

ПРИМЕНЕНИЕ ГИБРИДНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ПРОЦЕССА ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

APPLICATION OF HYBRID SYSTEMS BASED ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO ENHANCE THE MANAGEMENT DECISION-MAKING PROCESS

**A. Somov
D. Oleinik
O. Kalinina**

Summary. In the context of global competition, the emphasis is placed on innovative technologies based on AI. These algorithms facilitate big data analysis, adjust databases in the absence of sufficient economic information, and create complex economic models. These models adapt to new data and predict the dynamics of economic systems, enabling effective response to challenges and enhancing organizational resilience. The article addresses the scientific problem of optimizing managerial decisions using artificial intelligence (AI) algorithms for analyzing economic data and forecasting the dynamics of economic systems. This topic is of interest to: commercial organizations, scholars in the field of management and AI, as well as developers of innovative technologies.

Keywords: artificial intelligence, management decision support method, neural networks, economic parameters, forecasting, replenishment of the information base, hybrid systems.

Сомов Андрей Георгиевич

*К.э.н., ассистент, Санкт-Петербургский
политехнический университет Петра Великого
somovspb@yandex.ru*

Олейник Дмитрий Александрович

*Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого
oleinik_da@spbstu.ru*

Калинина Ольга Владимировна

*Д.э.н., профессор, Санкт-Петербургский
политехнический университет Петра Великого
ovkalinina@spbstu.ru*

Аннотация. В условиях глобальной конкуренции акцент ставится на инновационные технологии на базе ИИ. Эти алгоритмы обеспечивают анализ больших данных, корректируют базы при недостатке экономической информации и создают сложные экономические модели. Эти модели адаптируются к новым данным и предсказывают динамику экономических систем, позволяя эффективно реагировать на вызовы и укреплять устойчивость организаций. В статье решается научная проблем оптимизации управленческих решений с помощью алгоритмов искусственного интеллекта (ИИ) для анализа экономических данных и прогнозирования динамики экономических систем. Данная тема интересна: коммерческим организациям, ученым в области управления и ИИ, а также разработчикам инновационных технологий.

Ключевые слова: искусственный интеллект, метод поддержки принятия управленческих решений, нейронные сети, экономические параметры, прогнозирование, восполнение информационной базы, гибридные системы.

Введение

Актуальность. Современная экономическая система претерпевает изменения в связи с переходом к цифровой экономике. Ускорение научно-технического прогресса выдвигает новые требования к эффективности деятельности экономических агентов.

Литературный обзор. В рамках современных экономических систем наблюдается возрастающая сложность, что мотивирует исследователей к активному применению методологии сложных систем для анализа финансового регулирования и экономической динамики. В научном труде Стефано Баттистона и соавторов [1] акцентирована важность внедрения теории сложных систем в контексте финансового регулирования, освещая её применимость в условиях текущей рыночной среды. Карс Хоммес [2] предоставляет детализированный анализ в области поведенческой и экспериментальной

макроэкономики, с акцентом на методологии сложных систем при исследовании экономической политики. Этот методологический вектор находит подтверждение в работах Дойн Фармера и Дункана Фоли [3], где акцент делается на критической важности агента-ориентированного моделирования для понимания экономической динамики. Параллельно, Дуболазов В.А. [3] ставит в центр исследования применение нейронных сетей для прогностического анализа временных рядов в рамках систем поддержки решений. Найджел Гилберт [5] и Ли Тесфатсион [6] представляют концептуальные и методологические рамки агента-ориентированного моделирования. Гилберт акцентирует внимание на значимости таких моделей для социально-экономических исследований, тогда как Тесфатсион исследует их потенциал для оптимизации функционирования экономических систем. В работах Калининой О.В. и соавторов [7, 8] основное внимание уделяется инновационным стратегиям и системному планированию. Исследования в области

прогнозирования экономических показателей также представлены в работах Дуболазова В.А. и Пономаревой О.А. [9, 10], где обсуждается применение передовых методов анализа данных для изучения мировых инновационных рынков.

Научный пробел. Не все существующие методологии и инструменты полностью удовлетворяют новые требования цифровой экономики, возникает потребность в создании интегрированного инструментария.

Научная новизна. Создание уникального комплексного инструментария, позволяющего адаптироваться к изменяющимся условиям цифровой экономики и обеспечивающего эффективное принятие управленческих решений.

Авторская гипотеза. Предполагается, что интегрированный инструментарий с использованием гибридных систем будет способствовать повышению эффективности деятельности экономических агентов в условиях цифровой экономики.

Целью исследования является разработка и оптимизация управленческих решений на основе алгоритмов искусственного интеллекта. Это включает в себя создание комплексных экономических моделей и гибридных систем, которые адаптируются к новым экономическим данным, используя методологию нейронных сетей, для прогнозирования динамики экономических систем и повышения устойчивости организаций при внедрении инновационных технологий.

Задачи исследования

1. Сформировать и дополнить информационную базу посредством алгоритмов, основанных на методологии искусственного интеллекта, и определить ключевые потенциальные точки для внедрения инновационного продукта.
2. Создать экономическую модель для внедрения инновационного продукта, применяя технологию нейронных сетей и опираясь на предварительно сформированную информационную базу, а также идентифицированные потенциальные места внедрения.
3. Сконструировать алгоритм и осуществить прогноз потребности в внедрении инновационного продукта, используя разработанную экономическую модель и учитывая характеристики определенных потенциальных точек внедрения и доступные экономические индикаторы модели.

Методология и описание системы

В контексте современных систем принятия решений гибридные модели синтезируют человеческую экспер-

тизу и автоматизированные алгоритмические методы, в том числе нейронные сети, целью которых является формирование наиболее точных и аргументированных решений. Нейронные сети обладают способностью детектировать комплексные зависимости в данных, что может быть за пределами человеческого восприятия, тогда как экспертные системы интегрируют контекстуальное понимание и доменные знания, что делает их взаимодействие комплементарным. Погрешности или искажения, характерные для одного метода, могут быть нивелированы или определены другим, обеспечивая механизм обнаружения и коррекции ошибок на этапах обработки информации. Гибридные системы предоставляют гибкость в модуляции весовости отдельных компонентов в зависимости от характеристик входных данных. Дополнительно, механизмы интеграции могут быть либо параллельными, когда оба метода работают совместно, либо последовательными, при которых первичный анализ одного метода дополняется или перепроверяется другим. Концепция взаимного обучения, где экспертные системы и нейронные сети обмениваются знаниями, также представляет интерес. Гибридные системы объединяют элементы, базирующиеся на традиционных статистических, математических и экспертных аналитических методах, с подходами, принадлежащими к домену искусственного интеллекта, такими как машинное обучение. Этот синтез позволяет максимизировать преимущества каждого подхода.

Рассмотрим преимущества и недостатки гибридных систем принятия решений:

Таблица 1.

Преимущества и недостатки гибридных систем принятия решений. [1; 2]: (разработано авторами)

Параметр	Преимущества	Недостатки
Точность	Повышенная точность благодаря комбинированному анализу данных	Потребность в больших объемах данных для некоторых методов
Гибкость	Способность адаптироваться к разным видам задач	Сложность интеграции различных методологий
Разнообразие данных	Способность обрабатывать различные типы и источники данных	Потребность в высококачественной предварительной обработке данных
Скорость принятия решений	Быстрые вычисления для определенных задач	Могут быть медленнее из-за интеграции разных методов
Надежность	Разнообразие методов может повысить устойчивость решений	Усложненная отладка и тестирование
Интерпретируемость	Могут быть созданы модели с высокой степенью интерпретации	Некоторые комбинированные модели могут быть «черными ящиками»

Параметр	Преимущества	Недостатки
Стоимость разработки	Использование готовых инструментов и библиотек	Возможно увеличение стоимости из-за сложности интеграции
Обучение	Может быть автоматизировано для определенных задач	Необходимость в обучении различных методологий

В контексте анализа гибридных систем принятия решений можно выделить следующие основные преимущества и ограничения:

Преимущества:

- Расширенная обоснованность принимаемых решений благодаря интеграции человеческой экспертизы и автоматизированных методов анализа.
- Сниженный риск систематических ошибок и предвзятости за счет комбинации двух подходов.

Ограничения:

- Высокая степень сложности в разработке и интеграции двух отличающихся между собой систем.
- Необходимость регулярного актуализирования экспертной системы в связи с динамично меняющимся контекстом в соответствующей области знаний.

Исследуем методологию, предназначенную для поддержки управленческого решения, базирующуюся на гибридной системе. Данная методология делится на три ключевых этапа:

- Разработка алгоритма формирования и выполнения информационной базы: на этом этапе акцентируется внимание на создание структурированной информационной основы, которая является необходимой для дальнейшего анализа и принятия решений. Данный алгоритм также должен учитывать потенциальные недостатки или пробелы в данных, предоставляя механизмы их восполнения.
- Разработка общей экономической модели внедрения инновационного продукта: на данном этапе формируется модель, которая отображает все ключевые экономические параметры и факторы, влияющие на успешное внедрение инновационного продукта в рынок. Эта модель включает в себя различные экономические переменные, их взаимосвязи и потенциальные сценарии развития.
- Разработка алгоритма прогнозирования потребности внедрения инновационного продукта: заключительный этап ориентирован на создание инструмента, который сможет, на основе имеющейся информационной базы и экономической модели, предсказать будущую потребность рынка в инновационном продукте. Это позволяет опти-

мизировать стратегию внедрения продукта, адаптируя ее к предполагаемым изменениям рыночной ситуации [4; 5; 6].

Результаты: Методика работы алгоритма по формированию и восполнению информационной базы данных

Центральная функция алгоритма формирования и выполнения информационной базы данных обусловлена необходимостью подготовки интегрированной датасета для целей моделирования в рамках создания экономической модели. Мотивация к разработке указанного алгоритма проистекает из наиболее актуальных проблематик, характерных для современных экономических датабаз:

- Неполнота данных: проблемы, связанные с отсутствующей или неполной информацией, чреваты потерей важных аспектов, которые могут исказить результаты моделирования.
- Некорректность данных: ошибки в датасете, такие как аномалии, нулевые значения и другие артефакты, могут существенно влиять на точность и достоверность результатов исследования.
- Неактуальность данных: в быстро меняющемся экономическом контексте использование устаревших данных (например, с отставанием в 2–3 года или даже более) может привести к неверным выводам и рекомендациям.

Таким образом, данный алгоритм представляет собой критически важный инструмент для гарантирования качества и актуальности информационного ресурса, что, в свою очередь, обеспечивает точность и релевантность экономического моделирования.

Разработанный алгоритм предполагает последовательность шагов, направленных на оптимизацию и коррекцию экономических данных:

1. Выбор мест внедрения: вначале определяется список потенциальных площадок или секторов для внедрения инновационного продукта.
2. Определение параметров: для каждой выбранной площадки или сектора устанавливаются соответствующие прямые или, в случае их отсутствия, косвенные экономические параметры.
3. Первичная коррекция данных: на данном этапе производится коррекция прямых экономических данных: удаляются аномалии, заполняются пропуски и устраняются нулевые значения. Используемый метод зависит от объема данных — для больших датасетов рекомендуется использование нейронных сетей, тогда как для меньших — классические методы аппроксимации.
4. Обработка больших пропусков: при наличии значительных пропусков в данных или отсутствии

целых строк, предпринимается подбор первичных косвенных экономических параметров. Эти параметры также подвергаются первичной коррекции.

5. Обучение нейронной сети: на основе откорректированных косвенных параметров строится и обучается нейронная сеть. Процесс настройки параметров сети идет до тех пор, пока ошибка моделирования не становится приемлемой (например, R^2 в пределах 0.8–0.9).
6. Экстраполяция данных: поскольку большинство доступных экономических данных устаревают, проводится их экстраполяция до текущего времени. Для больших датасетов рекомендуется использовать методы на основе нейронных сетей, а для меньших — классические эконометрические методы, например, ARIMA [9].

Данная методика обеспечивает актуализацию, коррекцию и оптимизацию экономических данных для последующего использования в моделировании, оценке и прогнозировании внедрения инновационных продуктов.

Методика работы алгоритма для косвенных экономических параметров:

- Выбор косвенных параметров: в ситуациях, когда прямые экономические параметры недоступны или неприменимы для мест внедрения инновационного продукта, начинается с выбора начального набора косвенных параметров.
- Первичная коррекция данных: аналогично прямым параметрам, косвенные данные корректируются на аномалии, нулевые значения и пропуски, с применением либо классических методов аппроксимации, либо нейронных сетей в зависимости от объема данных.
- Обучение и тюнинг нейронной сети: нейронная сеть обучается на основе откорректированных косвенных параметров. В процессе обучения параметры сети настраиваются до достижения приемлемой точности моделирования.
- Оценка и коррекция модели: после каждого цикла обучения производится анализ точности и качества модели. На основе этих данных принимается решение о добавлении или исключении определенных косвенных параметров и затем происходит повторное обучение модели.
- Выбор оптимальной модели: если, несмотря на перебор всех возможных косвенных параметров, требуемая точность моделирования не достигается, то принимается решение о выборе наиболее оптимальной модели из всех проведенных экспериментов.
- Группировка данных: в ситуации, когда улучшение качества модели невозможно даже после перебо-

ра всех параметров, данные могут быть разбиты на подгруппы. Для каждой подгруппы затем проводится индивидуальное обучение и оптимизация модели.

Следуя этой методике, даже в условиях отсутствия прямых экономических параметров, можно максимизировать эффективность и точность моделирования, обеспечивая высокую степень адаптации к сложным и динамичным условиям рынка.

В рамках разработанного алгоритма формирования и восполнения информационной базы, основываясь на методах искусственного интеллекта и экономических данных, была предложена методология решения актуальной проблемы — отсутствия, дефицита, некорректности или устаревания исходных данных, касающихся экономического объекта исследования.

Конструирование интегральной экономической модели, направленной на реализацию инновационного продукта

Для конструирования интегральной экономической модели, направленной на реализацию инновационного продукта, применяется информационная база, предварительно подготовленная и оптимизированная. В контексте данных для обучения нейросетевой модели акцент делается исключительно на косвенные параметры предполагаемых локаций внедрения инновационной продукции. Следовательно, на этапе предварительной подготовки к созданию интегральной экономической модели насущной становится задача дополнения и оптимизации косвенных входных параметров данной модели. Конкретнее, на начальном этапе подбираются первоначальные косвенные индикаторы для тех локаций внедрения, которые не были учтены на этапе формирования базы данных. Затем, согласно предыдущему алгоритму формирования базы данных, для указанных косвенных индикаторов проводится корректировка, последующая экстраполяция данных к актуальному периоду, а затем обучение нейросети на основе этих параметров. Этот цикл повторяется до достижения заданной точности моделирования. В результате данного процесса формируется окончательный набор косвенных параметров, который адекватно отображает прямые показатели потенциальных мест внедрения продукта. Последующий этап включает в себя создание интегральной экономической модели путем обучения нейросети на основе входных (окончательный набор косвенных параметров) и выходных (прямые параметры потенциальных локаций внедрения) данных. При необходимости, в процессе обучения модели, происходит дополнительная коррекция косвенных параметров с целью повышения точности предсказаний [3].

Для определения будущего спроса на внедрение инновационного продукта, согласно сформулированному методологическому подходу, выполняется экстраполяция косвенных экономических показателей, выявленных на этапе создания интегральной экономической модели, к целевому году прогнозирования. Для реализации экстраполяции косвенных показателей применяются методы эконометрии, в частности модель ARIMA, а также методика нейросетевого моделирования. Отметим, что при анализе значительного объема данных рекомендуется использование нейронных сетей, в то время как для небольших датасетов традиционные эконометрические методы, такие как ARIMA, могут быть наиболее эффективными.

Выводы

Гибридные системы принятия решений являются инновационным подходом, комбинируя преимущества искусственного интеллекта и экспертного человеческого суждения. Эффективное использование таких систем требует детального анализа их архитектуры, потенциала и ограничений, а также постоянной адаптации и пересмотра. Они предоставляют современным организациям высокоэффективный инструментарий, сочетая в себе глубину человеческой экспертизы и инновационные

технологические решения. Несмотря на вызовы, связанные с их созданием и внедрением, гибридные системы обеспечивают превосходство в качестве принимаемых решений.

С использованием технологии нейронных сетей была создана экономическая модель внедрения инновационного продукта, базирующаяся на обновленной информационной базе. Данная модель продемонстрировала свою высокую эффективность в области прогнозирования динамики экономических систем, оперативное реагирование на новые данные, глубокий анализ паттернов (в сравнении с альтернативными моделями), кластерный анализ экономических показателей и стабильную работоспособность при интеграции новых данных.

Применительно к алгоритму прогнозирования потребности внедрения инновационного продукта, который основывается на предложенной экономической модели, отметим его способность предоставлять прогностические прогнозы относительно будущего поведения экономической системы. При этом алгоритм обладает гибкостью и адаптивностью, что позволяет ему оптимизировать прогноз при получении новой или уточненной информации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Battiston, Stefano, et al. Complex systems. Complexity theory and financial regulation. *Science* 351.6275 (2016): 818–819. DOI: 10.1126/science.aad0299
2. Cars Hommes, Behavioral and experimental macroeconomics and policy analysis: A complex systems approach. *Journal of Economic Literature* 59(1) (2021): 149–219.
3. Dubolazov V., Somov A. Interval approach of time series forecasting by neural networks for the decision support system // *MATEC Web of Conferences*. — 2018. — 170. — 01014.
4. Farmer, J. Doyne, and Duncan Foley. «The economy needs agent-based modelling». *Nature* 460.7256 (2009): 685–686.
5. Nigel Gilbert, Agent-Based Models (Quantitative Applications in the Social Sciences) (2020), SAGE Publications, Inc., DOI: <https://doi.org/10.4135/9781506355580>.
6. Tesfatsion, Leigh. «Agent-based computational economics: A constructive approach to economic theory». *Handbook of computational economics 2* (2006).
7. Калинина О.В., Марюхта А.П. Алгоритм использования матрицы Ансоффа как метод системного выбора необходимой стратегии развития компании // *Инновационная наука*. — 2015. — № 8–1 (8). — С. 18–23.
8. Калинина О.В., Фирова С.В. Планирование инновационной деятельности на основе управления стратегическими параметрами инвестирования // *Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки*. — 2019. — Т. 2. № 5. — С. 130–141.
9. Сомов А.Г. Пономарева О.А. Прогнозирование временных рядов экономических данных с использованием ARIMA процессов с целью вывода на рынок инновационных продуктов // *Фундаментальные и прикладные исследования в области управления, экономики и торговли: сборник трудов науч. и учеб.-практ. конф.*, 2017. — Ч. 1. — С. 340–350.
10. Сомов А.Г., Дуболазов В.А. Исследование зарубежных рынков инновационных продуктов с использованием теории нечетких множеств и нейронных сетей // *Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки*. — 2019. — Т. 12. — № 1. — С. 191–200.

© Сомов Андрей Георгиевич (somovspb@yandex.ru); Олейник Дмитрий Александрович (oleinik_da@spbstu.ru);

Калинина Ольга Владимировна (ovkalinina@spbstu.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»