

Levin Ilya Israilevich – Kalyaev Scientific Research Institute of Multiprocessor Computer Systems at Southern Federal University; e-mail: levin@mvs.tsure.ru; 224/1, Lenin street, ap. 65, Taganrog, 347922, Russia; phone: +78634623226; deputy director of science; dr. of eng. sc.

Pelipets Andrey Vladimirovich – e-mail: pelipets@mail.ru; 1, S. Lazo street, ap. 36, Taganrog, 347924, Russia; phone: +78634315491; research assistant.

Sorokin Dmitry Anatolievich – e-mail: pelipets@mail.ru; 21, Ukrainskiy Lane, ap. 30, Taganrog, 347922, Russia; phone: +78634315491; senior staff scientist.

УДК 519.711.3

С.Н. Никольский, И.Ф. Сурженко

**СИСТЕМНЫЙ СТРУКТУРНЫЙ ТИП:
«ДИНАМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ОБЪЕКТОВ»**

В современной теории компьютерных информационных систем особое место уделяется исследованиям процесса концептуального анализа. Как результат возникли технологии структурного анализа, которые представляют собой детализацию процесса моделирования на концептуальном уровне, в моделях жизненного цикла программного обеспечения. В частности, к ним относятся ARIS, UML, BpML и другие технологии, использующие объектно- и процессно-ориентированный подходы. Становится понятным, что технология структурного анализа определяется совокупностью понятий, в терминах которых строится модель объекта автоматизации, т.е. онтологией, принимаемой разработчиком. Необходимым требованием к онтологии является ее универсальность, понимаемая как максимальная возможная независимость от типа объекта автоматизации, обеспечивающая широту применения соответствующей технологии структурного анализа. Понятие система образует универсальную онтологию, в которой значения называющей формы «система» детализируются в общей и математической теории систем, системном анализе и исследовании операций. Развитие технологии структурного анализа связывают с системно-ориентированным подходом, представленным в форме SysML, что в большей мере отвечает целям системной инженерии. Целью статьи является исследование возможности использования метаонтологии «объект» для построения метаонтологии «динамическая система объектов». Основная задача состоит в построении структурной модели динамической системы объектов. В работе показано, что структурная модель динамической системы объектов может быть построена на основе метамоделей естественной метаонтологии с использованием принципа онтологической редукции.

Онтологический подход; структурное моделирование; системная инженерия системный структурный тип; пространство состояний объектов; динамическая система объектов.

S.N. Nikolsky, I.F. Surgenko

STRUCTURAL SYSTEM TYPE: DYNAMIC SYSTEM OF OBJECTS

The research of process of structural analysis takes the important place in the modern theory of computerized information systems. As a result we have the technologies of structural analysis, which represent the detail of the modeling process at a conceptual level, from the software life cycle models. In particular, these include ARIS, UML, BpML, and other technologies that use object - and process-oriented approaches. It becomes clear that the technology of structural analysis is determined by a set of concepts in terms of which the object model of automation, i.e., ontology, taken by the developer. A necessary requirement of the ontology is its universality, understood as the highest possible independence from the type of automation object that provides the breadth of application of appropriate technology of structural analysis. The concept of system forms a universal ontology, in which the values of the calling form "system" is detailed in the Gen-

eral and mathematical systems theory, system analysis and operations research. The development of technology of structural analysis associated with a system-oriented approach, presented in the form of SysML that is more suited to the goals of systems engineering. The purpose of this paper is to study the possibility of using metaontology "object" to build metaontology "dynamic system of objects". The main objective is to construct a structural model of a dynamic system of objects. The paper shows that the structural model of the dynamic system of objects can be constructed on base of the metamodels of natural metaontology and the principle of ontological reduction.

Ontological approach; structural modeling; systems engineering structural type system; the state space of objects; dynamic system of objects.

Введение. Разработка идей, лежащих в основе жизненного цикла программного обеспечения, представляющего суть инженерии проблемно-ориентированных САПР, поставила целый ряд проблем современной информатики. Одной из основных является проблема разработки языка проектирования проблемно-ориентированных САПР, который позволяет обеспечить развитие САПР до уровня интеллектуальных компьютерных систем. В этом отношении представляется актуальным установить связь онтологий с разработкой современных проблемно-ориентированных САПР. Исходной посылкой является онтологический подход, когда построение модели объекта проектирования ведется в терминах выбранной совокупности понятий (онтологии).

Постановка задачи. В работах [1, 2] показано, что метаонтология $MetaOnt^{NAT}$, состоящая из понятий {объект, свойство, отношение}, как часть онтологической системы представления знаний, приводит к объектным структурным типам из $1(ob)$. Данные типы, соответствуют семантической категории «объект», в которую редуцируются остальные семантические категории метаонтологии $MetaOnt^{NAT}$. Структурный тип, а именно, пара

$$ST = \langle \text{Носитель, Связи между элементами носителя} \rangle \quad (1)$$

может рассматриваться как основание общего подхода к построению абстрактных моделей, [1]. Совокупность связей между элементами носителя есть сигнатура структурного типа ST. Любой элемент носителя структурного типа из $1(ob)$ называют элементарным объектом, а любой структурный тип из $1(ob)$ – сложным объектом [3, 4].

В соответствии с [2] для построения структурной модели динамической системы объектов следует выбрать исходную концептуальную модель динамической системы и построить конечную модель в форме структурного типа, т.е. системный структурный тип. Тем самым, необходимо построить носитель и связи между его элементами, учитывая, что в теории систем понятие «динамическая система» *syst*, связывают с отношением причинной связи [5].

В настоящей работе в качестве исходной модели причинной связи принимается отношение, предложенное П. Хайесом в [6]:

$$a \Rightarrow b = \text{«индивид } a \text{ причинно связан с индивидом } b\text{»},$$

где причинность определяется на множестве индивидов в форме условного высказывания:

$$a \Rightarrow b = \text{«если изменяется некоторое свойство индивида } a\text{, то, вероятно, изменится и некоторое свойство индивида } b\text{»}.$$

Таким образом, задача состоит в том, чтобы построить структурные модели динамической системы в форме структурного типа (1), исходя из структурных объектных типов из $1(ob)$, используя отношение причинной связи $a \Rightarrow b$, и результаты из [2, 7].

В общем случае решение этой задачи есть переход от $M_H(H)$ – начальной модели объекта исследования к его конечной модели $M_K(H)$ [2]. В нашем случае начальная модель динамической системы *syst*, определяется следующим образом:

$$\text{«syst есть объект исследования, обладающий динамикой»,} \quad (2)$$

а конечная модель syst определяется отношением $\mathbf{a} \Rightarrow \mathbf{b}$ и имеет форму структурного типа (1),

$$M_K(H) = \langle \text{носитель}, \mathbf{a} \Rightarrow \mathbf{b} \rangle,$$

где $M_K(H)$ – модель динамической системы объектов в форме структурного типа.

Обобщенная задача реализации для понятия «динамическая система объектов». Рассмотрим $V(\text{ob})$ – объем семантической категории «объект». Согласно [2, 7], в $\text{MetaOnt}^{\text{NAT}}$ переходу от $M_H(H)$ к $M_K(H)$ соответствует обобщенная задача реализации

$$[\text{ob}] \Rightarrow \mathbf{1}(\text{ob}),$$

а ее решениями являются *объектные структурные типы*:

$$\mathbf{1}(\text{ob}) = \{g_0, g_1, g_2, g_3\}, \quad (4)$$

$g_0 = \langle \mathbf{A} \rangle$ – множество, $g_1 = \langle \mathbf{AR} \rangle$ – множество с отношениями (*реляционная система*), $g_2 = \langle \mathbf{AF} \rangle$ – множество с операциями (*алгебра*), их комбинация дает третий тип $g_3 = \langle \mathbf{ARF} \rangle$ – множество с отношениями и операциями (*алгебраическая система*).

По аналогии, обобщенная задача реализации в метаонтологии, задаваемой понятием «динамическая система» $\text{MetaOnt}^{\text{SYS}}$ определяется как

$$[\text{syst}] \Rightarrow \mathbf{1}(\text{syst}), \quad (5)$$

где $\mathbf{1}(\text{syst})$ – множество *системных структурных типов*. Следовательно, решение поставленной выше задачи есть решение обобщенной задачи реализации, которое, в данном случае состоит в том, чтобы построить совокупность структурных типов, реализующих конечную модель динамической системы

$$M_K(H) = \mathbf{1}(\text{syst}) = \langle \text{носитель}, \mathbf{a} \Rightarrow \mathbf{b} \rangle,$$

что означает:

- ◆ выбрать принцип построения системного структурного типа;
- ◆ построить носитель системного структурного типа;
- ◆ построить модель (реализацию) отношения $\mathbf{a} \Rightarrow \mathbf{b}$ в элементах носителя.

Принцип построения системного структурного типа. Вопрос о выборе принципа построения системного структурного типа состоит в том, каким образом решается обобщенная задача реализации для метаонтологии $\text{MetaOnt}^{\text{SYS}}$. Пусть $V(\text{syst})$ – объем понятия «динамическая система». По постановке задачи ее решение должно быть получено на основе *объектных структурных типов* естественной метаонтологии $\text{MetaOnt}^{\text{NAT}}$. Тогда схема решения обобщенной задачи реализации в метаонтологии $\text{MetaOnt}^{\text{SYS}}$ принимает вид

$$M_H(H) = \mathbf{1}(\text{ob}) \Rightarrow \mathbf{1}(\text{syst}), \quad (6)$$

где $\mathbf{1}(\text{syst})$ есть *совокупность структурных моделей одного элемента объема понятия «динамическая система»*.

В силу того, что в (2) модель $\mathbf{1}(\text{syst})$ определена на концептуальном уровне, для решения поставленной задачи необходимо *согласовать* метаонтологию динамической системы $\text{MetaOnt}^{\text{SYS}}$ с метаонтологией $\text{MetaOnt}^{\text{NAT}}$ структурных типов $\mathbf{1}(\text{ob})$.

С логической точки зрения это значит, что *принципом решения обобщенной задачи реализации* в $\text{MetaOnt}^{\text{SYS}}$ является *онтологическая редукция* [8], которая состоит в том, чтобы *определить понятия из метаонтологии $\text{MetaOnt}^{\text{SYS}}$, необходимые для построения конечной модели $M_K(H) = \langle \text{носитель}, \mathbf{a} \Rightarrow \mathbf{b} \rangle$, в терминах понятий из метаонтологии $\text{MetaOnt}^{\text{NAT}} = \{\text{объект}, \text{свойство}, \text{отношение}\}$.*

Основанием для редукции является то, что согласно (2) элементы носителя системного структурного типа из $M_K(H) = \mathbf{1}(\text{syst})$, являются *элементарными объектами, наделенными динамикой или элементарными динамическими объектами*.

Носитель системного структурного типа. Вопрос о носителе системного структурного типа $M_K(H)$ состоит в *изменении точки зрения на элементы носителя объектных структурных типов из $\mathbf{1}(\text{ob})$, так как отношение $\mathbf{a} \Rightarrow \mathbf{b}$ предполагает, что свойства элементов носителя могут изменяться*.

Рассмотрим *метаонтологию физической точки* [7].

$$\{\text{объект, состояние, время}\} = \text{MetaOnt}^{\text{EVT}}.$$

Пусть $V(\text{ob})$ есть совокупность элементов объема *семантической категории «объект»*, S – совокупность элементов объема *семантической категории «состояние»*, T – совокупность элементов объема *семантической категории «время»*.
Множество

$$\text{Evt} = \{\text{evt} = (\text{ob}, s, t) \mid \text{ob} \in V(\text{ob}), s \in S, t \in T\}$$

будем называть *пространством элементарных динамических объектов*. Каждый «элементарный динамический объект» $\text{evt} \in \text{Evt}$ разделяется на два подтипа [7]:

- ♦ *событие с объектом*: $\text{evt}(\text{ob}, s) = ((\text{ob}, s), t)$;
- ♦ *элемент динамики объект a*: $\text{evt}(s, t) = (\text{ob}, (s, t))$.

Элементарный динамический объект $\text{evt} = (\text{ob}, s, t)$ в целом понимается как *событие*, которое в метаязыке $\mathfrak{L}(\text{MetaOnt}^{\text{EVT}})$ представляется предложением [7]:

$E(\text{ob}, s, t) =$ «об существует и находится в состоянии s на элементе времени t »
которое задает «мягкую» онтологию, расширяющую «жесткую» онтологию из [9], задаваемую предикатом существования:

$$E(\text{ob}, t) = \langle \text{ob существует на элементе времени } t \rangle.$$

Замечание. *Элементарный динамический объект соответствует понятию «физическая точка» в том смысле что «точка в пространстве-времени задается только физически происходящими в ней событиями, а не ее положением в какой-то особой системе координат»* [10].

Определим носитель системного структурного типа из $\mathbf{1}(\text{syst})$ в (6) как подмножество

$$\mathbf{E} = \{\text{evt} \mid \text{evt} \in \text{Evt}\} \subset \text{Evt}, \quad (7)$$

которое получается из носителя выбранного объектного структурного типа \mathbf{g} из $\mathbf{1}(\text{ob})$, причем, с концептуальной точки зрения, элементарный объект ob из тройки $\text{evt} = (\text{ob}, s, t)$ может пониматься как *элементарный класс*

$$\mathbf{ob} = \langle [\text{ob}], A(\text{ob}) \rangle. \quad (8)$$

Тогда *элементарные объекты* есть элементы из $A(\text{ob})$ – экземпляры объекта ob .

Пространство состояний элементарных объектов: элементы носителя.
Понятие состояния является центральным в теории систем. В нашем случае, принцип онтологической редукции для решения обобщенной задачи реализации (6) состоит в том, чтобы определить элемент «состояние» в $\text{evt} = (\text{ob}, s, t)$ как *совокупность характеристик*, отнесенных элементу «объект» из этой тройки, полагая, что *характеристики определяются сигнатурой объектного структурного типа g* из $\mathbf{1}(\text{ob})$. Тогда *метаонтология физической точки* $\text{MetaOnt}^{\text{EVT}}$ будет *концептуальной системой*, в которой определяется носитель системных структурных типов. Для этого общую структуру пространства состояний объектов следует определить как тройку *составляющих*

$$S(\text{ob}) = \langle S(\mathbf{g}_0), S(\mathbf{g}_1), S(\mathbf{g}_2) \rangle.$$

Пространство состояний $S(\text{ob})$ есть *пространство состояний элементарных объектов*, потому, что с точностью до автонимии в (8) элементы носителей типов $\mathbf{g}_0, \mathbf{g}_1, \mathbf{g}_2, \mathbf{g}_3$ из $\mathbf{1}(\text{ob})$ есть элементарные объекты. Автонимия означает отождествление «имени» объект $[\text{ob}]$ из (8) со своим «значением» – *классом объектов* $A(\text{ob})$ в целом. При этом каждый экземпляр класса $A(\text{ob})$ рассматривается как элементарный объект или «точка» – *неструктурированное целое*.

Определим $S(\text{ob})$ следующим образом:

1. $S(\mathbf{g}_0) = R^{N+1}$ – числовые *характеристики* объектов. $S(\mathbf{g}_0)$ разбивается на:
 $S^0(A(\text{ob}))$ – числовые *характеристики элементарных классов*;
 $S^0(\text{ex})$ – числовые *характеристики экземпляров классов*.

2. $S(g1) = \{s(r) \mid r \in R_j; \exists x \exists y(xry), \text{ где } x, y \in A - \text{ носитель типа } g1, R_j - \text{ отношение на } A\}$.

Состояния из $S(g1)$ порождены отношениями $R_j, j=1, N$ между экземплярами x, y элементарных классов $A_k(ob), k=1, M$. Характеристиками объекта x в $S(g1)$ являются элемент r отношения R_j или/и объект y .

Заметим, что в понятия «отношение» и «отображение», входящие в определение объектных структурных типов $g0, g1, g2$ из $\mathbf{1}(ob)$ сводятся к понятию «ответствие» [11], которое символически обозначим через стрелку « \rightarrow ».

3. $S(g2) = \{s(\rightarrow) \mid \rightarrow \in F_k; \exists x \exists y(x \Phi \rightarrow), \text{ где } x \in A - \text{ носитель типа } g2, F_k - \text{ операция на } A\}$.

Состояния из $S(g2)$ порождены бинарным отношением Φ между объектами и стрелками-соответствиями. Характеристиками объекта x в $S(g2)$ являются стрелка-соответствие \rightarrow из отображения F_k или объект y , который ставится в соответствие некоторому объекту z носителя при применении к нему стрелки \rightarrow , ассоциированной с объектом x .

Таким образом, каждая составляющая пространства состояний $S(ob)$ определяется сигнатурой объектного структурного типа g из $\mathbf{1}(ob)$, используемого при онтологической редукции в схеме (6):

$\langle S(g0) \rangle$, если в (6) используется тип $g0$

$\langle S(g0), S(g1) \rangle$, если в (6) используется тип $g1$

$\langle S(g0), S(g1), S(g2) \rangle$, если в (6) используется тип $g2, g3$.

Динамика: отношение системной связи. Изменение объекта связывают с изменением его состояния-характеристики, т.е. с наличием у него динамики.

С точки зрения структурной парадигмы «элементарный – сложный» динамику в $MetaOnt^{EVT}$ можно определить как сложный динамический объект, образованный из множества элементарных динамических объектов $evt \in Evt$. Пусть ob – элементарный объект из A – носитель структурного типа g из $\mathbf{1}(ob)$. Рассмотрим структуру

$$\mathbf{syst}(ob) = \langle \{ evt = (ob, (s, t)) \mid evt \in Evt \}, \leq \rangle,$$

где $s \in S$ – составляющая $S(ob)$, $t \in T$, а отношение \leq определяется исходя из модели времени T или отношением порядка на S . В зависимости от этого выделим две динамики

$\mathbf{syst}(ob): T \rightarrow S$ – временная динамика (T-динамика)

$\mathbf{syst}(ob) \subset S \times S$ – динамика состояний (S-динамика)

которые будем называть базисными динамиками элементарного объекта или элементарными динамическими системами объекта.

Сложные динамические системы определяются отношением системной связи [7].

Пусть x и y – объекты с динамиками $\partial(x)$ и $\partial(y)$ соответственно и пары

$$\partial(x) \Rightarrow (s_1, t_1) \rightarrow_p (s_2, t_2)$$

$$\partial(y) \Rightarrow (s'_1, t'_1) \rightarrow_q (s'_2, t'_2)$$

есть переходы между их элементами, соответствующими изменению состояний. Если выполнено условие

$$\exists (s_1, t_1) \exists (s'_1, t'_1) [(s_1, t_1) \rightarrow_p (s_2, t_2)] \Rightarrow_N [(s'_1, t'_1) \rightarrow_q (s'_2, t'_2)],$$

где $t_1 \leq t'_1$, то динамика $\partial(x)$ объекта x называется системно связанной с динамикой $\partial(y)$ объекта y . Связка \Rightarrow_N здесь соответствует номологической импликации. Системную связь удобно представить в форме следующей схемы-диаграммы:

$$\begin{array}{ccc} x: (s_1, t_1) \rightarrow_p (s_2, t_2) & & \\ \Downarrow_N & & \\ y: (s'_1, t'_1) \rightarrow_q (s'_2, t'_2). & & \end{array} \quad (9)$$

Вертикальная стрелка \Downarrow_N – соответствие указывает, что системная связь есть соответствие между стрелками \rightarrow_p и \rightarrow_q т.е. между верхним и нижним переходами $(s_1, t_1) \rightarrow_p (s_2, t_2)$ и $(s'_1, t'_1) \rightarrow_q (s'_2, t'_2)$. Отношение системной связи, будем обозначать $\Rightarrow_N (\partial(x), \partial(y))$.

Реализация отношения причинности $a \Rightarrow b$ в Evt. Построим модель (реализацию) отношения $a \Rightarrow b$ в носителе системного структурного типа, т.е. в множестве элементарных динамических объектов E (7).

Покажем, что такой моделью является отношение системной связи $\Rightarrow_N (\partial(x), \partial(y))$.

Рассмотрим отношение причинности « $a \Rightarrow b$ », которое связывает изменения индивидов **a** и **b** между собой. В онтологии физической точки $\text{MetaOnt}^{\text{EVT}}$ индивиды **a** и **b** могут быть представлены как

$$\begin{aligned} \mathbf{a} &= (\text{ob}_1, \partial(\text{ob}_1)) \\ \mathbf{b} &= (\text{ob}_2, \partial(\text{ob}_2)), \end{aligned}$$

где ob_1, ob_2 – есть объекты-элементы носителя **A** структурного типа **g** из $\mathbf{1}(\text{ob})$, с динамиками $\partial(\text{ob}_1)$ и $\partial(\text{ob}_2)$ соответственно. Так как элементами динамик являются пары вида (s, t), то по определению системная связь

$$\Rightarrow_N (\partial(\text{ob}_1), \partial(\text{ob}_2)),$$

есть связь между переходами динамик, т.е. между стрелками \rightarrow_p и \rightarrow_q диаграммы (9). Следовательно, системная связь, связывает изменения состояний объектов ob_1, ob_2 , что соответствует смыслу отношения « $a \Rightarrow b$ ».

По определению отношение « $a \Rightarrow b$ » имеет две формы представления в Evt:

- ◆ множество $\{\text{ob}_1, \text{ob}_2\}$ – представление отношения $a \Rightarrow b$ в $V(\text{ob})$ – объектное представление.
- ◆ $\Rightarrow_N(\partial(\text{ob}_1), \partial(\text{ob}_2))$ – представление отношения $a \Rightarrow b$ в $S(\text{ob})$, динамическое представление.

Таким образом, отношение (причинности) $a \Rightarrow b$ представляет особую форму бинарного отношения на объектах,

$$\Rightarrow_N (\text{ob}_1, \text{ob}_2) \tag{10}$$

смысл которого определяется в форме зависимости между их динамиками, т.е. между событиями с объектами (на элементах динамик).

Системный структурный тип: решение обобщенной задачи реализации в метаонтологии $\text{MetaOnt}^{\text{SYS}}$. Обобщенная задача реализации в метаонтологии $\text{MetaOnt}^{\text{SYS}}$ определяется как (5)

$$[\text{syst}] \Rightarrow \mathbf{1}(\text{syst}).$$

В соответствии с принципом онтологической редукции ее решение строится по схеме (6)

$$\mathbf{1}(\text{ob}) \Rightarrow \mathbf{1}(\text{syst}).$$

Сказанное выше позволяет следующим образом построить ее общее решение, т.е. решение поставленной в работе задачи. Пусть **g** некоторый структурный тип из $\mathbf{1}(\text{ob})$ с носителем **A**, и S^* есть фиксированная составляющая пространства состояний $S(\text{ob})$. Пусть множество

$$\partial(\mathbf{A}) = \{\partial(x) \mid x \in \mathbf{A}\}$$

есть множество базисных динамик элементов носителя, а множество,

$$D(\mathbf{A}) = \{ \langle \partial(x), \partial(y) \rangle \mid \Rightarrow_N (\partial(x), \partial(y)), \partial(x), \partial(y) \in \partial(\mathbf{A}) \}$$

есть отношение системной связи на $\partial(\mathbf{A})$. Тогда пара

$$\mathbf{Syst}(\mathbf{A}) = \langle \mathbf{A}, D(\mathbf{A}) \rangle$$

является структурным типом по форме (1) и совмещает объектное и динамическое представление отношения причинности $a \Rightarrow b$ в $\text{MetaOnt}^{\text{EVT}}$.

По построению, **Syst (A)** является *решением* обобщенной задачи реализации (5) в метаонтологии $MetaOnt^{SYS}$ построенным по схеме (6) и представляет собой *системный структурный тип* из $\mathbf{1}(syst)$, соответствующий выбранному для редукции *объектному структурному типу* \mathbf{g} из $\mathbf{1}(ob)$ и соответствующей *составляющей* \mathbf{S}^* пространства состояний объектов $S(ob)$.

В объектном представлении (10) системная связь $\Rightarrow_N(\partial(x), \partial(y))$, определенная как *отношение на множестве динамик*, позволяет говорить о носителе **A** системного структурного типа **Syst(A)**, как о *совокупности объектов A, наделенной отношением системной связи в пространстве состояний своих элементов*

$$\mathbf{Syst}(\mathbf{A}) = \langle \mathbf{A}, \Rightarrow_N(ob_1, ob_2) \rangle,$$

т.е. как о «динамической системе объектов», которая может рассматриваться как *совокупность*, типа «динамическая система».

Пример. Покажем, что системный структурный тип **Syst (A)** *определяет процесс моделирования*, как процесс последовательного уточнения модели объекта автоматизации *при решении задачи синтеза проблемно-ориентированой САПР*. Рассмотрим в качестве *примера*, задачу о водохранилищах [12].

Результат анализа *процесса моделирования* в этой задаче в терминах *системного структурного типа*,

$$\mathbf{Syst}(\mathbf{A}) = \langle \mathbf{A}, D(\mathbf{A}) \rangle$$

представлен ниже.

Структурный тип в задаче о водохранилищах есть \mathbf{g} из $\mathbf{1}(ob)$ есть $\mathbf{g0} = \langle \mathbf{A} \rangle$.

Динамики элементов носителя являются временными.

- | | |
|--------------------------------|--|
| а) Элементы носителя A: | $\partial(\mathbf{A})$: Динамики $\partial(ob)$ элементов носителя A : |
| ob_1 – осадки | $\partial(ob_1) = r_1(t)$ – количество осадков |
| ob_2 – осадки | $\partial(ob_2) = r_2(t)$ – количество осадков |
| ob_3 – водохранилище | $\partial(ob_3) = x_1(t)$ – наполнение водохранилища |
| ob_4 – водохранилище | $\partial(ob_4) = x_2(t)$ – наполнение водохранилища |
| ob_5 – водохранилище | $\partial(ob_5) = x_3(t)$ – наполнение водохранилища |
| ob_6 – водохранилище | $\partial(ob_6) = x_4(t)$ – наполнение водохранилища |

Пространством состояний каждого из объектов является $S(\mathbf{g0}) = \mathbf{R}^1$. Базисные динамики элементов носителя – временные.

Модель включает две формы представления *системной связи* $\Rightarrow_N(ob_1, ob_2)$ в пространстве состояний объектов-водохранилищ:

б) Структурное представление отношения *системной связи* $\Rightarrow_N(ob_1, ob_2)$ на **A** как *отношения на множестве временных динамик* из $\partial(\mathbf{A})$ задается графом **G**:

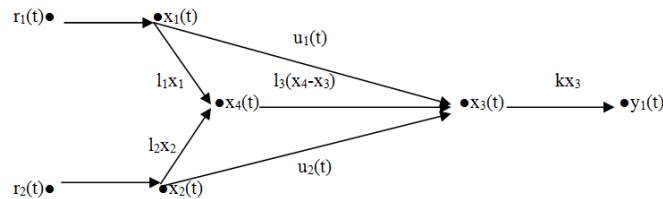


Рис 1. Структурное представление системной связи $\Rightarrow_N(ob_1, ob_2)$ на **A**

в) Параметрическое представление отношения *системной связи* $\Rightarrow_N(ob_1, ob_2)$ на **A** в виде системы *уравнений состояния* в \mathbf{R}^4 , построенной на основе графа **G**

$$\begin{aligned} \dot{x}_1(t) &= x_1(t) - l_1x_1(t) - u_1(t) + r_1(t) \\ \dot{x}_2(t) &= x_2(t) - l_2x_2(t) - u_2(t) + r_2(t) \\ \dot{x}_3(t) &= x_3(t) + l_3(x_4(t) - x_3(t)) - kx_3(t) + u_1(t) + u_2(t) \\ \dot{x}_4(t) &= x_4(t) + l_1x_1(t) + l_2x_2(t) - l_3(x_4(t) - x_3(t)) \end{aligned}$$

Веса ребер графа G , входящие в уравнения, содержательно определяемые в [12], рассматриваются как степени интенсивности системной связи между динамиками из $\partial(A)$. В том числе и $u_1(t)$, $u_2(t)$, которые содержательно определяются в [12] как попуски воды из водохранилищ.

Процесс построения модели для объектного структурного типа $g_2 = \langle AF \rangle$ – множество с операциями приведен в [13].

Замечание.

Пример показывает, что водохранилища составляют «динамическую систему объектов» постольку, поскольку динамики водохранилищ находятся в отношении системной связи (связаны между собой).

Пример приводит конкретный вид динамической системы объектов, построенной на основе системной связи объектов, заданной в структурном и параметрическом представлении. В логическом смысле Пример предъясвляет одну из интерпретаций структурного системного типа из $Syst(A)$, а значит, пример синтеза проблемно-ориентированной САПР на основе $Syst(A)$.

Пример подчеркивает особенность предложенного подхода, состоящую в том, что часто в математической теории систем носитель A не относят к математической модели системы и, следовательно, модель не описывает логику процесса разработки проблемно-ориентированной САПР, требующую выделения объектов автоматизации на основе структурных типов начиная с концептуальных моделей, относящихся к ранним стадиям разработки САПР, и заканчивая, параметрическими моделями, относящимися к конечным этапам.

Благодарности. Авторы искренне благодарят д.т.н., профессора В.В. Кульбу за содержательные советы и поддержку высказанных здесь положений.

Заключение. С точки зрения концепции онтологического подхода, результаты оказываются близкими к подходу, предлагаемому в [14], но, в отличие от него, опирается на математические модели, дополняя их понятием «динамическая система объектов». С точки зрения практики проектирования САПР подход соответствует современной тенденции развития инженерии разработки программного обеспечения, который связывают с системно-ориентированным подходом, представленном в форме SysML [15]. В контексте решения общих проблем онтологического подхода к разработке проблемно-ориентированных САПР, представленные результаты имеют прямое отношение к исследованиям связи онтологического и лингвистического метамоделирования [16], когнитивистике [17], а также к проектированию информационных компьютерных систем на основе использования связанной совокупности моделей [18–20].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Никольский С.Н. Онтологические модели жизненного цикла информационно-управляющих систем. Сибирское отделение РАН, Институт математики им. С.Л. Соболева // Материалы Всероссийской конференции с международным участием «Знания-Онтологии-Теории» (ЗОНТ-2007). Новосибирск, 14-16 сентября 2007. – С. 184-190.
2. Никольский С.Н., Сурженко И.Ф. Автоматизация информационных систем и метамоделирования // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2014. – № 7 (156). – С. 187-195.
3. Голдблатт Р. Топосы: категорный анализ логики. – М.: Мир, 1983. – 486 с.
4. Агафонов В.Н. Языки и средства спецификации программ (обзор) // Сб. статей «Требования и спецификации в разработке программ». – М.: Мир, 1984. – С. 285-344.
5. Месарович М., Такахара Я. Общая теория систем: математические основания. – М.: Мир, 1978. – 311 с.
6. Хайес П. Логика действий. В кн. Интегральные роботы. – М., Мир, 1975. – 526 с.
7. Kulba V., Nikolsky S., Zaikine O. Ontological approach to modeling of discrete event dynamic system // Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Technical Sciences. Modeling and optimization of manufacturing systems. – September 2009. – Vol. 57, Issue 3. – P. 241-247. ([http://www.ippt.gov.pl/~bulletin/\(57-3\)241.html](http://www.ippt.gov.pl/~bulletin/(57-3)241.html)).

8. Целищев В.В. и др. Логика и онтология // Сб. статей. – М.: Наука, 1977. – 261 с.
9. Никольский С.Н., Сурженко И.Ф. Онтологический анализ отношения «цель-результат» // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 7 (144). – С. 107-111.
10. Смолин Л. Атомы пространства и времени // В мире науки, Scientific American. – 2004. – № 4. – С. 96.
11. Кон П. Универсальная алгебра. – М.: Мир, 1968. – 349 с.
12. Кастри Дж. Большие системы. Связность, сложность и катастрофы. – М.: Мир, 1982. – 286 с.
13. Kulba V., Nikolsky S. Metaontology DEDS: Operational dynamic system on classes // J. Management and Production Engineering Review. – September, 2011. – Vol. 2, No. 3. – P. 28-34.
14. Wolf K.E. Applications of Temporal Conceptual Semantic System // RF Conference with international participation, Sobolev Institute of Mathematics, Preprints. – September, 2007. – Vol. 1. – P. 3-15.
15. Bennett, Matthew B., Ingham, Michel, Jenkins, Steven, Karban, Robert, Rouquette, Nicolas, Wagner, David A. An Ontology for State Analysis: Formalizing the Mapping to SysML // IEEE Aero Conference 2012.
16. Ericksson O., Henderson-Sellers B., Agrefalk P.J. Ontological and Linguistic metamodeling revisited // J. Informanion and Software Technology. – 2013. – № 55. – P. 2099-2124.
17. Lee H., Jaekwon S. Ontological semantic inference based on cognitive map // J. Expert systems with Applications. – 2014. – No. 41. – P. 2981-2988.
18. Christopher L. Delp, Elyse Fosse. Jet Propulsion Laboratory, Systems Engineering Interfaces: A Model Based Approach, California Institute of Technology, Pasadena, CA, USA. Submitted to 2013 IEEE Aerospace Conference Big Sky, Montana, March 2-9, 2013.
19. Delligatti, Lenny. SysML Distilled: A Brief Guide to the Systems Modeling Language. – Addison-Wesley Professional, 2013. – ISBN 978-0-321-92786-6.
20. Никольский С.Н., Сухов А. Методика организации процесса сопровождения ИТ-систем // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – № 7 (120). – С. 170-174.

REFERENCES

1. Nikol'skiy S.N. Ontologicheskie modeli zhiznennogo tsikla informatsionno-upravlyayushchikh sistem. Sibirskoe otdelenie RAN, Institut matematiki im. S.L. Soboleva [Ontological model of life cycle information management systems. Siberian branch of the RAS, Institute of mathematics im. S. L. Sobolev], *Materialy Vserossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Znaniya-Ontologii-Teorii» (ZONT-2007)*. Novosibirsk, 14-16 sentyabrya 2007 [Materials of all-Russian conference with international participation "Knowledge-Ontology-Theory" (an UMBRELLA-2007). Novosibirsk, 14-16 September 2007], pp. 184-190.
2. Nikol'skiy S.N., Surzhenko I.F. Avtomatizatsiya informatsionnykh sistem i metamodelirovaniya [Automation of information systems and metamodeling], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2014, No. 7 (156), pp. 187-195.
3. Goldblatt R. Toposy: kategornyy analiz logiki [Topoi: the categorical analysis of logic]. Moscow: Mir, 1983, 486 p.
4. Agafonov V.N. Yazyki i sredstva spetsifikatsii programm (obzor) [Languages and tools program specification (review)], *Sb. statey «Trebovaniya i spetsifikatsii v razrabotke programm»* [The collection of articles "Requirements and specifications in software development"]. Moscow: Mir, 1984, pp. 285-344.
5. Mesarovich M., Takahara Ya. Obshchaya teoriya sistem: matematicheskie osnovaniya [General systems theory: mathematical foundations]. Moscow: Mir, 1978, 311 p.
6. Khayes P. Logika deystviy. V kn. Integral'nye roboty [The logic of action. In the book Integrated robots]. Moscow, Mir, 1975, 526 p.
7. Kulba V., Nikolsky S., Zaikine O. Ontological approach to modeling of discrete event dynamic system, *Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Technical Sciences. Modeling and optimization of manufacturing systems*, September 2009, Vol. 57, Issue 3, pp. 241-247. (Available at: [http://www.ippt.gov.pl/~bulletin/\(57-3\)241.html](http://www.ippt.gov.pl/~bulletin/(57-3)241.html)).
8. Tselishchev V.V. i dr. Logika i ontologiya [Logic and ontology], *Sb. statey* [Collected papers]. Moscow: Nauka, 1977, 261 p.
9. Nikol'skiy S.N., Surzhenko I.F. Ontologicheskiy analiz otnosheniya «tsel'-rezul'tat» [Ontological analysis of "goal-result" relation], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2013, No. 7 (144), pp. 107-111.

10. Smolin L. Atomy prostranstva i vremeni [Atoms of space and time], *V mire nauki, Scientific American* [In the world of science, Scientific American], 2004, No. 4, pp. 96.
11. Kon P. Universal'naya algebra [Universal algebra]. Moscow: Mir, 1968, 349 p.
12. Kasti Dzh. Bol'shie sistemy. Svyaznost', slozhnost' i katastrofy [Large system. Connectivity, complexity and catastrophe]. Moscow: Mir, 1982, 286 p.
13. Kulba V., Nikolsky S. Metaontology DEFS: Operational dynamic system on classes, *J. Management and Production Engineering Review*, September, 2011, Vol. 2, No. 3, pp. 28-34.
14. Wolf K.E. Applications of Temporal Conceptual Semantic System, *RF Conference with international participation, Sobolev Institute of Mathematics, Preprints*, September, 2007, Vol. 1, pp. 3-15.
15. Bennett, Matthew B., Ingham, Michel, Jenkins, Steven, Karban, Robert, Rouquette, Nicolas, Wagner, David A. An Ontology for State Analysis: Formalizing the Mapping to SysML, *IEEE Aero Conference 2012*.
16. Ericksson O., Henderson-Sellers B., Agrefalk P.J. Ontological and Linguistic metamodeling revisited, *J. Informanion and Software Technology*, 2013, No. 55, pp. 2099-2124.
17. Lee H., Jaekwon S. Ontological semantic inference based on cognitive map, *J. Expert systems with Applications*, 2014, No. 41, pp. 2981-2988.
18. Christopher L. Delp, Elyse Fosse. Jet Propulsion Laboratory, Systems Engineering Interfaces: A Model Based Approach, California Institute of Technology, Pasadena, CA, USA. Submitted to 2013 IEEE Aerospace Conference Big Sky, Montana, March 2-9, 2013.
19. Delligatti, Lenny. SysML Distilled: A Brief Guide to the Systems Modeling Language. Addison-Wesley Professional, 2013. ISBN 978-0-321-92786-6.
20. Nikol'skiy S.N., Sukhov A. Metodika organizatsii protsessa soprovozhdeniya IT-sistem [The technique of the organization of the maintenance process of IT system], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2011, No. 7 (120), pp. 170-174.

Статью рекомендовал к опубликованию д.ф.-м.н., профессор А.И. Сухинов.

Никольский Сергей Николаевич – Московский государственный университет информационных технологий, радиотехники и электроники; e-mail: nsn1946@yandex.ru; 107996, г. Москва, ул. Стромынка, 20; тел.: 89055761402; кафедра автоматизированные системы управления; д.т.н.; профессор.

Сурженко Игорь Феофанович – Южный федеральный университет; e-mail: isurzh@nkbmius.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; главный конструктор.

Nikolsky Sergei Nikolaevich – Moscow state University of information technologies, radio engineering and electronics; e-mail: nsn1946@yandex.ru; 20, Strominka street, Moscow, 107996, Russia; phone: +79055761402; the department of automated systems and information technologies; dr. of eng.sc; professor

Surgenko Igor Pheodosievich – Southern Federal University; e-mail: isurzh@nkbmius.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; chief designer.

УДК 004.852

Р.М. Немков

ИССЛЕДОВАНИЕ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ, ОБУЧЕННОЙ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА ПРИМЕНЕНИЯ НЕСТАНДАРТНЫХ РЕЦЕПТИВНЫХ ПОЛЕЙ ПРИ РАСПОЗНАВАНИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Приведено описание результатов экспериментальной апробации метода синтеза параметров математической модели сверточной нейронной сети (СНС), отличающийся от известных тем, что для повышения обобщающей способности сети, обучающая выборка генерируется путём добавления искажённых образов посредством изменения рецептивных полей СНС. В результате один и тот же паттерн воспринимается сетью по-разному. Значительное внимание уделено анализу результатов экспериментов по распознаванию объектов на системе