным схемой, основанной на решении задачи автоматизации процессов информационного фрейма I-frame из (1). Поэтому его мож-

но использовать в качестве элемента при проектировании СППР, управляемой моделями в форме многоагентной системы, как сложной событийной динамической системы [15, 19].

Пространство состояний объектов

Выше понятие *состояние* использовалось при решении обобщенной задачи реализации в системной метаонтологии $MetaOnt^{Syst}$. Оно возникает на уровне внешней редукции носителей при переходе от объектных структурных типов G^{Ob} к событийным структурным типам G^{Evt} . По построению, понятие «состояние» относится к понятию *объект* и используется для внутренней редукции при переходе от носителя G^{Evt} к системным структурным типам G^{Syst} . В отличие от такой точки зрения, в теории систем состояние относят к понятию *система* и рассматривают, как элемент языка моделирования, который связывается:

- с задачей реализации, где с его помощью осуществляется переход от вход-выходной модели системы к модели в пространстве состояний;
- с дифференциальными моделями системы, где пространство состояний принимается в качестве универсального абстрактного множества-носителя динамических модельных структур;
- с теорией управления, где система рассматривается, как управляемый объект исследования, состояние которого определяется как совокупность его характеристик, позволяющих построить модель изменений, происходящих с ним во времени.

Точка зрения на состояние, принимаемая в теории управления, очевидным образом соответствует определению моделирования как характеризации через отнесение. Это приводит к следующему определению состояния [19, 21].

Определение. Состояние объекта исследования $H(\bullet)$ есть совокупность характеристик, отнесенных ему на элементе t модели времени T . В объектной (жесткой) метаонтологии $MetaOnt^{Nat}$ состояние объекта определяется только его существованием и, в этом смысле, состояние объекта есть сам объект. В мягкой (событийной) метаонтологии $MetaOnt^{Evt}$ – состояние объекта определяется сигнатурой объектного структурного типа, элементом носителя которого является этот объект. Каждый элемент носителя объектного структурного типа рассматривается как пара $ob = ([ob], A(ob))$, где $A(ob)$ есть класс. Поэтому выделяют состояние класса и состояния экземпляров класса.

В метаонтологии $MetaOnt^{Nat}$ характеристики объектов определяются понятиями *свойство* и *отношение*. Выделяют:

- характеристики типа *свойство*, характеристика одного объекта;
- характеристики типа *отношение*, характеристика n -ки объектов.

Если принять, что «отношение» между объектами определяет «свойство» объекта, состоящее в том, что он «находится в отношении» с другими объектами, то характеристики объектов проводятся к единственному понятию «свойство». При этом возникают два типа свойств собственные и несобственные. Собственные свойства определяются только характеристиками самого объекта. Несобственные свойства определяются отношениями, в которых объект находится с другими объектами.

Для уточнения характеристики типа «свойство» определяется характеристика *параметр* $p = \langle [p], n_p, Gr(p) \rangle$ $n_p \in R^1$, где $[p]$ – называющая форма параметра (\mathcal{E} -представление параметра), n_p – числовое значение параметра (N -представление свойства или отношения), $Gr(p)$ – шкала градаций числовых значений. При принятых выше допущениях имеет место следующая структура пространства состояний объектов, определяемая в терминах понятия «свойство». В формальном виде, использующим элементы структурных типов, данная структура представлена в [21].



Рис. 5. Структура пространства состояний объектов

Fig. 5. Structure of the state space of objects

Поскольку состояния являются характеристиками объекта исследования $H(\bullet)$, они могут быть выражены в любом из представлений:

- лингвистическое представления, \mathcal{L} -представление;
- структурное представления, G -представление;
- числовое представления, N -представление.

В лингвистическом представлении пространство состояний объектов определяется лексическими составляющими языков предметных онтологий $\mathcal{L}(\{ONT^{d\&t}\})$. Структурное представление задается структурными типами $g \in G^{ob}$ и $g^* \in G^{Syst}$. В случае использования параметров состояния объектов задаются в числовом представлении, а пространством состояний является R^n .

Выводы

В исследовании предполагалось, что компьютерные системы поддержки процессов разработки и принятия решений возникают как результат решения задачи автоматизации, представленного в форме модели жизненного цикла программного обеспечения. С целью изучения этого процесса была сформулирована задача автоматизации в отношении объектов исследования, с информационным поведением, удовлетворяющим кибернетической точке зрения на структуру естественного интеллекта.

Основное внимание было сконцентрировано на задаче моделирования процесса моделирования. Исследование проводилось с акцентом на представление среды моделирования в терминах онтологий и онтологических систем представления знаний. Выбор онтологического подхода обусловлен тем, что, с точки зрения традиционной логики, процесс мышления

осуществляется на концептуальном уровне и связан с получением, преобразованием и использованием знаний. На данном уровне задача моделирования процесса моделирования приводит к обобщенной задаче реализации. Она сформулирована, и построены ее решения для естественной и событийной метаонтологий в форме структурных типов, соответствующих алгебраической точке зрения на семантику. Решение обобщенной задачи реализации проведено методом онтологической редукции.

В результате онтологического анализа среды моделирования в терминах онтологической системы представления знаний построено фреймовое представление СППР, управляемой моделями. В контексте систем представления знаний полученные результаты оказываются близкими к работам [16, 20, 22, 23].

Библиографический список

1. **Кудж, С.А.** Поддержка жизненного цикла программных компонент / С.А. Кудж, В.Я. Цветков, И.Е. Рогов // Российский технологический журнал. 2020. Т. 8. №. 5. С. 19-33.
2. **Магомедов, Ш.Г.** Разработка технологии контроля доступа к цифровым порталам и платформам на основе встроенных в интерфейс оценок времени реакций пользователей / Ш.Г. Магомедов, П.В. Колясников, Е.В. Никульчев // Российский технологический журнал. 2020. Т. 8. №. 6. С. 34-46.
3. **Антонова, И.И.** Применение системы компьютерной математики MAPLE для решения задачи механики / И.И. Антонова, Е.А. Святова // Вестник МГТУ МИРЭА. 2015. №. 4-1. С. 43-48.
4. **Овчинников, В.В.** Архитектура и таксономия систем поддержки принятия решений / В.В. Овчинников, С.А. Станкевич, С.Н. Никольский // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2018. №. 3. С. 37-46.
5. **Никольский, С.Н.** Автоматизация информационных систем и метамоделирования / С.Н. Никольский, И.Ф. Сурженко // Известия ЮФУ. Технические науки. Тематический выпуск «Интеллектуальные САПР». 2014. №7. С. 187-195.
6. **Никольский, С.Н.** Модели процесса моделирования: концептуальные метабазисы и модели значений / С.Н. Никольский // Известия Таганрогского государственного радиотехнического университета, Тематический выпуск «Интеллектуальные САПР». № 3. 2005. С. 88-94.
7. **Тондл, Л.** Проблемы семантики / Л. Тондл. – М.: Прогресс, 1975.
8. **Pisanelli, D.M.** Ontologies and information systems: the marriage of the century / D.M. Pisanelli, A. Steve G. Gangemi // Proceedings of Lye Workshop, Paris. 2002.
9. **Guarino, N.** Formal ontology in information systems: Proceedings of the first international conference (FOIS'98) / N. Guarino (ed.), June 6-8, Trento, Italy. IOS press, 1998. Т. 46.
10. **Gruber, T.R.** The role of common ontology achieving, reuseable knowledge bases. In A.Allen, R.Fikes, and E.Sandewall, editors, Principles of Knowledge Representations and Reasoning / T.R. Gruber // In Proceedings of Second International Conference. Morgan Kaufmann. P. 601-602, 1996.
11. **Eriksson, O.** Par J.Agregfalk Ontological and linguistic metamodelling revisited: A language use approach, J / O. Eriksson, B. Henderson-Sellers // Information and Software Technology, 55 (2013) 2099-2124.
12. **Никольский, С.Н.** Онтологические модели жизненного цикла информационно-управляющих систем / С.Н. Никольский // Сибирское отделение РАН, Институт математики им. С.Л. Соболева. Материалы Всероссийской конференции с международным участием «Знания-Онтологии-Теории» (ЗОНТ-2007), 14-16 сентября 2007 года, г. Новосибирск.
13. **Логика и онтология.** Сб. статей. М., Наука, 1977.
14. **Power, D.J.** Model-driven decision support systems: Concepts and research directions / D.J. Power, R. Shada // Decision Support Systems. 2007. Vol. 43. P. 1044-1061.
15. **Kulba, V.** Ontological approach to modelling of discrete event dynamic system / V. Kulba, S. Nikolsky, O. Zaikin // Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences. 2009. С. 241-247-241-247.
16. **Wolf, K.E.** Applications of Temporal Conceptual Semantic System. RF Conference with international participation / K.E. Wolf // Sobolev Institute of Mathematics, Preprints, 2007, Vol. 1. – P. 3-15.
17. **Голдблатт, Р.** Топосы: категорный анализ логики / Р. Голдблатт, В.Н. Гришин, В.В. Шокуров. – М.: Мир, 1983. – С. 486.

18. **Kulba, V.** Metaontology DEDS: Operational dynamic system on classes / V. Kulba, S. Nikolsky // J. Management and Production Engineering Review, Vol.2, Number 3, September 2011, P. 28-34.
19. **Никольский, С.Н.** Системный структурный тип: «Динамическая система объектов» / С.Н. Никольский, И.Ф. Сурженко // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2015. № 7 (168).
20. **Osborn, S.L.** Unifying data, behaviours, and messages in object-oriented databases / S.L. Osborn, L. Yu // Data & knowledge engineering. 1996. Т. 18. № 1. С. 29-54.
21. **Никольский, С.Н.** Системные модели организаций в задачах автоматизации. Ж. / С.Н. Никольский // Мехатроника, автоматизация, управление. № 1, 2006. С. 45-51.
22. **Осипов, Г.С.** Динамика в системах, основанных на знаниях / Г.С. Осипов // Известия РАН: теория и системы управления. № 5. 1998.
23. **Sowa, J.F.** Conceptual Graphs as a Universal Knowledge Representation / J.F. Sowa // Computer Math. Applic. Vol 23. No 2-5. 1992. P. 75-93.

*Дата поступления
в редакцию: 03.09.2021*