

УДК 004.82+007.52

DOI: [10.26102/2310-6018/2025.51.4.023](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2025.51.4.023)

Модель миварной проблемно-ориентированной системы управления и принятия решений в пространстве состояний

Д.В. Аладин✉

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,
Москва, Российская Федерация*

*Научно-исследовательский институт вычислительных комплексов имени
М.А. Карцева, Москва, Российская Федерация*

Резюме. В статье рассматривается разработка миварной экспертной системы для решения управленческих задач в пространстве состояний. Исследование объединяет миварный и метаграфовый подходы для описания архитектуры системы, способной работать с эволюционными базами знаний и обрабатывать информацию с помощью линейной логики и вычислительной обработки. Предложена модель проблемно-ориентированной системы управления и принятия решений на основе миварного агента, который взаимодействует с метаграфовыми агентами в рамках гибридной интеллектуальной информационной системы. Описаны особенности представления миварной сети через метаграф, что позволяет сегментировать знания и формализовать интерфейсы взаимодействия между различными информационными системами. Разработанная модель совместима с различными способами построения концептуальных моделей предметных областей для решения задач методом разбиения на подзадачи. Особое внимание уделено формализации цикличности в функционировании миварных экспертных систем, что позволяет организовывать процессы принятия решений в соответствии с календарными или производственными циклами. Практическая значимость работы заключается в создании инструмента для проектирования и анализа миварных экспертных систем, который способствует улучшению архитектуры систем и повышению выразительной способности концептуальных моделей предметных областей при решении управленческих задач в пространстве состояний.

Ключевые слова: миварный подход, метаграфовый подход, миварная сеть, миварная экспертная система, гибридная интеллектуальная информационная система, пространство состояний, миварный агент, метаграфовый агент.

Для цитирования: Аладин Д.В. Модель миварной проблемно-ориентированной системы управления и принятия решений в пространстве состояний. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии.* 2025;13(4). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=2083> DOI: 10.26102/2310-6018/2025.51.4.023

Model of mivar problem-oriented management and decision-making system in state space

D.V. Aladin✉

*Bauman Moscow State Technical University, Moscow, the Russian Federation
Scientific Research Institute of Computing Complexes named after M.A. Kartsev, Moscow,
the Russian Federation*

Abstract. The article discusses the development of a mivar expert system for solving management problems in a state space. the study combines the mivar and metagraph approaches to describe the architecture of a system capable of operating with evolutionary knowledge bases and processing information through linear logic and computational processing. A model for a problem-oriented management and decision-making system based on mivar agents interacting with metagraph agents

within a hybrid intelligent information system is presented. The features of representing the mivar network through metagraph are described, making it possible to divide knowledge and formalize the interfaces for interaction between different information systems. The developed model is compatible with various approaches to constructing conceptual models of subject areas for solving problems through decomposition into sub-tasks. Particular attention is given to the formalization of cyclicity in the functioning of mivar expert systems, which makes it possible to organize decision-making processes in accordance with calendar or production cycles. The practical significance of this work lies in creating a tool for designing and analyzing mivar expert systems, which helps to improve the architecture of these systems and increase the expressiveness of conceptual models of subject areas when solving management problems in a state space.

Keywords: mivar approach, metagraph approach, mivar network, mivar expert system, hybrid intelligent information system, state space, mivar agent, metagraph agent.

For citation: Aladin D.V. Model of mivar problem-oriented management and decision-making system in state space. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2025;13(4). (In Russ.). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=2083> DOI: 10.26102/2310-6018/2025.51.4.023

Введение

В современном мире объем знаний о практически любой предметной области (ПрО) настолько велик, что создание ее модели может оказаться сложной и трудоемкой задачей. Сама же модель может получиться перегруженной и противоречивой, что сделает ее малоэффективной. Чтобы избежать этого, необходимо выбирать наиболее релевантные знания о ПрО, опираясь на определенные критерии, например, цели построения модели. Концептуальная модель ПрО (КМПрО) представляет собой абстрактное отображение объектов и явлений в конкретной области знаний, отражающее их основные характеристики и взаимосвязи. Она помогает систематизировать знания, выделить ключевые моменты и связи между ними, что особенно полезно при работе со сложными предметными областями. В качестве базовых понятий для описания КМПрО можно использовать такие категории, как состояние, действие и пространство состояний ПрО [1]. Данные категории также используются при решении задач в пространстве состояний методом разбиения задачи на подзадачи¹.

Метод разбиения задачи на подзадачи применяется с различными подходами организации знаний [1]. Особый интерес в рамках настоящего исследования представляет миварный подход [2]. Миварный подход для описания ПрО использует продукционные правила вида «если..., то...». Помимо этого, данный подход предлагает технологии для накопления и обработки информации, которые интегрируют и дополняют идеи продукционных систем, онтологий, семантических сетей, сетей Петри и других методов разработки интеллектуальных систем [2].

Метод разбиения задачи на подзадачи в сочетании с миварным подходом к формализации знаний показал свой высокий потенциал в системах поддержки принятия решений. Рассмотрим несколько примеров подобных систем. В работе [3] было предложено создать миварную экспертную систему (МЭС) для умных производственных систем изготовления колесных автомобильных дисков. В труде [4] описывается использование МЭС для оптимизации распределения и транспортировки грузов складскими роботами. В работе [5] было предложено создать МЭС для автоматизированного подбора частотных преобразователей на основе потребностей пользователей.

Миварный подход также применялся при создании систем с циклическими процессами, в которых управленческие решения выполняются в определенной

¹ Болотова Л.С. *Системы искусственного интеллекта: модели и технологии, основанные на знаниях*. Москва: Финансы и статистика; 2012. 663 с.

последовательности в зависимости от текущего состояния ПрО. В таких системах использовались методы разбиения задач на подзадачи и решения управленческих задач в пространстве состояний. В качестве примера можно привести миварную систему обеспечения ухода за растениями [6].

Сочетание миварного подхода с другими методами искусственного интеллекта рассматривается в рамках концепции гибридных интеллектуальных информационных систем (ГИИС) [7]. Такие системы можно рассматривать как многоагентные структуры [8], для которых внутренняя организация и взаимодействие агентов формализуются с применением метаграфового подхода.

Метаграфовый подход находит широкое применение для моделирования различных областей знаний. В работе [9] предложено использовать атрибутивные метаграфы для оперативного выявления подозрительной активности в компьютерных системах. В работе [10] обсуждается применение метаграфа для унифицированного представления разнородных данных современных корпоративных приложений. В исследовании [11] обсуждается создание метаграфовой системы управления базами данных с механизмом коллективного подтверждения вносимой информации, обеспечивающей безопасность и защиту от неправомерных модификаций.

ГИИС может использоваться в качестве архитектурного шаблона, упрощающего процесс разработки интеллектуальных систем. Как ранее уже отмечалось, миварный подход к созданию систем может быть применен для создания ГИИС и гармонично сочетается с другими подходами создания интеллектуальных систем [7]. Метаграфовый подход, в свою очередь, может применяться для описания разнородных сложных структур, таких как ГИИС. Это позволяет использовать его как основу для моделирования взаимодействия МЭС с информационными системами в рамках ГИИС.

Цель данной работы заключается в том, чтобы упростить проектирование архитектуры МЭС, которые применяются для решения управленческих задач в пространстве состояний, а также повысить их интеграционные возможности с другими информационными системами. Для достижения этой цели было предложено использовать модель такой системы и исследовать ее в контексте ГИИС. В качестве инструмента для описания и анализа применяется миварный и метаграфовый подходы. Это позволяет использовать опыт и знания, накопленные в области многоагентных систем, и сформировать единое информационное пространство для решения управленческих задач в пространстве состояний.

Материалы и методы

Миварный подход к представлению знаний. Миварный подход предлагает для создания информационных систем две основные технологии: накопления и обработки информации. Данные технологии позволяют формализовать знания в виде эволюционных баз знаний и обрабатывать их с помощью линейной логики и вычислительной обработки. Подробнее с данными технологиями можно ознакомиться в исследовании [12]. Далее подробно рассмотрим миварную технологию накопления информации.

Миварный подход для описания КМПрО предлагает следующую структуру:

$$\text{КМПрО} = \langle V, S, O \rangle, \quad (1)$$

где V – множество объектов или сущностей (вещи); S – совокупность их свойств и характеристик (свойства); O – множество отношений, задающих связи и взаимодействия между объектами.

Состояние ПрО (СПрО) при миварном подходе можно определить следующим образом:

$$\text{СПрО}(t) = \langle V(t), S(t), O(t) \rangle. \quad (2)$$

Выражение (2) описывает ситуацию, сложившуюся в ПрО в заданный момент времени t .

Множества V , S и O задают миварное пространство, понимаемое как дискретное трехмерное пространство [1]. Для построения КМПрО используется миварная сеть – графовая структура, основанная на двухдольных ориентированных графах [12], в составе которой выделяют множество вершин параметров ($P \subseteq V$) и множество вершин правил ($R \subseteq O$).

Параметр миварной сети – это свойство миварного пространства, которое имеет уникальное имя (идентификатор) и может быть определено и измерено, то есть ему можно сопоставить некоторое значение. Параметр можно представить в виде кортежа:

$$P_i = \langle IDP_i, VAL_i \rangle, \quad (3)$$

где P_i – параметр, IDP_i – его уникальное имя (идентификатор), VAL_i – значение параметра, при этом $\forall VAL_i \exists \text{СПрО} (VAL_i = \emptyset)$. Иными словами, значение VAL_i может быть задано при описании модели ПрО или определено позже, например, в процессе решения задач в этой ПрО.

Правило миварной сети – это известный способ получения одних значений параметров при условии известности значений других параметров. Для любого правила можно составить кортеж:

$$R_i = \langle IDR_i, IN_i, OUT_i, ACT_i \rangle, \quad (4)$$

где R_i – правило, IDR_i – его уникальное имя (идентификатор), $IN_i = \{P_j\}, \forall P_j \in P$ – множество параметров, значение которых должно быть известно (множество входных значений правила); $OUT_i = \{P_k\}, \forall P_k \in P, IN_i \cap OUT_i = \emptyset$ – множество параметров, значение которых может быть получено (множество выходных значений правила); ACT_i – описание способа получения значений параметров из множества OUT_i в заданном СПрО, когда $\forall P_j \in IN_i \exists VAL_j \in P_j (VAL_j \neq \emptyset)$. В множество IN_i должен входить как минимум один параметр, а множество OUT_i может быть пустым. Условие $IN_i \cap OUT_i = \emptyset$ является важным условием для представления миварной сети в виде двухдольных ориентированных графов. ACT_i также называют действием правила. Условие ACT_i , при котором необходимо определить все значения параметров множества IN_i , также называют условием активации правила. Действие правила совершается тогда, когда условие активации правила выполняется.

Важно отметить, что миварная технология обработки информации запрещает правилу изменять значения параметров, которые уже известны [12]. Если при выполнении действия правила обнаруживаются параметры, значения которых уже известны в ПрО, то значения таких параметров остается неизменным. Это обусловлено спецификой обработки миварной сети [12]. Данное ограничение влияет на то, как с помощью МЭС решаются циклические управленческие задачи в пространстве состояний.

Подробнее остановимся на рассмотрении миварной сети в виде графа. В общем виде формализованную модель миварной сети можно представить в виде:

$$MIG = \langle V, E \rangle, \quad (5)$$

где MIG – миварная сеть; $V = P \cup R$ – вершины графа, состоящего из параметров P и правил R ; E – ориентированные ребра графа, которые отображают отношения параметров P к правилам R . Если ребро $E_i \in E$ направлено из вершины $P_j \in P$ в вершину $R_k \in R$, то параметр P_j находится в входном множестве параметра R_k ($P_j \in IN_k$). Если наоборот, то параметр P_j находится в выходном множестве параметра R_k ($P_j \in OUT_k$).

На Рисунке 1 представлен пример миварной сети для одного правила. Для удобства отображения параметры принято отображать в виде круга или овала с именем, правила – прямоугольника с именем.

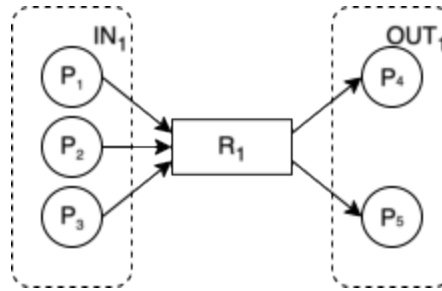


Рисунок 1 – Пример миварной сети для одного правила
Figure 1 – Example of mivar network for single rule

На Рисунке 1 изображено правило $R_1 = \langle IDR_1, IN_1, OUT_1, ACT_1 \rangle$, где $IN_1 = \{P_1, P_2, P_3\}$; $OUT_1 = \{P_4, P_5\}$. Для представленного примера можно явно выделить два двухдольных графа: первый граф состоит из двух частей $\{P_1, P_2, P_3\}$ и $\{R_1\}$, второй – $\{R_1\}$ и $\{P_4, P_5\}$. Само же правило R_1 образует трехдольный граф. Напомним, что правило не всегда может быть представимо в виде трехдольного графа, так как множество выходных параметров может быть пустым.

Анализируя формализованное описание правила миварной сети, можно заметить, что условие активации правила и соответствующее действие естественным образом вписываются в конструкцию «если..., то...». Более того, это описание полностью удовлетворяет широко известной форме продукции:

$$P(x, y) \rightarrow A \& B, \quad (6)$$

где $P(x, y)$ – логическое выражение, A – заключение, D – действие. Иными словами, правило миварной сети представимо в виде пары антецедент (перечень параметров, значения которых должно быть известно) и консеквент (действие, связанное с правилом). Принципиальной особенностью миварного подхода является то, что консеквент не сводится лишь к предикатам или логическим формулам. Это открывает возможность применять различные способы репрезентации знаний о вычислении параметров и обеспечивает совместимость с другими методами искусственного интеллекта.

Решение задач методом разбиения на подзадачи для миварных экспертных систем. Для формализованного описания СПрО с использованием миварного подхода применяется выражение (2). Метод решения задач через разбиение на подзадачи¹ для МЭС в пространстве состояний работает следующим образом. Если план решения задачи T неизвестен или еще не сформирован, МЭС определяет текущее СПрО и предлагает действия для приближения к целевому состоянию задачи. После выполнения действий МЭС снова определяет текущее СПрО и предлагает следующие действия. МЭС прекращает работу, когда ПрО достигает целевого состояния. Совокупность действий, которые выдавала МЭС, образует план решения задачи T . В работе Болотовой Л.С.1 представлено обобщенное представление задачи T , которое можно использовать для МЭС:

$$T = \langle S, G, F \rangle, \quad (7)$$

где S – начальные состояния, G – операторы переходов, F – целевые состояния. Достижение отдельных целей $f_k \in F$ рассматривается как промежуточный результат, а

их совокупность образует решение задачи. Метод разбиения сводит исходную задачу к подзадачам, решаемым за одно применение оператора из множества $G1$.

Существует несколько подходов к построению КМПрО, которые применялись в МЭС и строились с учетом разбиения задачи на подзадачи. Среди них можно выделить модель, охватывающая все подзадачи задачи T (например, модель для планировщика действий для роботов [2]), и модель, описывающая только одну конкретную подзадачу (например, модели для системы контроля за соблюдением правил дорожного движения [2]).

При изучении миварных сетей таких моделей можно обнаружить общие черты. Одна из таких черт заключается в том, что в миварной сети MIG можно явно выделить несколько множеств. Одно из них – это множество $MIG_T \subset MIG$, которое связано с определением текущего СПрО. Другое – множество $MIG_d \subset MIG$, которое связано с подготовкой управленческих действий. Такая структура позволяет организовать четкое разделение между анализом СПрО и планированием необходимых действий на основе этого анализа (синтез алгоритма решения задач).

Необходимо подчеркнуть, что МЭС можно также разработать таким образом, чтобы она подготавливала план решения задачи целиком. Примером этого может служить планировщик траекторий движения робота, представленный в работах [13].

Особенности работы миварных экспертных систем в циклических управленческих задачах. Существует несколько способов построения миварной КМПрО для реализации метода разбиения на подзадачи. Выбор конкретного способа влияет на архитектуру МЭС, особенно в аспекте её взаимодействия с рабочей средой. Пример получаемой архитектуры МЭС представлен в работе [2], где рассматривается миварный интеллектуальный планировщик действий робота (МИПРА).

МИПРА анализирует информацию о текущем СПрО, полученную от систем робота, и использует базу знаний, автоматически сгенерированную для данной ПрО с учетом поставленной задачи планирования. На основе этого анализа система подготавливает управленческие решения для робота. Процесс взаимодействия робота с окружающей средой и подготовки новых управленческих решений повторяется циклически до тех пор, пока среда не достигнет состояния, удовлетворяющего целям задачи планирования.

В системе МИПРА применяется формализм миварных сетей для организации базы знаний ПрО. Робот при выполнении действий изменяет СПрО. Как следствие, эти изменения должны отражаться и на миварной сети. Чтобы подготовить очередное управленческое решение, требуется привести миварную сеть к исходному состоянию и зафиксировать актуальные значения параметров в соответствии с текущим СПрО. Особенность миварного подхода обработки информации заключается в том, что правила миварной сети не могут изменять уже известные значения параметров. Для того, чтобы обеспечить такую обработку, используют машину логического вывода (МЛВ) [2]. Один из представителей МЛВ реализован в программном продукте КЭСМИ Wi!Mi «Разуматор» [12].

МЛВ из КЭСМИ Wi!Mi «Разуматор» работает по принципу «запрос – ответ». Запрос содержит перечень известных значений параметров миварной сети и перечень параметров, которые требуется вычислить. На основе загруженной в МЛВ миварной базы знаний подготавливается логический вывод, и в качестве ответа на запрос выдаются вычисленные значения искомых параметров и миварную сеть, на основе которых были получены искомые значения. После обработки запроса МЛВ сохраняет в своем рабочем пространстве значения параметров, которые имелись в исходной базе знаний. При этом значения параметров, установленные на основе информации из запроса и полученные в процессе подготовки логического вывода, очищаются.

Изменения рабочего пространства МЛВ можно рассматривать как результат взаимодействия МЭС с другими системами в рамках ГИИС [7]. Для исследования такого взаимодействия можно использовать метаграфовый подход, который будет рассмотрен далее.

Метаграфовая модель для реализации гибридной интеллектуальной информационной системы. В работе [14] рассматривается обобщенная метаграфовая модель ГИИС и ее взаимосвязь с мультиагентными системами. Чтобы разработать модель МЭС для решения циклических управленческих задач в пространстве состояний, необходимо воспользоваться определением метаграфового агента, которое используется в исследованиях [8] и [14].

Формализованную модель метаграфа MG в соответствии с [8] представляют в виде кортежа:

$$MG = \{V, MV, E, ME\}, \quad (8)$$

где V – множество вершин, MV – множество метавершин, E – множество рёбер, ME – множество метаребер.

Каждая вершина $v_i \in V$ характеризуется множеством атрибутов $\{atr_k\}$:

$$v_i = \{atr_k\}. \quad (9)$$

Каждое ребро $e_i \in E$ характеризуется исходной вершиной v_S , конечной вершиной v_E , признаком направленности $eo = true|false$ и множеством атрибутов $\{atr_k\}$:

$$e_i = \langle v_S, v_E, eo, \{atr_k\} \rangle. \quad (10)$$

Как указано в [8], фрагмент метаграфа MG_i в общем виде можно представить как множество элементов $\{ev_j\}$, включающее произвольные вершины (метавершины) и ребра (метаребра), где $ev_j \in (V \cup E \cup MV \cup ME)$:

$$MG_i = \{ev_j\}. \quad (11)$$

Метавершина $mv_i \in MV$ обладает свойствами вершины и включает фрагмент метаграфа $MG_j = \{ev_j\}$, у которого ребра и метаребра могут быть только ненаправленными:

$$mv_i = \{\{atr_k\}, \{ev_j\}\}, ev_j \in (V \cup E^{eo=false} \cup MV \cup ME^{eo=false}). \quad (12)$$

Метаребро $me_i \in ME$ обладает свойствами ребра и включает фрагмент метаграфа $MG_j = \{ev_j\}$, у которого ребра и метаребра могут быть только направленными:

$$me_i = \langle v_S, v_E, eo, \{atr_k\}, \{ev_j\} \rangle, ev_j \in (V \cup E^{eo=true} \cup MV \cup ME^{eo=true}). \quad (13)$$

На основе работы [14] определим агента ГИИС, который описывается с помощью метаграфового подхода. Обозначим множество агентов системы следующим образом:

$$AG = \{ag_i\}, \quad (14)$$

где ag_i – агент.

На основе метаграфового подхода можно выделить агент-функцию ag^F и метаграфовый агент ag^F .

Агент-функция представляет собой кортеж. Этот кортеж состоит из входного метаграфа MG_{IN} , выходного метаграфа MG_{OUT} и абстрактного синтаксического дерева AST , которое может быть представлен фрагментом метаграфа:

$$ag^F = \langle MG_{IN}, MG_{OUT}, AST \rangle. \quad (15)$$

Метаграфовый агент представим кортежем из метаграфа данных и знаний MG_D , на основе которого выполняются правила из множества r_i и стартовое условие выполнения агента AG^{ST} , который может быть описан фрагментом метаграфа:

$$ag^M = \langle MG_D, \{r_i\}, AG^{ST} \rangle. \quad (16)$$

Структура правила метаграфового агента r_i задается выражением

$$MG_j \rightarrow OP^{MG}, \quad (17)$$

в котором MG_j – антецедент (фрагмент метаграфа), а OP^{MG} – консеквент (операции, применяемые к метаграфу).

На Рисунке 2 схематично показан метаграфовый агент. С целью упрощения демонстрируется одно правило агента. Агент – это метавершина, а правила – подчиненные метавершины с антецедентом и консеквентом; условия и действия задаются их атрибутами. Агент связан с метаграфом MG_1 (ребро e_4), где выделены фрагменты mv_1 , mv_2 и mv_3 . Старт задается фрагментом mv_1 , связанным ребром e_1 с атрибутом $start = true$ (аналогичным атрибутом отмечается первое к выполнению правило). Фрагменты mv_2 и mv_3 соединяются соответственно с антецедентом (e_2) и консеквентом (e_3) метаграфового правила 1.

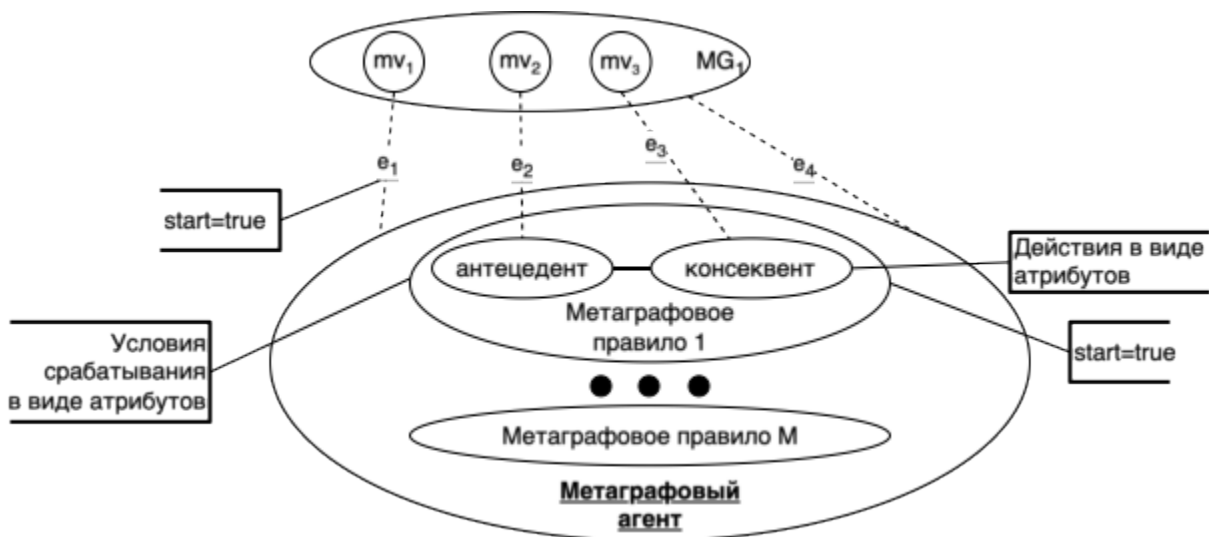


Рисунок 2 – Модель метаграфового агента в виде фрагмента метаграфа
Figure 2 – Model of metagraph agent as metagraph fragment

Метаграфовые агенты могут работать с двумя типами правил: разомкнутыми и замкнутыми. Разомкнутые правила позволяют агенту генерировать один метаграф на основе другого, замкнутые правила – модифицировать метаграф [14]. Эта особенность метаграфового агента влияет на то, как модель МЭС для решения управленческих задач в пространстве состояний может быть представлена.

Результаты

Для создания модели миварной проблемно-ориентированной системы предлагается использовать метаграфовый подход. Данный подход предлагает использовать агентов на основе метаграфа для представления сложных систем таких, как ГИИС. Поэтому для модели МЭС потребуется определить понятие миварного агента. Миварный агент необходим для представления обработчика миварных правил. В

результате модель МЭС представляется через взаимодействие миварного агента и метаграфового агента в рамках ГИИС.

Прежде чем перейти к определению миварного агента, необходимо определить то, как миварная сеть может быть представлена в виде метаграфа:

– Параметр миварной сети (3) можно описать с помощью вершины метаграфа (9). Тогда идентификатор параметра и его значение определяются атрибутами вершины метаграфа.

– Правило миварной сети (4) можно описать через вершину метаграфа (9) и ребра метаграфа (10). Тогда идентификатор правила и его действие определяются атрибутами вершины метаграфа, а связь правила с параметрами – ребрами метаграфами с указанием в атрибутах отношения к правилу (входной или выходной параметр).

Формализм миварной сети учитывает особенности создания и обработки эволюционных баз знаний с помощью линейной логики и вычислительных методов [12]. Иными словами, формализм миварной сети соответствует требованиям, которые предъявляются миварными технологиями накопления и обработки информации. В данной работе представление миварных сетей через метаграфы используется для того, чтобы представить модель системы, основанной на миварных технологиях, в виде сложного графа.

Результаты представления миварной сети в виде метаграфа позволяют перейти к описанию миварного агента. Миварный агент может быть выражен в форме кортежа, аналогичного тому, который используется для описания метаграфового агента (16):

$$ag^{MI} = \langle MG_D, \{r_i\}, AG^{ST} \rangle, \quad (18)$$

где MG_D – фрагмент метаграфа данных и знаний, отражающий параметры миварной сети, $\{r_i\}$ – отображение правил миварной сети, AG^{ST} – стартовое условие в виде фрагмента метаграфа [1].

Отличия миварного агента от метаграфового агента заключаются в том, что:

1. Миварный агент работает только с замкнутыми правилами. Данные правила могут только устанавливать атрибуты вершинами метаграфа, которые связаны с параметрами миварной сети. Такое ограничение обусловлено тем, что миварное правило не может изменять значение параметра миварной сети, а только устанавливать при его отсутствии. Благодаря этому МЭС избегает заикливания при логическом выводе [12].

2. Миварному агенту не нужно указывать то, какое правило будет запущено первым. Миварная технология обработки информации предлагает способ обработки правил, при котором порядок обхода и выполнения действий правил определяется на основе имеющихся значений параметров.

Как ранее упоминалось, за обработку миварной сети в МЭС отвечает МЛВ. Если представить обработку правил в виде миварного агента, то процесс установки значений параметров миварной сети в соответствии с текущей СПрО можно рассматривать как результат работы метаграфовых агентов. В этом случае, миварный и метаграфовый агенты работают с общим фрагментом метаграфа.

Если представить обработчика правил в виде миварного агента, то установление значений параметров миварной сети в соответствии с текущим СПрО можно рассматривать как результат работы метаграфовых агентов. При этом миварный и метаграфовый агенты взаимодействуют, используя общий фрагмент метаграфа.

Формализация миварного агента и его взаимосвязи метаграфовыми агентами в рамках ГИИС формируют основу для построения модели МЭС для решения управленческих задач в пространстве. В обобщенном виде данную модель можно представить так, как показано на Рисунке 3.

На Рисунке 3 для наглядности вершины метаграфа, связанные с правилами миварной сети, отображаются в виде прямоугольников. Также на этом рисунке детально

изображено по одному миварному и метаграфовому правилу (по аналогии с отображением на Рисунке 2). Ребра o_2 , o_3 и o_4 имеют атрибуты, которые указывают на принадлежность параметров входному и выходному множеству миварного правила 1 ($direction = IN$ указывает на то, что параметр относится к входному множеству, $direction = OUT$ – к выходному множеству). Фрагмент метаграфа s_1 относится к условию срабатывания миварного агента и связан с миварным агентом с помощью ребра o_1 . Данный фрагмент может обрабатываться метаграфовым агентом, благодаря чему управлять срабатыванием миварного агента. На рисунке также отображены содержащий знания и данные, на основе которого выполняются правила, фрагмент метаграфа MIG_1 и его связь с агентом o_5 . Оно может не включаться в MG_1 , поскольку информацию о текущем СПрО могут предоставлять несколько метаграфовых агентов.

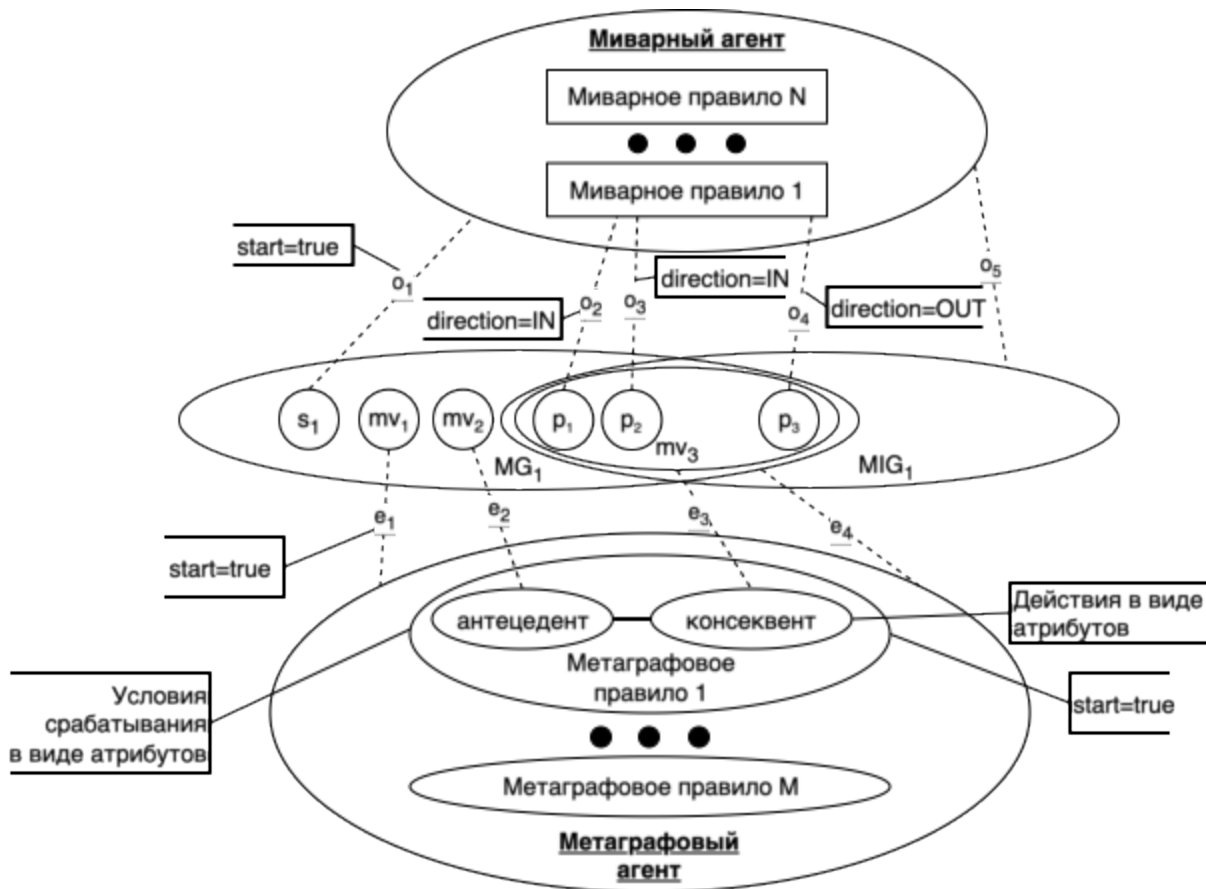


Рисунок 3 – Модель проблемно-ориентированной системы управления и принятия решений в пространстве состояний на основе миварного и метаграфового подходов

Figure 3 – Model of mivar problem-oriented management and decision-making system in state space based on mivar and metagraph approaches

Обсуждение

Предложенная модель сочетает миварный и метаграфовый подходы для представления миварной проблемно-ориентированной системы управления и принятия решений в пространстве состояний и предлагает следующие возможности:

1. Сегментация знаний с помощью метаграфового описания миварной сети [1]. Это позволяет явно выделять знания, используемые для разных задач ПрО или этапов обработки информации, тем самым повышая выразительные возможности КМПрО.

2. Формализация интерфейсов взаимодействия МЭС с другими информационными системами. Применение миварных и метаграфовых агентов в рамках

ГИИС дает возможность формализовать знания и данные на стыке информационных систем [15]. Это помогает в проектировании и анализе взаимосвязей между ними.

3. Поддержка разных способов построения КМПРО для решения задач методом разбиения на подзадачи. Если модель ПРО предназначена для решения задачи в полном объеме, то для описания МЭС, которая работает с такой моделью, можно использовать только один миварный агент. Если же для подзадач предполагается использовать отдельные модели, то для описания МЭС можно применить несколько миварных агентов.

4. Формализация цикличности в функционировании МЭС. Отличительной чертой миварных агентов, как и метаграфовых агентов, является возможность представления стартового условия выполнения в виде фрагмента метаграфа. Это позволяет явно описать и организовывать циклические процессы в функционировании МЭС. Например, можно формализовать условия, которые позволяют функционировать МЭС с учетом календарного или производственного цикла [6].

Таким образом, предлагаемая модель представляет собой полезный инструмент для проектирования и анализа ГИИС. Применение данного инструмента направлено на улучшение архитектуры ГИИС и повышение выразительной способности КМПРО для решения циклических управленческих задач в пространстве состояний.

Заключение

В результате проведенного исследования были достигнуты следующие основные результаты:

- разработана модель проблемно-ориентированной системы управления и принятия решений в пространстве состояний, основанная на миварном и метаграфовом подходах;
- предложено формальное определение миварного агента как обработчика правил миварной сети в рамках ГИИС;
- определены ключевые особенности взаимодействия миварного и метаграфовых агентов, позволяющие обрабатывать миварные сети и обеспечивать циклический характер функционирования системы;
- предложен способ применения миварных и метаграфовых агентов для проектирования и анализа ГИИС для решения циклических управленческих задач в пространстве состояний.

Полученные результаты могут быть использованы при создании интеллектуальных систем поддержки принятия решений, систем управления производственными процессами, робототехнических комплексов и других информационных систем, требующих циклического характера функционирования.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Аладин Д.В. Модель миварной базы знаний для решения управленческих задач в пространстве состояний. *Нейрокомпьютеры: разработка, применение*. 2025;27(4):66–71.
Aladin D.V. Mivar Knowledge Base Model for Management Task Solving in State Space. *Neurocomputers*. 2025;27(4):66–71. (In Russ.).
2. Варламов О.О., Коценко А.А., Аладин Д.В., Желтова А.А., Марущенко А.В. *Миварные системы принятия решений роботов. Робопазум*. Москва: ИНФРА-М; 2024. 549 с.
Varlamov O., Kotsenko A., Aladin D., Zheltova A., Marushchenko A. *Mivar Robot Decision Making Systems. RoboMind*. Moscow: INFRA-M; 2024. 549 p. (In Russ.).

3. Демидов А.Н., Черненко В.Д., Вотинцев М.К., Балдин А.В., Сорокин С.А. Миварная экспертная система для интеллектуализации производства автомобильных колесных дисков. *Проблемы искусственного интеллекта*. 2025;(1):43–57. <https://doi.org/10.24412/2413-7383-43-57>
Demidov A.N., Chernenko V.D., Votintsev M.K., Baldin A.V., Sorokin S.A. Mivar Expert System for Intellectualization of Automobile Wheel Disks Production. *Problems of Artificial Intelligence*. 2025;(1):43–57. (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/2413-7383-43-57>
4. Гун Ш. Миварная система принятия решений для распределения и перевозки грузов командой складских роботов. *Системы управления и информационные технологии*. 2025;(2):23–29.
Gong S. Mivar Decision-Making System for Distribution and Transportation of Cargo by a Team of Warehouse Robots. *Sistemy upravleniya i informatsionnye tekhnologii*. 2025;(2):23–29. (In Russ.).
5. Тимакова А.А., Смирягин В.А., Курнасов Е.В., Выскуб В.Г., Мутин Д.И. Создание миварной экспертной системы для автоматизации выбора частотного преобразователя. *Проблемы искусственного интеллекта*. 2025;(2):91–104. <https://doi.org/10.24412/2413-7383-2025-2-37-91-104>
Timakova A.A., Smiryagin V.A., Kurnasov E.V., Vyskub V.G., Mutin D.I. Creation of a Mivar Expert System for Automation of Frequency Converter Selection. *Problems of Artificial Intelligence*. 2025;(2):91–104. (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/2413-7383-2025-2-37-91-104>
6. Аладина Е.В., Аладин Д.В. Миварная логическая интеллектуальная система обеспечения ухода за растениями на фермах. В сборнике: *Интеллектуальные технологии и проблемы математического моделирования: III Всероссийская научная конференция «Интеллектуальные технологии и проблемы математического моделирования», 09–11 декабря 2020 года, Ростов-на-Дону, Россия*. Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет; 2020. С. 29.
Aladina E.V., Aladin D.V. Mivarnaya logicheskaya intellektual'naya sistema obespecheniya ukhoda za rasteniyami na fermakh. In: *Intellektual'nye tekhnologii i problemy matematicheskogo modelirovaniya: III Vserossiiskaya nauchnaya konferentsiya "Intellektual'nye tekhnologii i problemy matematicheskogo modelirovaniya"*, 09–11 December 2020, Rostov-on-Don, Russia. Rostov-on-Don: Don State Technical University; 2020. P. 29. (In Russ.).
7. Варламов О.О., Терехов В.И., Сухобоков А.А., Гапанюк Ю.Е. Использование многомерной открытой гносеологической активной сети (MOGAN) в гибридных интеллектуальных информационных системах. В сборнике: *Гибридные и синергетические интеллектуальные системы: Материалы VI Всероссийской Поспеловской конференции с международным участием, 27 июня – 01 июля 2022 года, Калининград, Россия*. Калининград: Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта; 2022. С. 151–158. <https://doi.org/10.5922/978-5-9971-0687-4-6>
Varlamov O.O., Terekhov V.I., Sukhobokov A.A., Gapanyuk Yu.E. Ispol'zovanie mnogomernoi otkrytoi gnoseologicheskoi aktivnoi seti (MOGAN) v gibridnykh intellektual'nykh informatsionnykh sistemakh. In: *Gibridnye i sinergeticheskie intellektual'nye sistemy: Materialy VI Vserossiiskoi Pospelovskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem*, 27 June – 01 July 2022, Kaliningrad, Russia. Kaliningrad: Immanuel Kant Baltic Federal University; 2022. P. 151–158. (In Russ.). <https://doi.org/10.5922/978-5-9971-0687-4-6>

8. Самохвалов Э.Н., Ревунков Г.И., Гапанюк Ю.Е. Использование метаграфов для описания семантики и прагматики информационных систем. *Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия «Приборостроение»*. 2015;(1):83–99. <http://doi.org/10.18698/0236-3933-2015-1-83-99>
Samokhvalov E.N., Revunkov G.I., Gapanyuk Yu.E. Metagraphs for Information Systems Semantics and Pragmatics Definition. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series "Instrument Engineering"*. 2015;(1):83–99. (In Russ.). <http://doi.org/10.18698/0236-3933-2015-1-83-99>
9. Латыпов И.Т., Еремеев М.А. Подход к обнаружению целевых атак на начальном этапе с использованием модели компьютерной атаки на базе атрибутивных метаграфов. В сборнике: *Кибербезопасность: технические и правовые аспекты защиты информации, 23–24 апреля 2024 года, Москва, Россия*. Москва: МИРЭА – Российский технологический университет; 2024. С. 308–312.
Latypov I.T., Ereemeev M.A. Podkhod k obnaruzheniyu tselevykh atak na nachal'nom etape s ispol'zovaniem modeli komp'yuternoï ataki na baze atributivnykh metagrafov. In: *Kiberbezopasnost': tekhnicheskie i pravovye aspekty zashchity informatsii, 23–24 April 2024, Moscow, Russia*. Moscow: MIREA – Russian Technological University; 2024. P. 308–312. (In Russ.).
10. Сухобоков А.А. Метаграфово-табличная модель данных для систем управления активами. В сборнике: *Искусственный интеллект в автоматизированных системах управления и обработки данных: Сборник статей Всероссийской научной конференции: Том 1, 27–28 апреля 2022 года, Москва, Россия*. Москва: Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана; 2022. С. 93–99.
Sukhobokov A.A. Metagraph-Tabular Data Model for Asset Management Systems. In: *Artificial Intelligence in Management, Control, and Data Processing Systems: Proceedings of the All-Russian Scientific Conference: Volume 1, 27–28 April 2022, Moscow, Russia*. Moscow: Bauman Moscow State Technical University; 2022. P. 93–99. (In Russ.).
11. Сухобоков А.А., Труфанов В.А., Столяров Ю.А., Садыков М.Р., Елизаров О.О. Распределенная метаграфовая СУБД на основе технологии Блокчейн. *Естественные и технические науки*. 2021;(7):201–209. <https://doi.org/10.25633/ETN.2021.07.15>
Sukhobokov A.A., Trufanov V.A., Stolyarov Yu.A., Sadykov M.R., Elizarov O.O. Distributed Metagraph DBMS Based on Blockchain Technology. *Natural and Technical Sciences*. 2021;(7):201–209. (In Russ.). <https://doi.org/10.25633/ETN.2021.07.15>
12. Варламов О.О. Создание Больших Знаний и расширение областей применения миварных технологий логического искусственного интеллекта. *Информационные и математические технологии в науке и управлении*. 2023;(4):30–41. <https://doi.org/10.25729/ESI.2023.32.4.003>
Varlamov O.O. Creating Big Knowledge and Expanding the Applications of Mivar Technologies of Logical Artificial Intelligence. *Information and Mathematical Technologies in Science and Management*. 2023;(4):30–41. (In Russ.). <https://doi.org/10.25729/ESI.2023.32.4.003>
13. Коценко А.А. Разработка моделей миварного логического пространства для обеспечения трехмерного движения автономных роботов. В сборнике: *Международная научная конференция молодежной школы «МИВАР'24»: Сборник научных статей, 18–20 апреля 2024 года, Москва, Россия*. Москва: ИНФРА-М; 2024. С. 361–366.

- Kotsenko A.A. Development of Models of Mivar Logic Space to Provide Three-Dimensional Movement of Autonomous Robots. In: *Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya molodezhnoi shkoly "MIVAR'24": Sbornik nauchnykh statei, 18–20 April 2024, Moscow, Russia*. Moscow: INFRA-M; 2024. P. 361–366.
14. Черненко В.М., Гапанюк Ю.Е., Ревунков Г.И., Терехов В.И., Каганов Ю.Т. Метаграфовый подход для описания гибридных интеллектуальных информационных систем. *Прикладная информатика*. 2017;12(3):57–79.
Chernenkiy V., Gapanuk Yu., Revunkov G., Terekhov V., Kaganov Yu. Metagraph Approach for Hybrid Intelligent Information Systems Description. *Journal of Applied Informatics*. 2017;12(3):57–79. (In Russ.).
15. Алпеев В.С., Ли М.В., Савельев А.А., Правдина А.Д., Балдин А.В. О применении мультипредметных нейронных сетей и миварных экспертных систем для создания гибридных интеллектуальных информационных систем. *Информация и образование: границы коммуникаций*. 2022;(14):224–226.
Alpeev V.S., Lee M.V., Saveliev A.A., Pravdina A.D., Baldin A.V. On the Application of Multi-Subject Neural Networks and Mivar Expert Systems for Creation of Hybrid Intelligent Information Systems. *Informatsiya i obrazovanie: granitsy kommunikatsii*. 2022;(14):224–226. (In Russ.).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Аладин Дмитрий Владимирович, аспирант, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана; младший научный сотрудник, Научно-исследовательский институт вычислительных комплексов имени М.А. Карцева, Москва, Российская Федерация.
e-mail: aladin.dv@yandex.ru
ORCID: [0000-0001-6644-9319](https://orcid.org/0000-0001-6644-9319)

Dmitry V. Aladin, Postgraduate, Bauman Moscow State Technical University; Junior Researcher, Scientific Research Institute of Computing Complexes named after M.A. Kartsev, Moscow, the Russian Federation.

Статья поступила в редакцию 23.09.2025; одобрена после рецензирования 13.10.2025; принята к публикации 20.10.2025.

The article was submitted 23.09.2025; approved after reviewing 13.10.2025; accepted for publication 20.10.2025.