

УДК 004.94

А.Г. Шмелева¹, А.И. Ладынин¹, Ю.В. Таланова¹, В.В. Наумов²**КОГНИТИВНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ
ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ**Московский технологический университет (МИРЭА)¹,
АО «Концерн «МОРИНСИС-АГАТ»²

Системный подход к задачам разработки стратегий модернизации предприятий является актуальным направлением развития информационных систем поддержки принятия решений. В статье представлено применение экспертных оценок для построения когнитивных моделей выявления разнородных значимых внешних и внутренних факторов, способствующих формированию множества концептов и определения их взаимовлияния. С применением теории графов разработан программный модуль обработки матриц смежности экспертных мнений, позволяющий строить итоговую матрицу достижимости целей исследования, а также наглядно представлять решение в виде ориентированного графа – когнитивной карты. Когнитивные карты позволяют проводить оценку инновационного развития, строить прогностические модели взаимодействия различных факторов, исследовать стратегические и текущие задачи управления. Для начального определения характеристик когнитивных моделей используется исследование производственных систем посредством PEST и SWOT-анализов. Предлагаемая методика формирования когнитивных моделей позволяет выявить дополнительные факторы, оказывающие влияние на систему и включить их в единую модель. Представленная когнитивная модель оперирует лингвистическими переменными, что представляет особую актуальность в трудноформализуемых задачах, для которых не представляется возможным установить численные значения. В соответствии с представленным подходом разработан программный модуль системы поддержки принятия решений, направленный на исследование влияния разнородных воздействующих факторов. Приведен пример решения задачи анализа мнений трех экспертов. Результаты расчетов представляются в виде когнитивной карты – ориентированного графа и матрицы взаимовлияний концептов, наглядно отражающих обработку экспертных заключений.

Ключевые слова: когнитивное моделирование, экспертные оценки, лингвистические переменные, концепты, PEST-анализ, SWOT- анализ, программная реализация.

Современные тенденции развития наукоемких предприятий направлены на разработку информационных систем, позволяющих проводить комплексный анализ производственных задач. Конкурентоспособность предприятия зависит от возможности оперативно оценивать внутренние и внешние факторы, проводить модернизацию для улучшения характеристик выпускаемой продукции.

В основе построения информационных систем поддержки принятия решений, осуществляется выбор методов обработки больших объемов данных, их структуризация и агрегация для идентификации свойств и характеристик объекта исследования с целью получения определенных знаний. Математическое моделирование производственной системы применяется, если возможно однозначно установить зависимость между элементами, характеризующими объект-оригинал с количественной стороны [1].

Модель любого объекта включает:

- характеристики объекта, которые необходимо определить (неизвестные величины);
- характеристики внешних изменяющихся условий (входные величины);
- совокупность внутренних параметров объекта, с помощью которых описываются связи между величинами.

При решении трудноформализуемых производственных задач построение математической модели затруднительно, например, по причине невозможности установить функциональную зависимость между элементами, а, следовательно, возникает необходимость использования когнитивных подходов к анализу начальных данных [2, 3]. Когнитивное моделирование позволяет абстрагироваться от несущественных свойств объекта и получить но-

вые знания об оригинале, которые при непосредственном изучении были недоступны исследователю из-за невозможности изучить оригинал (разрабатываемая инновационная технология) или вследствие слишком больших затрат, необходимых для экспериментальных исследований [4].

При построении когнитивных моделей в качестве характеристик внешних изменяющихся условий (входных величин) будем рассматривать концепты – единицы речевого высказывания – логически смысловой компонент исследуемой системы [5]. Совокупность внутренних параметров объекта, с помощью которых описываются связи между концептами, в модели также задаются лингвистическими переменными и позволяют установить силу связи. Множество концептов и их взаимовлияние определяется экспертным оцениванием [6]. К задачам экспертов относятся изучение условий функционирования объекта, разграничение существенных и несущественных характеристик (концептов), а также четкое представление о целях исследования [7].

Для описания и последующего анализа когнитивной модели применяются элементы теории графов. Модель представления знаний эксперта можно задать в виде ориентированного графа:

$$G=(C, W),$$

где C – концепты – множество вершин графа; W – сила связи – множество ребер.

При решении нечетких задач с использованием методов и подходов теории графов получим ориентированный граф – когнитивную карту, наглядно характеризующую взаимодействия элементов системы, объединяющую экспертные мнения в единую модель [8].

Результирующий граф отвечает следующим требованиям:

- вершины графа соответствуют факторам влияния;
- ребра графа определяют силу взаимного влияния факторов.

Преимуществом данного подхода является возможность установить отсутствующие связи между концептами, т.е. влияние вида:

$$C_i \rightarrow C_j \rightarrow C_k \rightarrow C_l \Rightarrow C_i \rightarrow C_l,$$

где C_i, C_j, C_k, C_l – концепты исследуемой системы.

Существуют различные подходы к определению концептов и связей между ними [9]. Рассмотрим применение PEST и SWOT-анализа для формирования начальных данных когнитивной модели посредством оценки внутренних и внешних факторов влияния. В основе PEST-анализа лежат экспертные заключения, направленные на формализацию концептов. Термин PEST-анализ возник как аббревиатура основных сфер, характеризующих принадлежность концепта:

- policy – политические факторы;
- economy – экономические факторы;
- society – социокультурные факторы;
- technology – технические и технологические факторы.

PEST-анализ представляет собой коллективную экспертизу факторов, направленную на выявление и формирования набора концептов. Структуризация проблем с использованием PEST-анализа позволяет сформировать множество концептов – вершин графа в когнитивную модель согласно четырем основным направлениям. Пример факторов, участвующих в PEST-анализе приведен на рис. 1.

Преимуществом когнитивного моделирования с применением PEST – анализа является возможность формировать множество концептов из различных областей в единую модель.

Далее устанавливается степень взаимовлияния концептов посредством SWOT-анализа. Исследуются характеристики концептов в когнитивной модели:

- strengths – сильные стороны;
- weaknesses – недостатки;
- opportunities – возможности;
- threats – опасности.

SWOT-анализ относится к методам планирования стратегического развития предприятий, направлен на детализацию параметров, позволяет использовать его при составлении и структуризации когнитивных моделей.

Совокупность рассмотренных подходов позволяет создать методологию решения трудноформализуемых задач, разработать алгоритмы обработки экспертных мнений в рамках информационной системы поддержки принятия решений для формирования направленной стратегического развития предприятий.



Рис. 1. PEST-анализ

Рассмотрим методологию решения производственных задач посредством когнитивного моделирования, позволяющую оценить результаты экспертных заключений в условиях нечеткой формализации мнений, представленных в виде лингвистических переменных. Разработанный программный модуль позволяет проводить построение нечетких когнитивных карт, что является актуальным в задачах, для которых затруднительно определить численные значения весов связей между концептами.

Этапы когнитивного моделирования можно представить согласно следующей последовательности действий:

- 1) формирование экспертной группы;
- 2) определение концептов на основе PEST-анализа;
- 3) установление связей между факторами и определение силы влияния с использованием SWOT-анализа;
- 4) построение когнитивной модели;
- 5) заполнение экспертами матриц смежности взаимовлияний;
- 6) расчеты в графе возможных путей длины > 1 ;

- 7) восстановление прямых влияний между концептами;
- 8) построение итоговой матрицы взаимовлияний (матрицы достижимости);
- 9) анализ результатов моделирования.

Рассмотрим пример решения упрощенной задачи с использованием разработанного модуля. Цель исследования – анализ возможности предприятия для создания инновационной технологии (далее концепт б).

Эксперт 1

	1	2	3	4	5	6
1	X	Сильно	Сильно	Нет данных	Нет данных	Нет данных
2	X	X	Существенно	Нет данных	Существенно	Нет данных
3	X	X	X	Сильно	Сильно	Сильно
4	X	X	X	X	Существенно	Существенно
5	X	X	X	X	X	Незначительно
6	X	X	X	X	X	X

Эксперт 2

	1	2	3	4	5	6
1	X	Нет данных	Нет данных	Существенно	Нет данных	Сильно
2	X	X	Сильно	Незначительно	Существенно	Существенно
3	X	X	X	Нет данных	Существенно	Нет данных
4	X	X	X	X	Нет данных	Сильно
5	X	X	X	X	X	Незначительно
6	X	X	X	X	X	X

Эксперт 3

	1	2	3	4	5	6
1	X	Нет данных	Нет данных	Существенно	Существенно	Нет данных
2	X	X	Незначительно	Нет данных	Нет данных	Существенно
3	X	X	X	Сильно	Сильно	Незначительно
4	X	X	X	X	Сильно	Сильно
5	X	X	X	X	X	Незначительно
6	X	X	X	X	X	X

Рис. 2. Начальные матрицы экспертных мнений

Экспертам необходимо провести анализ совокупности разнородных факторов. Предположим, что в результате предварительного этапа – PEST и SWOT анализов, группой экспертов в составе трех человек изучены внешние и внутренние факторы, сформировано множество концептов. Для силы связи определим следующее множество лингвистических переменных $W = \{\text{незначительно, существенно, сильно}\}$. Представим задачу когнитивного моделирования в виде поиска совокупного влияния концептов.

Пусть определены значимые концепты:

- 1) материально-техническое обеспечение;
- 2) количество потребителей;
- 3) современные материалы;
- 4) исследовательско-конструкторские разработки (научные разработки);
- 5) стоимость материалов;
- 6) инновационная технология.

Необходимо установить взаимовлияние концептов посредством экспертных суждений, на основе которых производится системный анализ ситуаций, принимаются решения по разработке мероприятий, направленных на модернизацию предприятия, отделов, производства, расстановки приоритетов.

Для примера рассмотрим матрицы смежности оценки взаимовлияния концептов, заполненные экспертами (рис. 2).

Обработка представленных матриц проводилась с использованием разработанного программного модуля системы поддержки принятия решений [10]. На рис. 3 представлено главное окно программы, позволяющее задать число экспертов, количество факторов-концептов и связей между ними.

Количество концептов:

Количество специалистов:

Название проекта:

Выбор проекта:

Сохранить

Загрузить

Удалить

Таблица связей между концептами

	1	2	3	4	5	6
1	X					
2	X	X				
3	X	X	X			
4	X	X	X	X		
5	X	X	X	X	X	
6	X	X	X	X	X	X

Выбор экспертной матрицы:

Названия концептов

Расчет

Показать граф

Выход

Рис. 3. Главное окно программного модуля

Для решения задачи заполняются матрицы экспертных суждений (матрицы смежности). В левой части окна пользователь может выбрать матрицу оценок для каждого из экспертов. Также программный модуль позволяет отобразить ориентированный граф – когнитивную карту в соответствии с введенными начальными матрицами экспертных мнений.

Рассмотрим результаты анализа когнитивных моделей. Для формирования заключения о характере влияния перечисленных концептов друг на друга и на концепт (цель исследования) на основании заключений трех экспертов пользователю необходимо нажать кнопку «Расчет». Разработанный модуль позволяет быстро производить обработку экспертных суждений, строить итоговую матрицу достижимости поставленной цели с выявлением набора значимых концептов. На рис. 4 представлена матрица достижимости – обобщенная матрица анализа совокупности экспертных мнений, построенная в результате обработки исходных матриц.

Итоговая матрица

	1	2	3	4	5	6
1	X	Незначительно	Незначительно	Незначительно	Незначительно	Незначительно
2	X	X	Существенно	Существенно	Существенно	Существенно
3	X	X	X	Существенно	Сильно	Существенно
4	X	X	X	X	Существенно	Сильно
5	X	X	X	X	X	Незначительно
6	X	X	X	X	X	X

Рис. 4. Итоговая матрица экспертных мнений

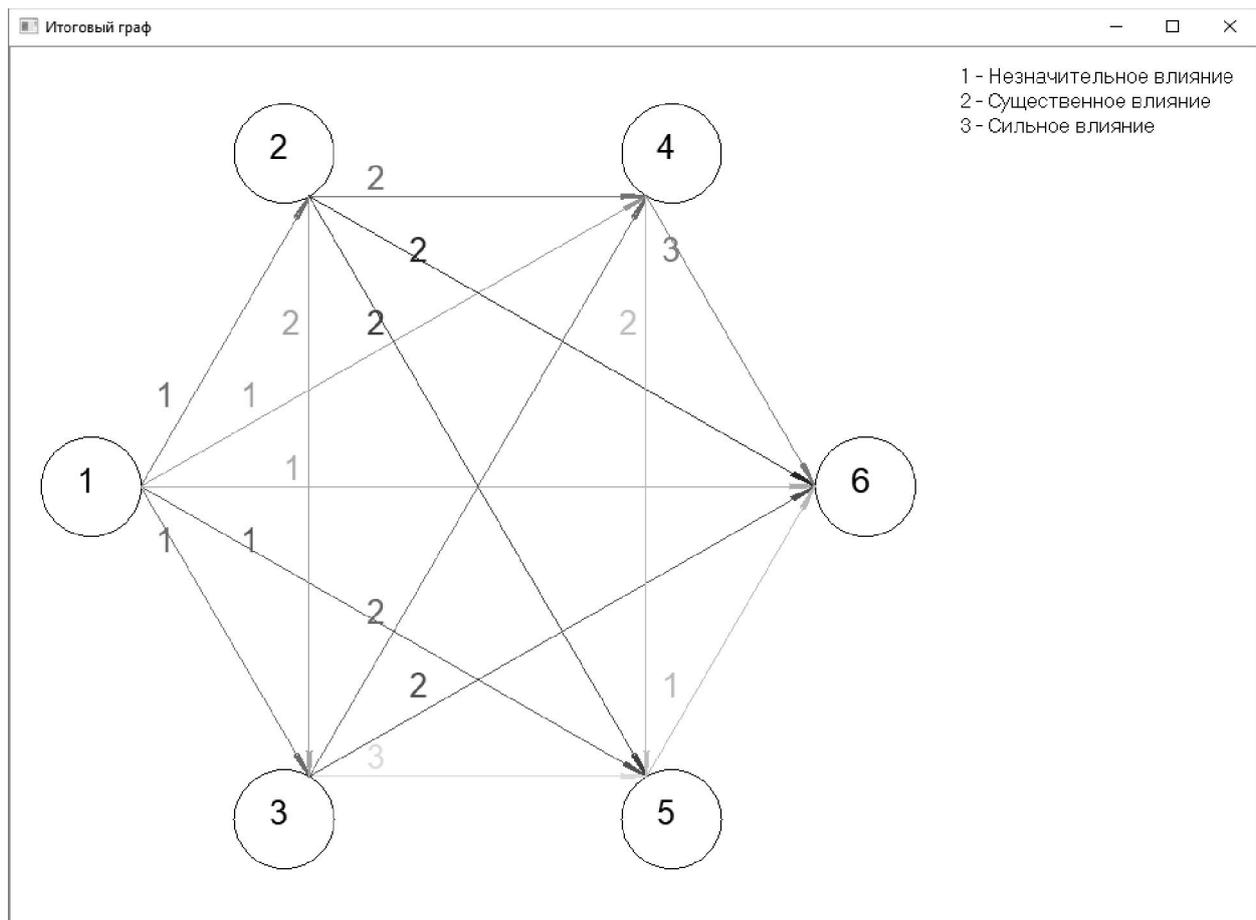


Рис. 5. Когнитивная карта

На рис. 5 представлен итоговый граф – когнитивная карта проекта, наглядно отображающая силу влияния факторов-концептов между собой (вершины 1-5) и на вершину 6, характеризующую цель экспертизы. Концепты являются вершинами графа, ребра представля-

ют связи, для удобства восприятия цифрами представлена интенсивность влияния между концептами. В правой части программного окна представлена легенда, отображающая соответствие номеров введенным лингвистическим переменным. Отметим, что полученный результирующий граф основан на оценке мнений трех экспертов и построен на основании матрицы, представленной на рис. 4.

Анализ матрицы достижимости (рис. 4) и соответствующего графа (рис. 5) позволяет сделать вывод, что на реализацию поставленной задачи создания инновационной технологии существенно влияет концепт 2 – число потребителей. При разработке проекта необходимо учитывать потребности потребителей, например, какие характеристики продукта наиболее востребованы. Также существенно влияет концепт 3 – современные материалы. Наиболее значимым концептом является концепт 4 – исследовательско - конструкторские разработки (научные разработки). По результатам рассматриваемой задачи разрабатываются мероприятия, по этапам реализации проекта составляется дорожная карта.

Представленный в работе модуль когнитивного моделирования направлен на обработку лингвистических переменных, формирование которых производится посредством PEST и SWOT-анализов, направленных на выявление концептов и определения силы их взаимовлияния. Разработанный программный модуль обладает интуитивным интерфейсом, позволяет задавать количество экспертов и концептов, эффективно проводить обработку матриц экспертных мнений. Модуль направлен на поддержку принятия решений и может быть использован в качестве источника информации при решении трудноформализуемых задач оценки степени влияния разнородных внешних и внутренних факторов на стратегическое развитие предприятия.

Библиографический список

1. **Тихобаев, В.М.** К построению модели многоуровневого управления / В.М. Тихобаев, Л.А.Толоконников // Известия Тульского государственного университета. Экономические и юридические науки. – 2011. – № 3–1. – С. 97–101.
2. **Горелова, Г.В.** Когнитивный подход к имитационному моделированию сложных систем // Известия Южного федерального университета. Сер.: Технические науки. – 2013. – №3. – С. 239–250.
3. **Лычагин, А.М.** Управление предприятием с позиции информационно-когнитивного моделирования // Вестник Новосибирского государственного университета. Сер.: Социально-экономические науки. – 2011. – Т. 11(2). – С. 81–91.
4. **Коробкин, В.В.** Учет рискованных ситуаций при моделировании процесса проектирования сложных управляющих систем на основе когнитивных моделей // В.В. Коробкин, А.Е. Колоденкова, А.П. Кухаренко // Известия Южного федерального университета. Сер.: Технические науки. – 2017. – №9. – С. 103–111.
5. **Гинис, Л.А.** Развитие инструментария когнитивного моделирования для исследования сложных систем // Инженерный вестник Дона. – 2013. – Т. 26. – С. 66–77.
6. **Шмелева, А.Г.** Программная реализация метода экспертных оценок форсайт-проектов / А.Г. Шмелева, А.И. Ладынин, А.В. Бахметьев // Современное состояние, проблемы и перспективы развития отраслевой науки: материалы Всероссийской научной конференции с международным участием. – М: Перо, 2016. – С. 534–537.
7. **Смирнова, Э.Е.** Методология оценки степени удовлетворенности потребителей в системе менеджмента качества / Э.Е. Смирнова, Т.А. Рябчик, А.И. Ладынин // Экономика и предпринимательство. – № 8 (ч. 4). – 2017. – С. 827–835.
8. **Шмелева, А.Г.** Оценка инновационных технологий на основе когнитивного моделирования / А.Г.Шмелева, Ю.В. Таланова Материалы международной научно-технической конференции «Информатика и технологии. Инновационные технологии в промышленности и информатике» «МНТК ФТИ-2017». – М.: МТУ. – 2017. – С. 328–330.
9. **Луценко, Е.В.** Теория информации и когнитивные технологии в моделировании сложных многопараметрических динамических технических систем / Е.В. Луценко, Г.В. Серга // Поли-

тематический сетевой электронный научный журнал кубанского государственного аграрного университета. – 2016. – №121. – С. 68–115.

10. **Шмелева А.Г., Ладынин А.И.** “Система поддержки принятия решений «ШАГ» (СППР «ШАГ»)”. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ РОСПАТЕНТ № 2017619109 от 15.08.2017 г.

*Дата поступления
в редакцию 18.04.2018*

A.G. Shmeleva¹, A.I. Ladynin¹, Yu.V. Talanova¹, V.V. Naumov²

COGNITIVE MODELING IN THE DECISION SUPPORT SYSTEM

Moscow Technological University (MIREA)¹,
Concern Morinformsystem-Agat²

Purpose: The article proposes the possible approach towards weakly structured problems investigation.

Design/methodology/approach: The paper introduces cognitive models with lingua-based impact descriptors. The PEST and SWOT-analysis usage in the factor formulation tasks are considered.

Findings: The developed program module and, the solution for the model problem are presented.

Research limitations/implications: The proposed method and the software are potentially highly efficient in weakly structured problems analysis.

Originality/value: Developed applied program is original and has a great potential as a primary or additional analytic software. The presented cognitive modeling methodology has great perspectives in both business and academic practice.

Key words: simulation model, cognitive modeling, weakly structured problem, software implementation.