

ПОСТРОЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКИХ КОГНИТИВНЫХ КАРТ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ КАПИТАЛЬНЫХ ПРОЕКТОВ НА ФИНАНСОВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПАНИИ

CONSTRUCTION AND APPLICATION OF FUZZY COGNITIVE MAPS FOR ASSESSING THE IMPACT OF CAPITAL PROJECTS ON A COMPANY'S FINANCIAL PERFORMANCE

R. Romanov

Summary. The paper presents an approach to using fuzzy cognitive maps (FCMs) for analyzing the impact of capital projects on a company's financial and economic performance. Based on a systematic approach and fuzzy mapping, a predictive model of financial and economic indicators is proposed, taking into account this influence. The developed approach formalizes expert knowledge and establishes causal relationships between key factors such as resource costs, demand dynamics, and currency fluctuations. FCMs support strategic decision-making aimed at optimizing corporate management under high uncertainty. Scenario modeling is explored to assess environmental changes and their effects on financial sustainability.

Keywords: fuzzy cognitive maps, financial and economic indicators, capital projects, strategic management, modeling, uncertainty.

Романов Родион Модестович

аспирант, Национальный исследовательский
ядерный университет «МИФИ»
Rodion.Romanov.M@yandex.com

Аннотация. В статье представлен подход к применению нечетких когнитивных карт (НKK) для анализа влияния капитальных проектов на финансово-экономические показатели компании. На основе системного подхода и нечеткого картирования предложена прогнозная модель финансово-экономических показателей, учитывающая это влияние. Разработанный подход позволяет формализовать экспертные знания и установить причинно-следственные связи между ключевыми факторами, такими как стоимость ресурсов, динамика спроса и валютные колебания. Использование НKK способствует поддержке стратегических решений, направленных на оптимизацию корпоративного управления в условиях высокой неопределенности. Рассмотрены сценарии моделирования для оценки изменений внешней среды и их влияния на финансовую устойчивость.

Ключевые слова: нечеткие когнитивные карты, финансово-экономические показатели, капитальные проекты, стратегическое управление, моделирование, неопределенность.

Актуальность

В условиях растущей неопределенности и динамичности внешней среды перед современными организациями встает задача применения научно обоснованных и точных инструментов для стратегического планирования и поддержки принятия управленческих решений. Среди таких инструментов выделяют системы поддержки принятия решений (далее — СППР), интегрирующие когнитивные подходы, которые приобретают все большее значение в управлении крупными корпоративными структурами, такими как ПАО «Газпром». Одним из наиболее перспективных методов в этом направлении являются нечеткие когнитивные карты (далее — НKK), обладающие способностью формализовать экспертные знания, моделировать сложные причинно-следственные связи и учитывать неопределенность, что особенно важно в условиях управления долгосрочными капитальными проектами с высокой степенью риска.

Использование НKK позволяет формализовать экспертные знания, интегрировать их с количественными

данными, а также учитывать неопределенность и нелинейность процессов, что особенно важно при управлении капитальными проектами с высоким уровнем риска и долгосрочным влиянием. Такой подход обеспечивает повышение точности прогнозирования целевых финансовых показателей, адаптивность к изменениям среды и улучшение качества принимаемых решений.

Применение НKK предоставляет возможность интеграции качественных экспертных знаний с количественными данными, а также эффективного учета факторов неопределенности и нелинейности экономических процессов. Это становится критически важным для управления капитальными проектами, которые характеризуются высоким уровнем риска и долгосрочным влиянием на финансовую устойчивость компаний. Данный подход способствует не только повышению точности прогнозирования ключевых финансовых показателей, но и увеличению адаптивности корпоративных систем к изменяющимся внешним условиям, что, в свою очередь, улучшает качество принимаемых стратегических решений.

Состояние проблемы

Применение интегрированных систем поддержки принятия решений (далее — ИСППР) в крупных корпоративных структурах, таких как ПАО «Газпром», демонстрирует высокий уровень математической формализации процессов стратегического планирования и управления. Эти системы позволяют прогнозировать финансово-экономические показатели посредством анализа значительных объемов исторических данных и применения разнообразных моделей обработки временных рядов. Однако, несмотря на высокий уровень автоматизации, в условиях неопределенности и динамичности внешней среды прогнозирование требует учета экспертных знаний и мнений.

Наиболее распространённым подходом прогнозирования временных рядов является сведение задачи прогнозирования к регрессии. Основной идеей данного метода является нахождение отношений между факторами, относительно которых строится прогноз. Однако данный метод ограничен в понимании ввиду недостаточной объяснимости получаемых результатов. [1]

В исследовании Н. Шейхруху [2] выделены три подхода к интеграции экспертных оценок в процесс прогнозирования:

- включение оценочных суждений при выборе и построении моделей прогнозирования;
- сравнение модельных прогнозов с экспертными оценками для последующего анализа и корректировки;
- корректировка модельных прогнозов на основе опыта и знаний экспертов, что предполагает формализованный и однозначный процесс принятия решений.

Исследователи, такие как Р. Филдс и Н. Шейхруху [2, 3], отмечают, что первые два подхода обладают высокой степенью субъективности, что может негативно сказываться на точности прогнозов. Предпочтительным считается третий подход, требующий формализации и четкости в принятии решений.

Современная научная литература уделяет значительное внимание развитию методов, направленных на минимизацию субъективности при сохранении возможности экспертного участия в прогнозировании. Одним из перспективных направлений является когнитивное моделирование, основанное на идеях В. Коско [4]. Это привело к разработке нечетких когнитивных карт, которые позволяют формализовать причинно-следственные связи между факторами на основе экспертных знаний.

В отечественной практике российские исследователи успешно адаптировали данный подход для прогно-

зирования временных рядов и анализа динамических процессов [5]. Применение НКК предоставляет возможность объединить временные данные с экспертными гипотезами, формируя формализованную модель влияния различных факторов на прогнозируемые показатели. Тем самым построение данной модели способствует принятию управленческих решений [1].

Преимуществом метода НКК является способность учитывать нечеткость и неопределенность взаимосвязей между факторами, что способствует более точному моделированию сложных социально-экономических систем [6]. НКК служат эффективным инструментом поддержки принятия решений, повышая информированность лиц, принимающих решения (далее — ЛПР), за счет структурирования знаний и мониторинга значимых событий, влияющих на прогнозные показатели [5].

Практическая ценность данного подхода подтверждается исследованиями З.К. Авдеевой, Е.А. Гребенюк и С.В. Ковриги [5], которые применили НКК для прогнозирования спроса и себестоимости продукции на вторичном рынке металлургии. Созданная ими модель включала 56 факторов, связанных причинно-следственными связями, и охватывала полный цикл создания стоимости, включая рыночные параметры и макроэкономические индикаторы.

Таким образом, когнитивное моделирование на основе НКК представляет собой перспективный методологический инструмент для повышения точности прогнозирования в условиях высокой неопределенности и динамичности внешней среды. Это особенно актуально для крупных корпоративных структур, где управление сложными капиталоемкими проектами требует интеграции количественных данных с качественными экспертными оценками.

Цель работы

Настоящая работа направлена на разработку и апробацию подхода к использованию нечетких когнитивных карт для анализа и оценки влияния капитальных проектов на выручку компании. Основной задачей является повышение точности прогнозирования этих показателей за счет интеграции экспертных знаний и количественных данных, а также учета факторов неопределенности и нелинейности процессов. Предлагаемый подход ориентирован на поддержку принятия стратегически обоснованных решений, обеспечивающих адаптацию компаний к изменяющимся условиям внешней среды и повышение их устойчивости в долгосрочной перспективе.

Данные и методы исследования

Исследование базируется на разработке модели НКК, в основе которой используется финансово-эконо-

мическая модель, отражающей ключевые взаимосвязи между факторами, влияющими на финансово-экономические показатели группы компаний ПАО «Газпром». Эта модель позволяет учитывать неопределенность и нелинейность внешней среды, интегрируя экспертные знания с количественными данными, что обеспечивает высокую точность прогнозирования.

Процесс построения когнитивной модели основывается на формальном определении взаимосвязей между элементами, которые составляют целостную систему [7, 8].

В данном случае модель системы S описывается следующим образом:

$$S = \{M_0(Y, U, P), M_E(X), M_D(Q), M_{MO}, M_{ME}, M_U, M_H, A, R\}$$

где M_0 , M_E — когнитивные модели (в работе данные модели объединены в одну общую), $M_0(Y, U, P)$ — модель сложной системы (финансово-экономическая модель), в ней Y — вектор эндогенных переменных (внутренние финансовые ресурсы компании), U — вектор управляющих переменных (планы добычи газа, газового конденсата и нефти по годам), P — вектор ресурсов (лицензии на месторождения), M_E — модель окружающей среды, в которой X — экзогенные переменные (кросс-курсы валют других стран, спотовые контракты и др.); $M_D(Q)$ — модель поведения системы (регрессия учитывающая изменения доходов в зависимости от курса доллара) Q — управляющие и возмущающие воздействия (обесценение рубля, внешние регуляторные ограничения НДПИ, ограничения по продажам валютной выручки и др.); для измерения состояния объекта и среды строятся модели M_{MO} и M_{ME} ; M_U — модель управления системой. Ввод в модель «наблюдателя» M_H , т.е. эксперта, принимающего решения, что необходимо для включения в процесс исследования сложной системы процессы познания человека; A — правила расширения системы S (добавление новых переменных в модель, внесение дополнительных источников данных); R — отношение между компонентами системы.

Объектами исследования выступают основные бизнес-направления Группы Газпром, включая нефтяной и электроэнергетический секторы, а также ключевые дочерние структуры компании, такие как ПАО «Мосэнерго», ПАО «ТГК-1», ПАО «ОГК-2» и ПАО «МОЭК». Источники данных включают консолидированную финансовую отчетность компании за 2019–2021 годы, подготовленную в соответствии с МСФО и РСБУ.

В процессе разработки НКК определялись причинно-следственные связи между основными факторами, такими как стоимость природного газа, динамика экспорта, курсовые изменения валют и логистические затраты.

Реализация модели в программной среде позволила смоделировать влияние этих факторов на ключевые финансово-экономические показатели компании, включая выручку, себестоимость, капитальные вложения и налоговые платежи.

Анализ данных охватывал три года ретроспективного периода с шагом дискретизации в один месяц, а также годовые значения для долгосрочного прогнозирования на последующие семь лет. Построение когнитивной карты проводилось с использованием информации из опубликованной отчетности компании, что позволило учитывать сценарные изменения в макроэкономической среде, такие как курсовые колебания и изменения спроса на энергоносители в различных регионах.

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе исследования была разработана нечеткая когнитивная карта, позволяющая оценивать влияние ключевых факторов на финансово-экономические показатели группы компаний ПАО «Газпром». Основное достижение исследования заключается в интеграции экспертных знаний с ретроспективными данными и временными рядами для моделирования сложных причинно-следственных связей в условиях высокой неопределенности и динамики внешней среды.

Разработанная когнитивная карта объединяет данные из финансовой отчетности по МСФО и РСБУ за период 2019–2021 годов с оценками экспертов. В рамках карты были структурированы ключевые факторы, такие как стоимость природного газа, динамика экспортных объемов, внутренний спрос, курсовые колебания валют, транспортные затраты и капитальные вложения. Это позволило формализовать сложные взаимосвязи между факторами, включая временные лаги и обратные связи, что повысило качество анализа и прогнозирования.

Проведенное моделирование сценариев развития охватывало широкий спектр макроэкономических изменений. Рассматривались, например, рост мировых цен на энергоносители и связанное с этим увеличение экспортного спроса на газ, снижение внутреннего спроса из-за повышения себестоимости продукции, а также влияние курсовых колебаний валют и роста налоговой нагрузки. Результаты показали, что мировые цены на газ и экспортные ограничения оказывают значительное влияние на финансовую устойчивость группы. Увеличение экспортных поставок способствует росту выручки, но сопряжено с ростом транспортных затрат. Курсовые колебания, в свою очередь, имеют двойственное воздействие: рост курса рубля снижает прибыльность экспорта, но уменьшает стоимость импортного оборудования.

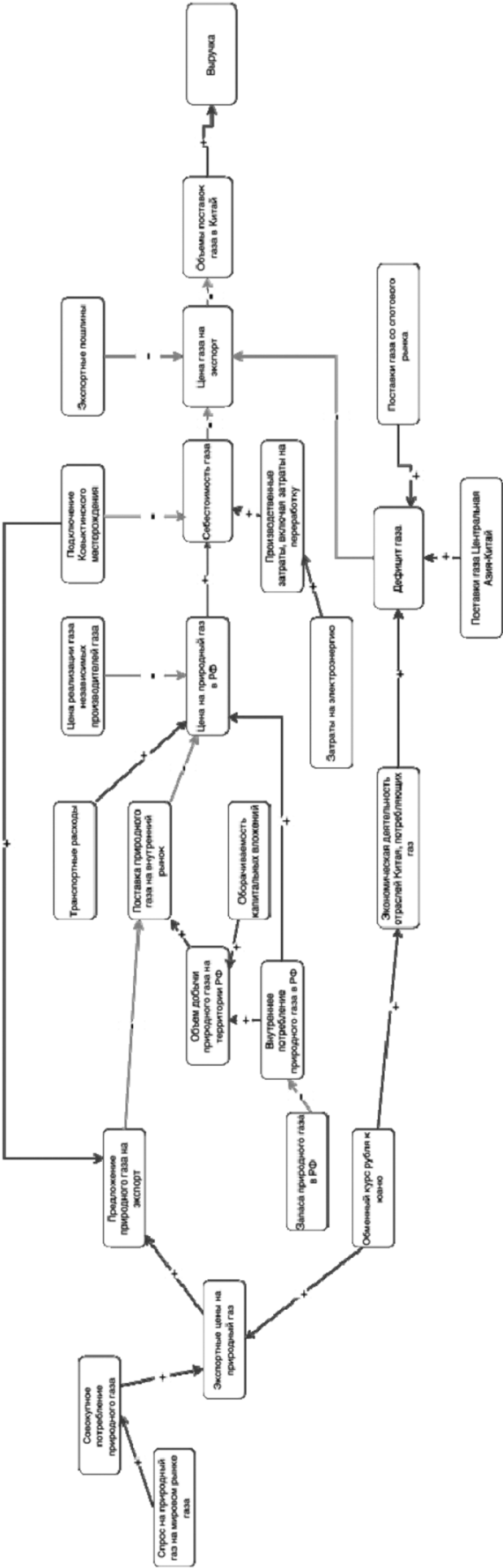


Рис. 1. Нечеткая когнитивная карта газового бизнеса без учета Европейского направления

Формирование НКК способствовало уточнению состава параметров эконометрической модели для прогнозирования курса доллара по отношению к курсу рубля. До уточнения состав множественной регрессионной модели был представлен следующими параметрами [9]:

$$y = 100.28 - 0.4x_1 + 0.003x_2 + 0.00x_3 - 0.0005x_4 - 0.028x_5$$

где

- динамика цен на нефть (x_1);
- уровень инфляции (x_2);
- объем иностранных инвестиций в РФ (x_3);
- объем совокупного экспорта (x_4);
- объем экспорта нефти (x_5).

В данной работе в регрессионную модель была добавлена газовая компонента, имеющую экономическую значимость:

- цена на природный газ на экспортных рынках (x_6);
- объем экспорта газа (x_7);
- цена на природный газ в РФ (x_8);
- индекс экономической активности стран экспортеров газа (суммарный) (x_9);
- загруженность трубопроводов (x_{10});
- объем валютных поступлений от продаж газа (x_{11}).

В данном случае, уравнение регрессии в этом случае приобретает следующий вид:

$$y = 109.12 + 0.457x_1 - 0.382x_2 + 0.010x_3 - 0.02x_4 - 0.109x_5 + 0.4x_6 + 0.269x_7 + 0.107x_8 + 3.786x_9 - 0.051x_{10} + 0.01x_{11}$$

Результат прогнозирования с использованием модели, построенной на основе НКК, представлен на рисунке 2.

Результаты сравнительного анализа значений, полученных автором с помощью модели НКК и регрессионной модели, с историческими данными, представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Средняя ошибка годового прогноза с помесечным разбиением, построенного разными моделями

Наименование модели	MAPE 2022	RMSE 2022
Исходная модель	13.03 %	6340.7
НКК	11.15 %	5418.4

Из таблицы видно, что применение НКК позволило повысить точность прогнозирования ключевых финансовых показателей на 14.5 % по RMSE и на 1.88 % по MAPE традиционной моделью. Данное улучшение стало возможным благодаря учёту нечетких зависимостей между факторами и интеграции качественных экспертных оценок. Выявленные критические точки влияния факторов позволили сформировать рекомендации для руководства компании, включая усиление экспортных поставок в Азиатско-Тихоокеанский регион, прогнозируемый как перспективный, оптимизацию транспортных затрат.

Полученные результаты демонстрируют высокую практическую ценность предложенной методологии. Её интеграция с существующими системами поддержки принятия решений позволяет оперативно реагировать на изменения внешней среды и корректировать стратегические планы компании. Например, в условиях роста мировых цен на энергоносители предложенная модель может быть использована для оценки целесообразности перенаправления поставок на более прибыльные рынки.

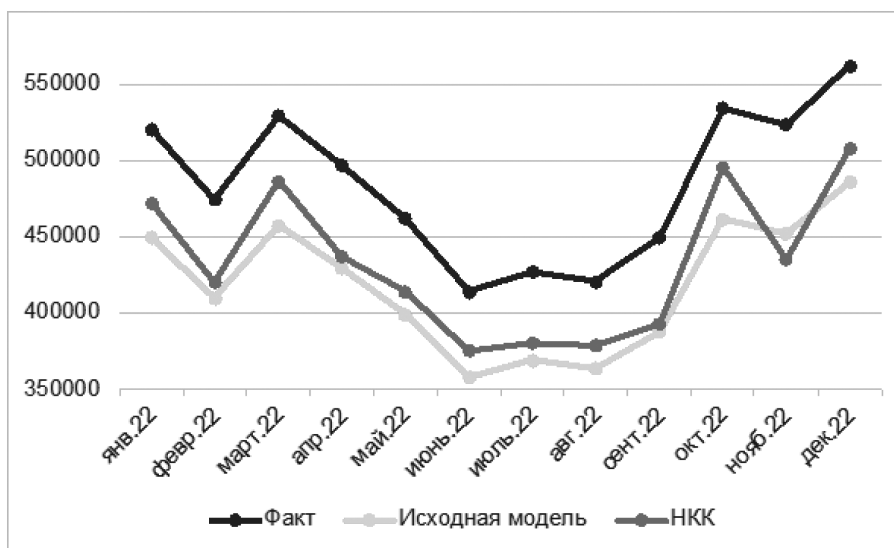


Рис. 2. Результат прогнозирования выручки по реализации газа в 2022 году

Заключение

В рамках проведенного исследования разработана НКК для оценки влияния капитальных проектов на финансово-экономические показатели крупной корпоративной структуры. Предложенная методология позволила интегрировать экспертные знания с ретроспективными данными и временными рядами, что обеспечило моделирование сложных причинно-следственных связей в условиях неопределенности и динамичной внешней среды.

Полученные результаты открывают перспективы для дальнейших исследований в области интеграции НКК

с платформенными решениями, применяемыми в системах поддержки принятия решений. Это позволит масштабировать использование НКК в других секторах экономики и повысить эффективность управления сложными системами.

Таким образом, предложенный подход обладает как теоретической, так и практической значимостью, обеспечивая инструментальную поддержку для стратегического планирования и устойчивого развития корпоративных структур в долгосрочной перспективе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Posmakov N.P., Emelyanenko A.S., Kireev V.S. Fuzzy Cognitive Map Ensembles to Solve Regression and Time Series Tasks// Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus 2022), pp. 406–409, 2022, doi: 10.1109/ElConRus54750.2022.9755460
2. Cheikhrouhou N. et al. A collaborative demand forecasting process with event-based fuzzy judgements //Computers & Industrial Engineering, vol. 61(2), pp. 409–421, 2011.
3. Fildes R., Goodwin P., Lawrence M. The design features of forecasting support systems and their effectiveness //Decision Support Systems, vol. 42(1), pp. 351–361, 2006.
4. Kosko B. Fuzzy cognitive maps //International journal of man-machine studies, vol. 24(1), pp. 65–75, 1986.
5. Avdeeva Z.K., Grebenyuk E.A., Kovriga S.V. Cognitive modelling-driven time series forecasting for predicting target indicators in non-stationary processes //IFAC-PapersOnLine, vol. 54(13), pp. 91–96, 2021.
6. Abramova N. et al. Subject-formal methods based on cognitive maps and the problem of risk due to the human factor //Cognitive maps. — IntechOpen, 2010.
7. Горелова Г.В. О развитии когнитивного моделирования в исследованиях сложных систем //Управление в экономических и социальных системах. 2019. №. 1. С. 11–26.
8. Кульба В.В. и др. Сценарный анализ динамики поведения социально-экономических систем //М.: ИПУ РАН. 2002. Т. 122.
9. Матвеева А.А. Прогнозирование курса доллара США на основании эконометрических моделей регрессии //Экономика и социум. 2016. №. 12–2 (31). С. 226–233.