

# ОБЗОР МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ, ОСНОВАННЫХ НА ОНТОЛОГИИ ОРГАНИЗАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ В ПРОГРАММНЫХ ПРОЕКТАХ

## REVIEW OF MODELS FOR INTELLECTUAL DECISION SUPPORT METHODS BASED ON THE ONTOLOGY OF ORGANIZATIONAL MANAGEMENT IN SOFTWARE PROJECTS

**S. Aksenov  
M. Mikhailova**

*Summary.* The article examines the use of models and methods of intellectual decision support in the management of software projects. The concept of managerial decision-making based on the principles of knowledge management is proposed, including an ontological analysis of software project management and the development of a knowledge base. In addition, it sets out the requirements for the knowledge base of an intelligent decision support system and verifies its compliance with these requirements.

*Keywords:* organizational management, conceptual framework, knowledge structure.

**Аксенов Сергей Геннадьевич**

д-р э.н., профессор,

ФГБОУ ВО Уфимский университет науки и технологий

beregpiya@mail.ru

**Михайлова Марина Юрьевна**

магистрант,

ФГБОУ ВО Уфимский университет науки и технологий

pavel1112w@mail.ru

*Аннотация.* В статье исследуется использование моделей и методов интеллектуальной поддержки принятия решений при управлении программными проектами. Предлагается концепция принятия управленческих решений, основанная на принципах управления знаниями, включающая онтологический анализ управления программными проектами и разработку базы знаний. Кроме того, в нем излагаются требования к базе знаний интеллектуальной системы поддержки принятия решений и проверяется ее соответствие этим требованиям.

*Ключевые слова:* организационный менеджмент, концептуальная основа, структура знаний.

На данном этапе развития мировой экономики проектная деятельность стала необходимой для производственных компаний в различных отраслях, поскольку многие бизнес-процессы управляются с помощью взаимосвязанных проектов. Эти организации выполняют сложные основные и вспомогательные виды деятельности, которые различаются по сложности управления, численности персонала, источникам информации и условиям эксплуатации. Автоматизация этих процессов с помощью систем управления информацией в рамках соответствующих программных проектов является высокоэффективной стратегией повышения качества управления.

Основной причиной провала многих программных проектов является использование неэффективных методов управления организационным развитием. Руководители проектов часто выбираются из числа опытных разработчиков, а не подготовленных менеджеров, что приводит к недостаточным навыкам эффективного управления в сложных ситуациях.

Организационный менеджмент в проектах по разработке программного обеспечения включает в себя

знания о методах и инструментах сбора, передачи и обработки информации, связанной с принятием решений и контролем их реализации. Поскольку отдельные лица или группы выступают как субъектами, так и объектами управления, это усложняет роль руководителя проекта. Успех в проектах по разработке программного обеспечения зависит от точных и своевременных решений; таким образом, руководители проектов должны применять научные подходы для поддержки принятия решений, а не полагаться исключительно на личные суждения.

Для улучшения организационного управления проектами по разработке программного обеспечения была разработана концепция интеллектуальной поддержки принятия решений, основанная на теории организации и подходах к управлению информацией. Эта платформа облегчает представление знаний посредством онтологического анализа и поддерживает применение экспертных знаний для решения задач управления проектами по разработке программного обеспечения.

Управление знаниями предполагает стратегическую деятельность, направленную на оптимизацию существующих ресурсов знаний или создание новых информаци-

онных активов для повышения конкурентоспособности. Жизненный цикл знаний включает в себя такие этапы, как отбор, техническая поддержка, измерение, передача и применение. Инженерия знаний направлена на разработку технологических инструментов для управления знаниями и создание моделей и систем для структурирования экспертных знаний в пригодные для использования базы данных. Схема, иллюстрирующая цикл управления знаниями с использованием предлагаемой системы поддержки принятия решений (DSS), показана на рисунке 1. Предлагаемая концепция интеллектуальной поддержки принятия решений охватывает ключевые процессы цикла управления знаниями, который включает в себя создание визуальной объектно-ориентированной модели управления знаниями, онтологической модели поддержки принятия решений и модели формирования знаний. В рамках этой концепции была разработана структура интеллектуальной системы поддержки принятия решений, состоящая из нескольких компонентов: онтологии для поддержки принятия решений; базы знаний, включающей модуль для правил принятия решений и модуль для прецедентов; набор

объектных, онтологических и аналитических моделей, облегчающих процесс принятия решений; модуль, предназначенный для выбора подходящей аналитической модели (ов) для конкретной задачи; и модуль для генерации решений на основе базы знаний и математического моделирования.

Создание моделей, методов и алгоритмов для онтологического анализа и обработки знаний было предпринято для достижения более высокого качества решений за счет использования единого информационного пространства. Такой подход позволяет адаптировать процессы к меняющимся внешним условиям путем обработки накопленных корпоративных знаний и обмена ими. Кроме того, это облегчает интеграцию информационных потоков с использованием современных информационно-коммуникационных технологий, позволяя совместно управлять задачами в режиме реального времени.

Формализация знаний происходит посредством разработки объектно-ориентированной модели управления знаниями для управления проектами программ-

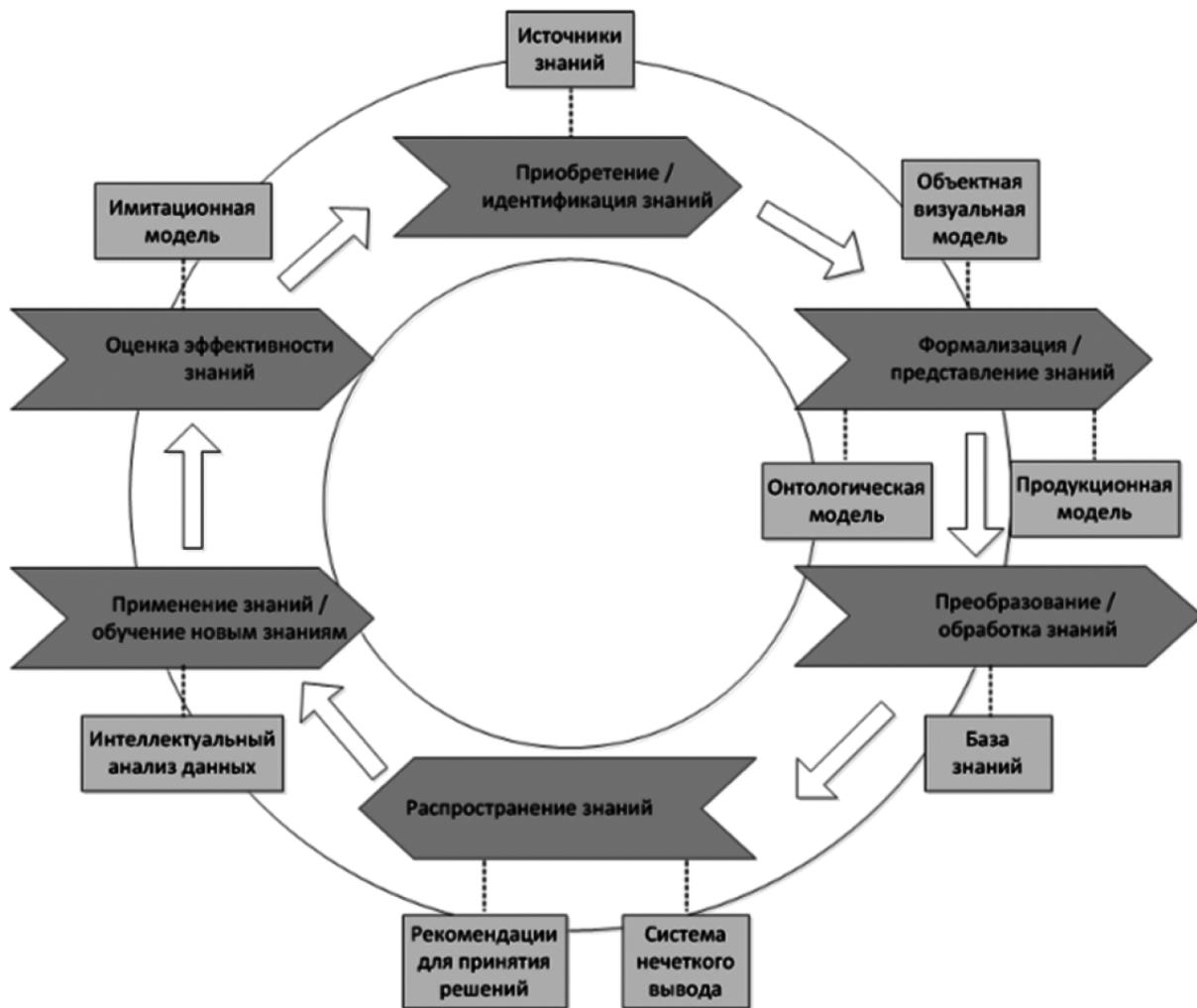


Рис. 1. Схема цикла управления знаниями

ного обеспечения, которая создает неформальную базу знаний на этапе проектирования. Эта модель преобразуется в онтологию поддержки принятия решений с использованием описательной логики, представляющей объекты и классы как концепции в рамках онтологии.

Онтология определяет соответствующие понятия и их взаимосвязи, позволяя создавать модели представления знаний в виде правил для принятия решений. Вместе с онтологией эти модели формируют базу знаний Интеллектуальной системы поддержки принятия решений (IDSS), которая поддерживает принятие решений с использованием различных методов и алгоритмов.

Следующий этап включает распространение знаний посредством логического вывода, интеграцию стратегий для обоснования и принятия решений. База знаний адаптируется и обновляется с помощью интеллектуального анализа данных и экспертных оценок в ответ на изменения в условиях управления. Заключительный этап управления знаниями включает в себя оценку эффективности накопленных знаний путем оценки эффективности правил и прецедентов в базе знаний интеллектуальной системы поддержки принятия решений (ИСППР) с использованием имитационной модели.

При моделировании процесса управления знаниями устанавливаются парадигмальные взаимосвязи между когнитивными элементами, участвующими в организационном управлении разработкой программного проекта. К ним относятся причинно-следственные связи (RC), отношения подобия (RS), а также отношения обобщения, ассоциации, зависимости и реализации. Модели структуры  $DClass = \{C(A^c, O), R^x(Role, Mult)\}$  содержат описание абстрагированных понятий и сущностей  $C$ , являющихся базовыми объектами предметной области  $C_i \in E$  и определяют отношения  $R^x$  между ними.

Онтология предоставляет формальную спецификацию предметной области, включая глоссарий соответствующих терминов и логических выражений, которые определяют их значения и взаимосвязи. Она предлагает четкое описание понятий предметной области (классов), их атрибутов (слотов) и любых ограничений на эти атрибуты.

Онтологическая модель лежит в основе базы знаний интеллектуальной системы поддержки принятия решений, создавая общий словарь для задач управления и определяя семантику сообщений. Это способствует эффективному взаимодействию между сторонами, обменивающимися информацией и управляющими взаимосвязанными процессами, поддерживая ключевые функции, необходимые для принятия решений.

На рисунке 2 показан фрагмент онтологии поддержки принятия решений, созданной с помощью редактора онтологий Protégé 4.3.

Основным преимуществом использования онтологий в организационном управлении является их комплексный подход к управляемым процессам. Это приводит к нескольким результатам: согласованности (онтология предоставляет интегрированное представление о предметной области), единообразию (информация, представленная в стандартизированном формате, легче воспринимается) и сложности (структура онтологии позволяет восстановить недостающие логические связи).

Структура разработанной онтологии поддержки принятия решений может быть проиллюстрирована следующим образом:

$$Onto = Onto^{meta}, Onto^{app}, Onto^{org}, InfF$$

где  $InfF$  — модели машин выводов, ассоциированных с онтологической системой  $Onto$ .

Метаонтология  $Onto^{meta}$  включает в себя всеобъемлющие понятия в области управления знаниями, включая такие термины, как «объект», «атрибут», «значение», «отношение» и другие.

Предметная онтология  $Onto^{app}$  включает в себя концепции, характерные для области управления разработкой программного обеспечения, организованные в соответствии с иерархией, определенной для этого конкретного объекта. Полная предметная онтология  $Onto^{app}$  может использоваться для разработки и рассматриваться как часть базы знаний при работе с определенной предметной областью. Он включает в себя такие понятия, как «программный проект», «требования», «член команды разработчиков», «фаза жизненного цикла проекта» и многое другое.

Онтология  $Onto^{org}$  охватывает концепции, относящиеся к области организационного управления, включая задачи, модели и методы принятия решений. В ней представлены такие классы, как «задача», «проблемная ситуация», «решение», «область знаний» и другие.

Некоторые системы включают функциональные возможности для проверки согласованности категорий, оценивая, являются ли критерии принадлежности к категориям логически обоснованными. Онтологический редактор Protégé 4.3 предлагает функции, которые позволяют проверять построение T таксономии с помощью встроенного механизма логического вывода, такого как HermiT. Этот механизм логического вывода автоматически генерирует иерархию понятий, и анализ этой иерархии помогает выявить противоречия внутри таксономии.

Применение правил облегчается с помощью механизма логического вывода. Этот логический контроль



означает, что рассуждения эксперта выражаются в виде нечетких правил, в которых конкретные действия оцениваются с учетом различных предпосылок. Для создания базы данных нечетких правил с использованием интеллектуального анализа данных может быть использован модифицированный метод формирования нечетких правил. Этот подход позволяет включить в онтологию набор классов нечетких сущностей  $\tilde{C} = C \cup C_F$ ; набор нечетких свойств  $\tilde{Pr} = Pr \cup Pr_F$ ; набор нечетких значений свойств  $\tilde{V} = V \cup V_F$  представлен лингвистическими переменными; набор примеров  $\tilde{I} = I \cup I_F$  для классов  $C_F \in \tilde{C}$ ; и набор бинарных нечетких отношений между понятиями  $\tilde{R} = R \cup R_F$ .

Таким образом, мы можем обсудить создание базы данных нечетких правил на основе онтологии, основанной на концепции лингвистической переменной  $L$ , который может быть охарактеризован набором, структурированным следующим образом:

$$L = W, T, X, G, M$$

где  $W$  обозначает имя лингвистической переменной;  $T$  представляет собой набор его значений (набор терминов), который включает в себя имена нечетких переменных, каждая из которых определена в предметной области  $X$ ; этот набор  $T$  называется базовым набором терминов лингвистической переменной.  $Gg$  — это синтаксическая процедура, которая позволяет манипулировать элементами в наборе терминов  $T$ , в частности, для генерации новых терминов (значений).  $M$  — это семантическая процедура, которая преобразует каждое новое значение лингвистической переменной, созданное процедурой  $G$  в нечеткую переменную, эффективно формирующую соответствующее нечеткое множество.

Для формализации знаний в условиях неопределенности была использована модель нечеткого вывода, которая опирается на нечеткую базу знаний, содержащую нечеткие правила управления. Набор условий и выводов в рамках этой нечеткой базы знаний определяет производственное нечеткое правило (fuzzyrule) в модели Такаги–Сугено–Кана (TSK).

Для систем с  $n$ -входами и одним выходом набор утверждений, представляющих знания предметной области, может быть выражен с помощью набора нечетких правил TSK, структурированных следующим образом:

$$R_i: \text{Если } x_1 \text{ есть } A_1^i \text{ и } x_2 \text{ есть } A_2^i \text{ и } \dots \text{ и } x_n \text{ есть } A_n^i \\ \text{то } y^i = f(x_1^i, \dots, x_n^i),$$

где  $R_i$  ( $i = 1, 2, \dots, K$ ) —  $i$ -е правило;  $x_j$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ) — входные переменные;  $A_j^i$  — нечеткие подмножества, характеризующиеся функциями принадлежности, такими как треугольные, трапециевидные или гауссовы.  $y^i$  — выход  $i$ -го правила.

Набор нечетких производственных правил образует базу нечетких правил  $\{R_i\}_{i=1}^K$ . Предположим, что функция принадлежности множества  $A_j^i$  представлена в виде функции Гаусса и определяется ее центром  $a^i$  в  $c^i$ :  $A^i = (a^i, c^i)$ . Классическое представление четкой функции выхода

$$y^i = f(x_1^i, \dots, x_n^i) = p_0^i + \sum_{j=1}^n p_j^i x_j^i,$$

где  $p_0^i, \dots, p_n^i$  — цифровые веса.

Выход нечеткой системы может быть записан в форме

$$(5) y = \sum_{i=1}^K \frac{w^i}{\sum_{i=1}^K w^i} y_i = \sum_{i=1}^K w^i y_i,$$

где  $w^i$  определяется как

$$(6) w^i = T_{j=1}^n(T_j^i(x_j)),$$

где  $T_j^n$  — оператор  $t$  норм.

Основываясь на принципах инженерии знаний, к базе знаний ИСППР были установлены следующие требования: семантическая целостность знаний; согласованность, полнота и непрерывность знаний; а также точность взаимодействия пользователя с интеллектуальной системой поддержки принятия решений.

Семантическая целостность знаний достигается путем моделирования классов объектов и их взаимосвязей в рамках онтологии поддержки принятия решений с использованием языка OWL DL в соответствии с описательной логикой. Согласованность, полнота и непрерывность знаний поддерживаются в процессе построения правил в базе знаний.

Для оценки непрерывности  $\{R_i\}_{i=1}^K$  используются следующие концепции: упорядоченный набор нечетких множеств и смежные нечеткие множества.

Совокупность нечетких множеств  $\{A_i\}$  называется упорядоченной, если между ними существует определенное отношение порядка, например:

$$"<": A_1 < \dots < A_{i-1} < A_i < A_{i+1} < \dots$$

Если набор  $\{A_i\}$  упорядочен, то наборы  $A_{i-1}$  и  $A_i$ , а также наборы  $A_i$  и  $A_{i+1}$  называются смежными. Предполагается, что эти нечеткие множества не перекрываются.

База правил  $\{R_i\}_{i=1}^K$  называется непрерывной, если для правил вида

$$R_i: \text{если } x_1 = A_{1i} \text{ и } x_2 = A_{2i}, \text{ тогда } y = c_i \text{ и } i' \neq i,$$

имеем:

- $A_{1i} = A_{1i'}, \wedge A_{2i}, A_{2i'}$  являются прилегающими;

- $A_{2i} = A_{2i'} \wedge A_{1i}$ ,  $A_{1i'}$  являются прилегающими;
- $c_i$  и  $c_{i'}$  являются прилегающими.

Полнота  $\{R_i\}_{i=1}^K$  служит показателем для оценки полноты знаний в базе правил. Неполная база правил содержит «пробелы» для конкретных ситуаций (на семантическом уровне), что означает, что взаимосвязи между входными и выходными данными четко не определены. Это явление возникает из-за характеристик нечетких множеств, используемых в условиях правила.

В качестве меры полноты  $CM(x)$  используется критерий

$$CM(x) = \sum_{i=1}^{N_r} \left\{ \prod_{j=1}^{N_x} \mu_{A_{ik}}(x) \right\},$$

где  $x$  — физическая переменная входных данных;  $N_x$  — число условий в правиле;  $N_r$  — число правил в базе правил.

Числовые значения, связанные с критерием 1, позволяют классифицировать базы правил на основе полноты знаний: 2 указывает на «неполную» базу правил; 3 означает «неполноценную» базу правил; 4 представляет «абсолютно полную» базу правил; и 5 означает «избыточную» базу правил — основа правил.

Таким образом, проверка базы нечетких правил на непрерывность, согласованность и полноту повышает точность решений, полученных на ее основе.

Следующим шагом в разработке нечетких правил является настройка параметров с использованием нейрон-нечеткой сети ANFIS. Взаимодействие пользователя с ISPR оценивается путем сравнения его рекомендаций с решениями менеджеров и экспертными оценками, полученными в результате имитационного моделирования. Текущие исследования моделируют ключевые

задачи управления программными проектами с помощью пакета Bizagi BPMN, который обновляет базу знаний на основе решений, принимаемых в сложных ситуациях. Эта модель также учитывает объем запросов с течением времени и квалификацию лиц, принимающих решения, которые могут оценивать рекомендации и предоставлять обратную связь, что позволяет экспертам потенциально модифицировать онтологическую базу знаний.

Кроме того, имитационная модель оценивает ее влияние на эффективность принятия решений. Аналитические инструменты в рамках модели проанализировали частоту и продолжительность решения ключевых задач, показав, что поддержка принятия решений повышает эффективность для конкретных задач в управлении проектами программного обеспечения. Оценка ИСППР с помощью моделирования показала качественные улучшения, включая улучшение коммуникации между лицами, принимающими решения, возможности для обучения и более широкое распространение экспертных знаний в корпоративной среде.

Таким образом, исследование сосредоточено на решении ключевой научно-технической проблемы организационного управления программными проектами путем обеспечения интеллектуальной поддержки принятия решений с помощью онтологического анализа и базы знаний. Это включает в себя разработку концепции принятия управленческих решений, основанной на принципах управления знаниями, обеспечение непрерывности, последовательности и полноты базы данных нечетких правил, а также адаптацию параметров правил с использованием нейрон-нечеткой сети для повышения эффективности и точности принятия решений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Аксенов С.Г., Лазарев П.Т. Нарративное моделирование в управлении социально экономическими системами // Научно-практический журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики». — 2024. — №7 (2). С. 31–35.
2. ГОСТ Р 53894-2010. Менеджмент знаний. Термины и определения. — М.: Стандартинформ, 2011. — 11 с.
3. Гаврилова, Т.А. Интеллектуальные технологии в менеджменте: инструменты и системы: Учеб. пособие, 2-е изд./ Т.А. Гаврилова, Д.И. Муромцев. — СПб.: Изд-во «Высшая школа менеджмента»; Издат. Дом С. Петерб. гос. ун-та, 2008. — 488 с.
4. Бадамшин, Р.А. Проблемы управления сложными динамическими объектами в критических ситуациях на основе знаний / Р.А. Бадамшин, Б.Г. Ильясов, Л.Р. Черняховская. — М.: Машиностроение, 2003. — 240 с.
5. Черняховская, Л.Р. Формирование правил принятия решений в управлении проектами по результатам онтологического анализа / Л.Р. Черняховская, А.И. Малахова // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XV международной конф. (25-28 июня 2013 г. Самара, Россия). — Самара: СамНЦ РАН, 2013. — С. 343–350.
6. Gruber, T.A translation approach to portable ontology specifications / T. Gruber // Knowledge Acquisition. 1993. V5. — P. 199–220.
7. Смирнов, С.В. Онтологический анализ предметных областей моделирования / С.В. Смирнов // Известия Самарского научного центра РАН. 2001. Т.3. №1. — С. 62–70.
8. Заде, Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л.А. Заде. — М.: Мир, 1976. — 165 с.
9. Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления: Учебник / Под ред. Н.Д. Егупова; издание 2-ое, стереотипное. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. — 744 с.
10. Рутковский, Л. Методы и технологии искусственного интеллекта: Пер. с польск. / Л. Рутковский. — М.: Горячая линия–Телеком, 2010. — 520 с.