

# ФОРМАЛЬНОЕ ОПИСАНИЕ ГРАФИЧЕСКОЙ НОТАЦИИ ДЛЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ МОДЕЛЕЙ В ЦЕЛОМ ПО МЕТОДОЛОГИИ АВТОМАТИЗАЦИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ТРУДА

## FORMAL DESCRIPTION OF A GRAPHICAL NOTATION FOR REPRESENTING MODELS AS A WHOLE FOR METHODOLOGY OF AUTOMATION OF INTELLECTUAL LABOR

**M. Glinkin  
O. Novoselova**

*Summary.* The article presents a formal description of a graphical notation using three-dimensional visualization to represent models of automated systems according to the Methodology of Automation of Intellectual Labor (MAIL). The research aims to enhance the efficiency of modeling automated systems by providing a more comprehensive representation of models. Research methods: Systems approach. The study examines the description of MAIL models for the initial and conceptual modeling stages of subject tasks. As a result of the research, a correspondence between the entities of original MAIL models and the structure of the developed graphical representation was established, and its formal description was provided. This description advances the methods of initial and conceptual modeling and ensures alignment of the formed representation with MAIL models, facilitating the development of a methodology for shaping this representation.

*Keywords:* methodology of Automation of Intellectual Labor, modeling of automated systems, conceptual modeling, graphical notation, three-dimensional visualization.

Для представления сложных составных моделей может быть использовано представление с использованием трехмерной визуализации. Подобные решения позволяют более наглядно и полно отобразить все части модели, их статические и динамические структуры и взаимосвязи между ними. В данной статье предложено формальное описание разработанной в предыдущих исследованиях графической нотации для представления моделей автоматизированных систем по методологии автоматизации интеллектуального труда (МАИТ) с использованием трехмерного представления для визуализации полной взаимосвязанной модели в целом (см. рис. 1).

Согласно методологии автоматизации интеллектуального труда, на всех этапах моделирования, модели автоматизированных систем (АС) включают статические и динамические элементы модели. Отношения между

**Глинкин Максим Олегович**  
Аспирант, Московский государственный  
технологический университет «СТАНКИН»,  
maximglin05@yandex.ru

**Новоселова Ольга Вячеславовна**  
канд.техн.наук, доцент, Московский государственный  
технологический университет «СТАНКИН»  
ol.novoselova@stankin.ru

*Аннотация.* В статье представлено формальное описание графической нотации с использованием трехмерной визуализации для представления моделей автоматизированных систем по методологии автоматизации интеллектуального труда (МАИТ). Целью исследования является повышение эффективности процесса моделирования автоматизированных систем за счет более полного представления моделей. Методы исследования: системный подход. В исследовании было рассмотрено описание моделей по МАИТ для этапов начального и концептуального моделирования предметных задач. В результате исследования было установлено соответствие между сущностями оригинальных моделей по МАИТ и структурой разработанного графического представления и приведено его формальное описание. Данное описание развивает методы начального и концептуального моделирования и позволяет гарантировать соответствие сформированного представления моделям по МАИТ, а также перейти к разработке методики по формированию данного представления.

*Ключевые слова:* методология автоматизации интеллектуального труда, моделирование автоматизированных систем, концептуальное моделирование, графическая нотация, трехмерная визуализация.

сущностями этих структур отражают функциональные зависимости между действиями, описанными в динамической структуре модели, и информацией, описываемой в статической структуре модели. Подобная структура позволяет производить сложные действия над моделями, например, оптимизацию решений — возможно выполнение распараллеливания алгоритма, так как по модели очевидны используемые в каждом конкретном действии структуры данных, а также интеграцию моделей. При этом сами статическая и динамическая составляющие обладают иерархической структурой, что позволяет производить моделирование области знаний в виде открытой сети, согласно когнитивному подходу к моделированию. Наглядное визуальное представление данных взаимосвязей помогает специалистам производить моделирование и анализ согласно методологии, полностью показывая всю родословную параметров, используемых в модели и их отношения с единицами динами-

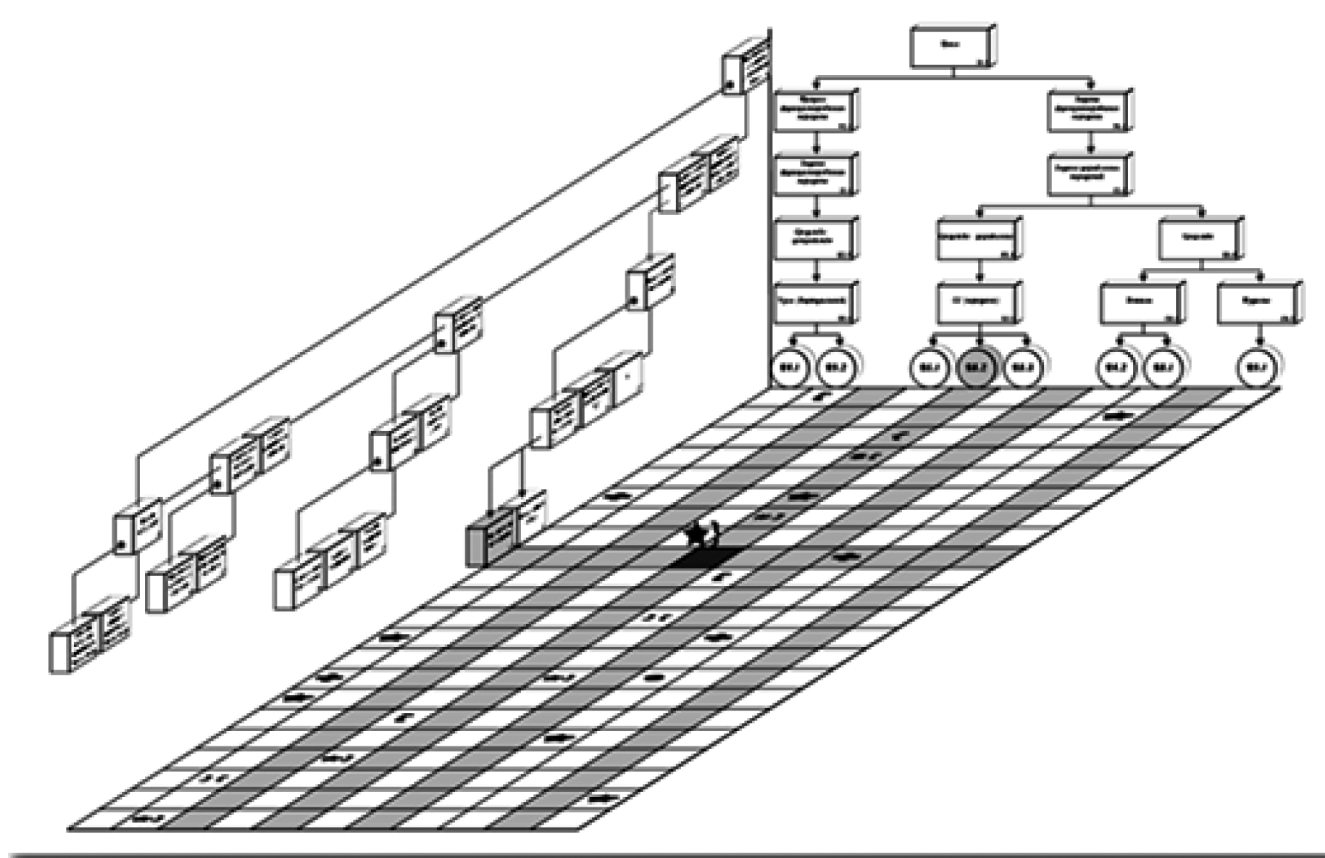


Рис. 1. Пример визуализации концептуальной модели по МАИТ с использованием разработанной нотации

ческой структуры, что снижает когнитивную нагрузку на специалистов, тем самым повышая эффективность процессов моделирования АС согласно МАИТ.

Далее приведено формальное описание для этапов начального и концептуального моделирования по МАИТ. Представление модели в данной графической нотации, по сути, имеет графовую структуру, отражающую объекты оригинальной модели и взаимосвязи между ними, поэтому требуется установить соответствие между данными сущностями. Для этого сначала будет приведено краткое формальное описание моделей по МАИТ и затем показано, как оно будет отображено на структуру представления по разработанной нотации.

В формируемом формальном описании будет рассматриваться объектный уровень моделей, так как в контексте его графического представления, требуется зафиксировать сущности модели и отношения между ними, а не конкретные экземпляры сущностей, возникающие уже при рассмотрении модели на конкретном уровне, то есть экземпляры сущностей для какой-либо конкретной задачи.

Согласно методологии, для начального этапа моделирования модель для  $n$ -й предметной задачи описывается как:

$$MPi(z) = \langle Pi(z), Zi(z), Ri^{MP}(z) \rangle.$$

Параметр  $z$  принимает значение  $n$  для описания начальной модели  $n$ -й предметной задачи. На объектном уровне  $i=2$ .  $Pi(z)$  — представляет собой множество параметров,  $Zi(z)$  — множество предметных действий,  $Ri^{MP}(z)$  — множество отношений, описывающих взаимосвязи между статической и динамической структурами модели [1].

Для рассматриваемого в контексте формирования трехмерного представления модели в целом объектного уровня модель предметной задачи представляется как набор множества параметров, отношений над параметрами и отношений между этими множествами.

Тогда  $P2(n) \equiv X(n) = \{x_{qk}\}$  — множество параметров задачи на объектном уровне.

Каждый параметр является свойством какого-либо объекта, поэтому разбиение параметров по объектам описывается следующим образом [1]:

$$X(n) = \bigcup_q X_q(n), X_q(n) = \{x_{qk}\},$$

где  $X_q(n)$  — множество параметров, относящихся  $q$ -му объекту, а  $x_{qk}$  —  $k$ -й параметр  $q$ -го объекта из множества объектов  $O(n)$ , где

$$O(n) = \{o_q\},$$

Тогда пусть  $S2(n)$  множество бинарных отношений между соответствующими объектами  $o_q$  и параметрами  $X_q(n)$ :

$$S2(n) = \bigcup_q o_q X_q(n).$$

$Z2(n) = \langle N2(n), FN2(n) \rangle$  представляет собой систему предметных действий, определяющую алгоритм решения предметной задачи, состоящую из множества предметных действий и множества бинарных отношений над этими действиями.

$R_2^{MP}(n)$  — отношения, описывающие взаимосвязи между сущностями статической и динамической структур модели.

На разработанном трехмерном представлении для начальной модели множество параметров  $X(n)$  отображается на множество узлов диаграммы  $V_{\text{Параметр}}$ :

$$X(n) \rightarrow V_{\text{Параметр}},$$

множество родительских объектов  $O(n)$  отображается на множество узлов диаграммы  $V_{\text{Объект}}$ :

$$O(n) \rightarrow V_{\text{Объект}},$$

Пусть  $R_{\text{ИС}}$  — множество взаимосвязей на разработанном представлении, тогда:

$$S2(n) \rightarrow R_{\text{ИС}} \subset V_{\text{Объект}} \times V_{\text{Параметр}}.$$

Для формального описания разработанного представления будет использован математический аппарат теории графов:

$$G = \{V, E\},$$

где  $G$  обозначает граф,  $V$  — множество его вершин,  $E$  — множество его ребер.

Таким образом, статическая структура предметной задачи на начальном этапе моделирования на диаграмме представляет из себя граф

$$G_{\text{ИС}} = \{V_{\text{ИС}}, E_{\text{ИС}}\},$$

где  $V_{\text{ИС}} = V_{\text{ВПараметр}} \cup V_{\text{ВОбъект}}$  — вершины графа, соответствующие узлам параметров и их родительских объектов,  $E_{\text{ИС}}$  — ребра графа, соответствующие бинарным отношениям между параметрами и объектами.

Множество предметных действий объектного уровня  $N2(n)$  на трехмерном представлении начальной моде-

ли отображается на множество узлов, представляющих предметные зависимости ВПД:

$$N2(n) \rightarrow V_{\text{ПД}} = V_{\text{ПДЭл}} \cup V_{\text{ПДАл}} \cup V_{\text{ПДИтер}} \cup V_{\text{ПДПосл}},$$

где  $V_{\text{ПДЭл}}$  — множество узлов диаграммы, представляющих элементарные предметные действия,  $V_{\text{ПДАл}}$  — множество узлов диаграммы, представляющих предметные действия типа «Альтернатива»,  $V_{\text{ПДИтер}}$  — множество узлов диаграммы, представляющих предметные действия типа «Итерация»,  $V_{\text{ПДПосл}}$  — множество узлов диаграммы, представляющих предметные действия типа «Последовательность».

Пусть  $R_{\text{ПД}}$  — множество взаимосвязей между узлами представления, соответствующими предметным действиям, тогда:

$$FN2(n) \rightarrow R_{\text{ПД}} = V_{\text{ПД}} \times V_{\text{ПД}}.$$

На разработанном представлении система предметных действий начальной модели представляет из себя граф:

$$G_{\text{СПД}} = \{V_{\text{СПД}}, E_{\text{СПД}}\},$$

где  $V_{\text{СПД}}$  — вершины графа, соответствующие узлам предметных действий,  $E_{\text{СПД}}$  — ребра графа, соответствующие бинарным отношениям между предметными действиями.

Множество функциональных отношений между параметрами и ПД на объектном уровне  $R_2^{MP}(n)$  на трехмерном представлении концептуальной модели отображается на множество узлов отношений  $R_{\text{Отн}}$ :

$$R_2^{MP-1}(n) \rightarrow R_{\text{Отн}} : V_{\text{Параметр}} \rightarrow V_{\text{ПД}}.$$

Таким образом, множество функциональных отношений концептуальной модели предметной задачи объектного уровня на диаграмме может быть представлено в виде графа

$$G_{\text{НМ}} = \{V_{\text{В}}, E_{\text{РОТН}}\},$$

где  $V_{\text{В}} = \langle V_{\text{ВПараметр}}, V_{\text{ВПД}} \rangle$  — множество вершин графа, включающее в себя вершины, соответствующие узлам параметров и вершины, соответствующие узлам предметных действий,  $E_{\text{РОТН}}$  — ребра графа, соответствующие функциональным отношениям между параметрами и предметными действиями.

Концептуальная модель для  $n$ -й предметной задачи имеет вид:

$$KPi(z) = \langle Mi(z), Thi(z), FUi(z), R^{KP}(z) \rangle,$$

где  $z = n$  описывает концептуальную модель  $n$ -й предметной задачи объектного уровня ( $i = 2$ );  $Mi(z)$  — множество категорий,  $Thi(z)$  — множество статических отношений между категориями,  $FUi(z)$  — множество динамических отношений,  $R^{KP}(z)$  — отношения, описывающие взаимосвязи между сущностями статической и динамической составляющих модели [2].

Пусть множество предметных категорий объектного уровня  $M2(n)$  будет обозначено как множество  $A(n)$ , множество предметных зависимостей объектного уровня  $\overline{V2}(n)$  как множество  $\overline{W}(n)$  [3].

На разработанном трехмерном представлении концептуальной модели множество предметных категорий объектного уровня  $A(n)$  отображается на множество узлов диаграммы  $V_{ПК}$ :

$$A(n) \rightarrow V_{ПК} = \langle V_{ПКГруппа}, V_{ПКПризнак} \rangle.$$

$V_{ПКГруппа}$  — множество узлов на разработанном представлении, соответствующих предметным категориям, которые расположены на всех уровнях выше предметных категорий типа «Признак» (предметные категории типов: цикл, процесс, задача, компонент, объект).  $V_{ПКПризнак}$  — множество узлов представления, соответствующих предметным категории типа «Признак».

Пусть  $R_{ПК}$  — множество взаимосвязей между предметными категориями на представлении, тогда множество отношений модели отображается на них как:

$$T2(n) \rightarrow R_{ПК} \subset V_{ПКГруппа} \times V_{ПКГруппа} \times V_{ПКГруппа} \times V_{ПКПризнак}.$$

Таким образом, концептуальная структура предметной задачи на диаграмме представляет из себя граф:

$$G_{КС} = \{V_{ПК}, E_{ПК}\}.$$

В рассматриваемом представлении  $V_{ПК}$  — вершины графа, соответствующие узлам предметных категорий,  $E_{ПК}$  — ребра графа, соответствующие бинарным отношениям между предметными категориями.

Множество предметных зависимостей  $W(n)$  на трехмерном представлении концептуальной модели отображается на множество узлов, представляющих предметные зависимости  $V_{ПЗ}$ :

$$W(n) \rightarrow V_{ПЗ} = V_{ПЗЭл} \cup V_{ПЗАл} \cup V_{ПЗИтер} \cup V_{ПЗПосл},$$

где  $V_{ПЗЭл}$  — множество узлов диаграммы, представляющих элементарные предметные зависимости,  $V_{ПЗАл}$  — множество узлов диаграммы, соответствующих предметным зависимостям типа «Альтернатива»,

$V_{ПЗИтер}$  — множество узлов диаграммы, соответствующих предметным зависимостям типа «Итерация»,  $V_{ПЗПосл}$  — множество узлов диаграммы, соответствующих предметным зависимостям типа «Последовательность».

Пусть  $R_{ПЗ}$  — множество взаимосвязей на разработанном представлении. Тогда множество отношений между предметными зависимостями объектного уровня отображается на него как:

$$\overline{FV2}(n) \rightarrow R_{ПЗ} = V_{ПЗ} \times V_{ПЗ}.$$

Таким образом, система предметных зависимостей предметной задачи на диаграмме представляет из себя граф

$$G_{СПЗ} = \{V_{ПЗ}, E_{ПЗ}\},$$

где  $V_{ПЗ}$  — вершины графа, соответствующие узлам, представляющим предметные зависимости на разработанном трехмерном представлении,  $E_{ПЗ}$  — ребра графа, соответствующие бинарным отношениям между предметными зависимостями на представлении.

Пусть  $R_{Отн}$  — множество взаимосвязей между ПК и ПЗ на разработанном трехмерном представлении модели для этапа концептуального моделирования по МАИТ, тогда  $R^{KP-1}(n)$  отображается на него как:

$$R^{KP-1}(n) \rightarrow R_{Отн} : V_{ПКПризнак} \rightarrow V_{ПЗ}.$$

Тогда множество отношений между узлами статической и динамической структур для этапа концептуального моделирования на диаграмме может быть представлено в виде графа

$$G_{KM} = \{V_B, E_{R_{Отн}}\},$$

где  $V_B = \langle V_{ПКПризнак}, V_{ПЗ} \rangle$  — множество вершин графа, включающее в себя вершины, соответствующие узлам предметных категорий типа «Признак», а также вершины, соответствующие узлам предметных зависимостей,  $E_{R_{Отн}}$  — ребра графа, соответствующие функциональным отношениям между ПК типа «Признак» и предметными зависимостями.

Разработанное формальное описание развивает методы начального и концептуального моделирования и позволяет гарантировать соответствие сформированного представления моделям по МАИТ и его корректность, а также перейти к разработке методики по формированию данного представления. На основании сформулированного описания может быть разработана методика проверки корректности и интеграции моделей, создаваемых по методологии, с использованием данного представления, так как оно позволяет

использовать аналогичные оригинальным операции и действия над моделями. Также подобное описание может быть полезным при реализации поддержки данной нотации в программных модулях CASE-средств, поддер-

живающих моделирование по МАИТ, так как на его основании могут быть сформулированы основные структуры данных и алгоритмы необходимые для его построения.

---

ЛИТЕРАТУРА

1. Новоселова, О.В. Моделирование предметных задач на начальных этапах автоматизации проектной деятельности: учеб. пособие / О.В. Новоселова. — М.: ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», 2016. — 100 с.: ил. ISBN 978-5-7028-0598-6
2. Волкова, Г.Д. Методология автоматизации интеллектуального труда. / Г.Д. Волкова — М.: Янус-К, 2013. — 104 с. — ISBN 978-5-8037-0608-3
3. Волкова, Г.Д. Концептуальное моделирование предметных задач в машиностроении. / Г.Д. Волкова Учеб. пос. — М.: МГТУ «СТАНКИН», 2000 — 98с.

---

© Глинкин Максим Олегович (maximglin05@yandex.ru); Новоселова Ольга Вячеславовна (ol.novoselova@stankin.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»