

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ



DOI: 10.26794/2404-022X-2023-13-4-71-89
УДК 004.89;005(045)
JEL C18, O22

Анализ мультимодальных данных в управлении проектами: перспективы использования машинного обучения

П.А. Михненко

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Современная проектная среда характеризуется высокой сложностью, неопределенностью, скоростью и глубиной изменений, которые влияют на проект в течение его жизненного цикла. Однако процессы управления изменениями проекта не учитывают необходимость осуществления аналитических процедур динамической обработки массивов мультимодальных данных. **Цель** исследования состоит в определении содержания аналитических процедур управления проектами и обосновании использования технологий машинного обучения для их эффективного осуществления. **Методологической основой** послужили методы управления проектами, теория изменений, концепции искусственного интеллекта и машинного обучения, а также аналитические подходы. В работе также применялись методы дескриптивного моделирования процесса управления проектами и экспертных оценок перспектив использования технологий машинного обучения. Информационную базу составили научные материалы по рассматриваемой теме, а также экспертные оценки. **Результаты** исследования позволили сделать вывод, что для анализа мультимодальных данных наиболее востребованы технологии обработки естественного языка и интеллектуальной поддержки принятия решений, которые могут служить основой новых технологических решений в сфере управления проектами. **Ключевые слова:** управление проектами; изменения; аналитическая процедура; мультимодальное слияние данных; машинное обучение

Для цитирования: Михненко П.А. Анализ мультимодальных данных в управлении проектами: перспективы использования машинного обучения. *Управленческие науки = Management Sciences in Russia*. 2023;13(4):71-89. DOI: 10.26794/2404-022X-2023-13-4-71-89

ORIGINAL PAPER

Analysis of Multimodal Data in Project Management: Prospects for Using Machine Learning

P.A. Mikhnenko

Bauman State Technical University, Moscow, Russia

ABSTRACT

The modern project environment is characterized by high complexity, uncertainty, speed and depth of changes that affect the project during its life cycle. However, the project's change management processes do not take into account the need to implement analytical procedures for dynamic processing of multimodal data arrays. The **purpose** of the study is to determine the content of analytical procedures for project management and substantiate the use of machine learning technologies for their effective implementation. The **methodological basis** was project management methods, theory of change, concepts of artificial intelligence and machine learning, as well as analytical approaches. Methods of descriptive modeling of the project management process and expert assessments of the prospects for using machine learning technologies were also used in the work. The information base was made up of scientific materials on the topic under consideration, as well as expert assessments. The **results** of the study allowed us to conclude that for the analysis of multimodal data, natural language processing and intellectual decision support technologies are most in demand, which can serve as the basis for new technological solutions in the field of project management.

Keywords: project management; changes; analytical procedure; multimodal data fusion; machine learning

For citation: Mikhnenko P.A. Analysis of multimodal data in project management: Prospects for using machine learning. *Upravlencheskie nauki = Management Sciences in Russia*. 2023;13(4):71-89. (In Russ.). DOI: 10.26794/2404-022X-2023-13-4-71-89

© Михненко П.А., 2023

ВВЕДЕНИЕ

В ходе реализации проектов часто происходят глубокие изменения их внутренних и внешних факторов, поэтому сегодня нельзя полагаться на заранее определенную методологию управления проектами — необходимы новые подходы, не только предполагающие изменения, но и позволяющие извлекать из них выгоды [1]. Проектные команды вынуждены идентифицировать и анализировать изменения, непрерывно оценивать процессы и обратные связи, поддерживать диалог с заинтересованными сторонами.

Управление проектами сталкивается с вызовами, возникающими не только из-за внешних факторов, но и в результате ошибок и изменений в работе команды. Руководители проектов вынуждены учитывать динамику обратной связи для эффективного управления изменениями [2], при этом ответственность за управление изменениями часто приводит к разногласиям между участниками проекта [3]. Важную роль в процессе управления изменениями играют коммуникации, способствующие взаимодействию между командой проекта и заинтересованными сторонами [4].

В современной теории и практике проектного менеджмента все большее внимание уделяется цифровой трансформации [5]. Внедрение интеллектуальных инструментов способствует цифровизации управления проектами и созданию конкурентных преимуществ для организаций [6]. Использование технологий искусственного интеллекта (ИИ), в частности машинного обучения, повышает эффективность управления проектами, увеличивает производительность и снижает вероятность ошибок при принятии решений [7].

Таким образом, в условиях сложной и динамичной внешней среды процессы управления изменениями проектов (УИП) требуют анализа мультимодальных данных. Для решения этой задачи могут применяться технологии ИИ, в частности — машинное обучение.

НАУЧНАЯ ПРОРАБОТАННОСТЬ ПРОБЛЕМЫ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ Обзор литературных источников

С начала 1950-х гг. методология управления проектами развивалась преимущественно в русле теорий и методов исследования операций, принятия управленческих решений, критического пути

[8], графов решений [9], оценки и анализа программ [10], управления объемом работ [11], критической цепи [12] и других подходов. Сегодня научные публикации охватывают широкий спектр проблем повышения эффективности управления проектами за счет применения математических и инструментальных методов, в том числе в контексте УИП.

В работе [13] приведены способы выбора проектов с использованием методов оптимизации и математического программирования, а также систем поддержки принятия управленческих решений для сокращения фактора субъективности. Исследования процессов УИП подтверждают концептуальную сложность этой деятельности, отличающейся от общих методов управления проектами, особенно в контексте коммуникаций [14]. В связи с этим стоит отметить публикацию [15], в которой изменения проекта оцениваются с точки зрения способности руководителя понимать мотивацию участников и учитывать ее при управлении изменениями. В работе [16] описаны таксономии причин и эффектов изменений проектов, а также способы их использования в процессе управления изменениями. Авторы публикации [17] показывают, что положительный эффект от качественного планирования проекта может быть снижен отрицательными последствиями изменения его целей, поэтому успех проекта связан с эффективным управлением изменениями.

В работе [18] обсуждается различие между проектами как «процессом изменений» и проектами как «содержанием изменений»: первый подход состоит в том, что управление организационными изменениями осуществляется в форме проектов, а второй — в том, что целью и содержанием изменений является создание проектной формы управления деятельностью организации. Цитируемые авторы обращают внимание на парадокс: организационные изменения, направленные на внедрение проектной формы управления, часто осуществляются не в форме проекта.

Изменения в ИТ-проектах являются главным источником риска, влияющим на время, стоимость разработки и качество программного обеспечения, повысить которое и успешно завершить проект позволяет эффективное УИП [19], состоящее в идентификации и управлении многочисленными источниками неопределенности [20]. Источниками наиболее строгих требований, обуславливающих уникальные изменения проектов, являются кли-

енты, конечные пользователи и государственные органы [21].

Управление проектами с нечеткими целями или целями, которые не могут быть определены изначально (например, исследовательскими проектами), осуществляется на основе экстремального подхода, в рамках которого команда и заказчик постоянно обучаются и делают «открытия», что позволяет им на каждом этапе корректировать границы проекта [1].

Сегодня важной проблемой управления проектами в целом и их изменениями в частности является обработка больших объемов мультимодальной информации и использование интеллектуальных цифровых систем для принятия решений в условиях неопределенности. В работе [22] описывается метод компьютерной поддержки принятия решений и непрерывного улучшения бизнес-процессов компании в контексте УИП. Авторы статьи [23] предлагают модель нечеткой продукционной системы для управления задачами ИТ-проекта с использованием естественно-языковых категорий для принятия решений в условиях неопределенности и изменений. Применение аппарата нечеткой логики позволяет руководителям проектов работать с качественными категориями переменных, что способствует повышению качества решений.

Большинство современных публикаций по теме исследования фокусируется на разработке систем и процедур, использующих технологии машинного обучения. Примечательно, что впервые искусственный интеллект применительно к управлению проектами был упомянут в 1987 г. в статье [24], где отмечалось, что программное обеспечение на основе ИИ может помочь руководителям фиксировать свой опыт и делиться им с другими участниками проекта.

Современные авторы рассматривают области применения визуальной аналитики в гибком управлении ИТ-проектами [25], подчеркивают важность ситуационных советующих систем для управления сложными технологическими инвестиционными проектами [26], исследуют применение нечеткой логики и нейронных сетей в интеллектуальных информационных системах управления проектами [27], обсуждают перспективы использования искусственных нейронных сетей и метода когнитивной визуализации для управления портфелями проектов [28], указывают на возможности применения машинного обучения в управлении инновацион-

ными проектами, отмечая при этом ограниченную применимость данного метода — из-за необходимости доступа к большим объемам информации о предыдущих решениях для обучения модели [29].

Постановка задачи исследования

Как показывает обзор литературных источников, наиболее перспективными задачами в управлении проектами являются повышение эффективности УИП и применение в проектной практике технологий машинного обучения.

Объектом исследования в данной статье является процесс управления проектами. Предметом — анализ мультимодальных данных¹ в управлении УИП.

Гипотеза исследования состоит в том, что аналитические процедуры, выполняемые в УИП, требуют решения задачи слияния и анализа массивов мультимодальных данных.

Мультимодальное слияние — это технология интеллектуального объединения данных разной природы, результатом чего является синтез новой информации о производственных, управленческих, экономических и других процессах и явлениях, а также повышение точности анализа и принятия решений. Например, для анализа организационной структуры, корпоративной культуры и кадрового потенциала компании могут использоваться: тексты (должностные инструкции, штатное расписание, приказы и распоряжения); изображения (схемы организационной структуры и бизнес-процессов, фотографии рабочих мест); видео- и аудиофайлы (интервью с сотрудниками, видеопротоколы совещаний); числовые данные (численность сотрудников и заработная плата); информация из СМИ и социальных сетей (профили сотрудников, комментарии). Мультимодальное слияние таких данных позволяет точнее и оперативнее выявлять ошибки в должностных инструкциях, анализировать качество управленческих решений, делать выводы о соответствии компетенций сотрудников должностным обязанностям, прогнозировать структурные изменения, оценивать качество коммуникаций и корпоративной культуры и др.

¹ Термин «мультимодальный» обозначает здесь использование нескольких видов и средств представления информации в рамках одного аналитического контекста. Под мультимодальными данными понимаются данные разной природы и формы представления: текст, звуки, изображения, видео, данные с технических устройств и т.п.

Для решения этих задач применяются нейронные сети, технологии больших данных и машинного обучения.

В соответствии с Национальной стратегией развития искусственного интеллекта в Российской Федерации на период до 2030 года искусственным интеллектом называется «комплекс технологических решений, позволяющий имитировать когнитивные функции человека (включая самообучение и поиск решений без заранее заданного алгоритма) и получать при выполнении конкретных задач результаты, сопоставимые, как минимум, с результатами интеллектуальной деятельности человека»².

К технологиям, основанным на использовании ИИ, относятся: компьютерное зрение, обработка естественного языка, распознавание и синтез речи, интеллектуальная поддержка принятия решений, перспективные методы искусственного интеллекта³.

Под машинным обучением (от англ. Machine learning) в статье понимается научно-практическая дисциплина и комплекс технологий в сфере исследования и разработки алгоритмов и моделей, способных синтезировать новые знания и использовать их для принятия решений. Основным признаком таких алгоритмов является способность обучаться без явно запрограммированных инструкций. Машинное обучение составляет основу многих приложений и технологий, таких как распознавание речи, компьютерное зрение, рекомендательное моделирование, обработка естественного языка и др.⁴

Исследование направлено на выявление содержания аналитических процедур обработки мультимодальных данных в управлении проектами, а также на оценку потенциала машинного обучения в управлении изменениями проектов.

Для достижения этой цели были использованы следующие методы:

² Национальная стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 года. Указ Президента РФ от 10.10.2019 № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации». URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/44731>

³ Приказ Министерства экономического развития Российской Федерации от 29.06.2021 № 392 «Об утверждении критериев определения принадлежности проектов к проектам в сфере искусственного интеллекта». URL: <http://publication.pravo.gov.ru>

⁴ В статье не обсуждаются аспекты глубокого обучения (от англ. Deep Learning) как одного из признаков современных алгоритмов машинного обучения.

1) анализ соответствия современных технологий машинного обучения процессам управления проектами; 2) дескриптивное моделирование процесса УИП; 3) экспертиза перспектив применения технологий машинного обучения в управлении проектами.

МЕТОДЫ

Технологии ИИ, сопоставимые с задачами УИП

Авторы обзора [30] выделяют группы технологий машинного обучения, которые могут быть применены в управлении проектами (табл. 1).

Анализ приведенных методов позволяет предположить, что их использование в УИП создаст новые подходы к обработке и анализу данных, автоматизации процессов принятия решений, прогнозированию и оптимизации. Однако для полноценного применения этих методов требуются более глубокие исследования, а также их адаптация к данной предметной области. В табл. 2 показаны методы машинного обучения, которые могут быть задействованы в УИП.

Сегодня в управлении проектами используется множество технологических решений, основанных на ИИ. Их можно условно разделить на два класса:

1. Виртуальные помощники руководителя проекта (интеллектуальные ассистенты), которые помогают ему при выполнении различных задач и принятии решений.

2. ИИ-технологии, интегрированные в системы управления проектами для автоматизации процессов, анализа данных, прогнозирования событий и т.п.

Оба класса имеют потенциал для развития, однако для выбора и внедрения решения необходимо учитывать специфику проектной среды, потребности организации и доступность технологий (табл. 3).

Применение технологий ИИ в УИП открывает возможности для повышения эффективности управленческих решений, что требует проведения междисциплинарных исследований, разработки методологий и адаптации технологий ИИ к особенностям УИП.

В табл. 4 приведены задачи по типам технологий ИИ, которые сопоставимы по назначению и содержанию с задачами УИП.

ДЕСКРИПТИВНАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА УИП

Как уже отмечалось, УИП требует привлечения методов мультимодальной аналитики на основе

Таблица 1 / Table 1

Методы машинного обучения в управлении проектами / Machine learning methods in project management

Обозначение / Designation	Метод машинного обучения / Machine learning method	Англоязычный термин / English term
ANN	Искусственные нейронные сети	Artificial neural networks
HONNS	Нейронные сети высокого порядка	Neural networks of high order
HNN	Нейронная сеть Хопфилда	Hopfield neural network
FL	Нечеткая логика	Fuzzy logic
DCM	Нечеткие когнитивные карты	Fuzzy cognitive maps
GA	Генетические алгоритмы	Genetic algorithms
FMGA	Быстродействующий генетический алгоритм	Fast-messy genetic algorithm
SVM	Метод опорных векторов	Support vector machine
BT	Бутстрэп-анализ вероятностных распределений	Bootstrap technique
GB	Повышение градиента	Gradient Boosting
RF	«Случайный лес»	Random Forest
KGM	Метод кластеризации k-средних	K-grouping means
FNN	Нейро-нечеткая гибридизация	Neuro-fuzzy
NNAB	Гибрид нейронной сети и бутстрэп-анализа	Neural network-adding bootstrap
NNAR	Нейронные сети с адаптивным подкреплением	Neural networks of adaptive reinforcement
FRBS	Системы на нечетких правилах	Fuzzy Rule-Based Systems
GFS	Генетические нечеткие системы	Genetic Fuzzy Systems
EFSIM	Модель эволюционного нечеткого вывода и метод опорных векторов	Evolutionary fuzzy support vector machines inference model
EFNIM	Эволюционная нечеткая нейронная модель	Evolutionary fuzzy neural inference model
EFHNN	Эволюционная диффузная гибридная нейронная сеть	Evolutionary diffuse hybrid neuronal network

Источник / Source: составлено автором на основе [30] / compiled by the author based on [30].

извлечения, слияния и анализа данных, их то-нальности, мультимодального глубокого обучения и др.

Извлечение и анализ данных (от англ. Data mining) — это процесс идентификации значимых паттернов, скрытых связей, закономерностей и трендов в больших массивах данных, которые могут использоваться для прогнозирования, выявления возможностей и принятия решений.

Под слиянием данных понимается процесс их объединения и комбинирования путем сопоставления, устранения дубликатов, обработки пропущенных значений, агрегации и других техник,

который помогает выявлять скрытые взаимосвязи, распознавать тренды, создавать новую информацию и разрабатывать более надежные модели и прогнозы.

Слияние данных из разных источников, известное как мультиресурсное (от англ. Multi-source data fusion) представляет собой комбинирование информации из различных источников. Мультимодальное слияние данных (от англ. Multi-modal data fusion) — это объединение данных разных модальностей (текст, изображения, звук, видео и т.д.) для получения более полной или точной картины событий. Применение этого термина оправдано,

Таблица 2 / Table 2

**Методы машинного обучения в управлении изменениями проектов /
Machine learning methods in project change management**

Процесс управления проектом / Project management process	Англоязычный термин / English term	Метод машинного обучения / Machine learning method
Планирование	Planning	ANN, GA
Анализ данных	Project data analytics, Random Forest, Gradient Boosting	EFNIM, BT, RF, GB
Моделирование и управление рисками	Project risk modeling, mitigation and management	GA, SVM
Устранение отклонений от плана проекта	Project mitigation and recovery plans	ANN
Моделирование и анализ результатов выполнения проекта	Project execution discovery and modeling	GA, EFNIM
Прогнозирование в реальном времени	Real time predictive analytics	GA, EFHNN
Создание автоматизированных отчетов	Automated report generation	GA
Управление стейкхолдерами	Stakeholder Management	EFSIM

Источник / Source: составлено автором / compiled by the author.

когда необходимо подчеркнуть значимость слияния данных различной природы и требуется привлечение методов обработки и анализа для решения технических проблем.

Анализ тональностей (от англ. Sentiment Analysis) — это определение эмоциональной окраски текста (положительной, отрицательной, нейтральной) с помощью обработки естественного языка и машинного обучения. Используется для анализа отзывов, социальных медиа, новостей и принятия обоснованных решений.

Мультимодальное глубокое обучение (от англ. Multimodal Deep Learning) — это применение нейронных сетей с множеством входных слоев, каждый из которых обрабатывает различные типы данных, что позволяет анализировать и извлекать семантические связи и зависимости между различными модальностями, повышая качество и точность анализа.

В общем случае УИП (рис. 1) включает в себя ряд аналитических процедур:

A1 — идентификации актуальных факторов внешней и внутренней среды, релевантных цели и области проекта;

A2 — прогнозирования изменений результатов проекта;

A3 — планирования изменений проекта;

A4 — распределения ответственности и координации действий участников проекта в ходе УИП;

A5 — оценивания оперативных результатов изменений проекта;

A6 — оценивания и интерпретации текущих результатов реализации проекта;

A7 — определения и актуализации целей и области проекта.

В данном исследовании под аналитической процедурой понимается комплекс действий, направленных на получение новой информации за счет слияния и интеллектуальной обработки массивов разнородных данных, преимущественно в реальном времени управления проектом.

Совокупность аналитических процедур и процессов образуют три взаимосвязанных контура:

1. Анализа внешней и внутренней среды проекта.
2. Оценки результатов исполнения проекта.
3. Управления изменениями проекта.

Динамический характер модели указывает на непрерывность процесса УИП, что отражает наиболее общее понимание роли и содержания УИП в управлении проектом — она наиболее точно соответствует гибкому (от англ. Agile Project Management Approaches) и экстремальному (от англ. Extreme Project Management Approaches) подходам. Вместе с тем модель не противоречит традиционному подходу (от англ. Traditional Project Management Approaches) на основе инкрементной (от англ. Incremental PMLC model) модели управления жиз-

Таблица 3 / Table 3

**Технологические решения на основе ИИ в управлении проектами /
AI-based technological solutions in project management**

Технологические решения / Technological solutions	Сфера применения в УП / Scope of application in project management
PMOtto.ai	Распознавание речи и текста и преобразование их в команды для информационных систем. Формирование рекомендаций по УП
Lili.ai	Оптимизация бюджета проекта и повышение эффективности УП
Autodesk Construction IQ	Идентификация работ с высокой вероятностью сдвига сроков и других рисков строительных проектов
Битрикс24	Создание новых задач проекта, назначение или замена исполнителей, актуализация статуса исполнения задач и др.
Smart Projects	Поддержка полного цикла УП
Aurora	Создание оптимальных календарно-сетевых графиков крупных и сложных проектов
Liquid Planner	Автоматическая корректировка ожидаемых дат завершения задач проекта
Infosys Nia Contracts Analysis	Управление контрактами, ускорение проверки контрактов и снижение рисков их заключения
PsodaVision	Синхронизация физических и цифровых канбан-досок на основе технологии машинного зрения
Cloverleaf	Формирование и развитие команды проекта на основе сопоставления личных качеств и навыков участников
PineStem	Формирование команды проекта на основе имеющегося опыта работы в ИТ-проектах
TARA.ai	Формирование вариантов реализации проекта в рамках бюджета, помощь с подбором членов команды проекта

Источник / Source: составлено автором / compiled by the author.

ненным циклом проекта, и в их рамках описывает процессы инициирования и реализации запросов на изменения [1].

На процесс исполнения проекта влияют изменяющиеся факторы внешней и внутренней среды (AF). Данные об изменениях поступают из информационных систем, финансовой и годовой отчетности, сигнальных устройств, деловых публикаций, репортажей в СМИ, каналов в социальных сетях и т.п. [31, 32], а их вероятности и силы влияния характеризуются лингвистическими и количественными оценками.

Релевантность факторов внешней и внутренней среды (RF) оценивается, исходя из сопоставления массива актуальных факторов (AF) и информации о текущем понимании цели и области назначения проекта (PSC). Массивы RF и PSC представлены данными разной модальности и размерности, что предполагает осуществление в ходе аналитиче-

ской процедуры A1 их мультимодального слияния и синтеза новой информации.

Прогнозирование изменений результатов проекта (A2) осуществляется на основе сопоставления массивов данных RF и APR; второй описывается лингвистическими и количественными переменными, характеризующими факт выполнения очередного этапа проекта или приобретения релизом продукта новых потребительских свойств. Особенность аналитической процедуры A2 также обусловлена различием содержания и размерности входных массивов данных и необходимостью осуществления их мультимодального слияния и синтеза новой информации.

Процесс планирования изменений проекта в данном исследовании представлен также аналитической процедурой (A3), поскольку он предполагает мультимодальное слияние массивов разнородных данных CPR и ACR; второй служит оценкой опе-

Таблица 4 / Table 4

Технологии ИИ, сопоставимые с задачами УИП / AI-Technologies comparable to the tasks of the PCM

Категория технологий ИИ / AI Technology Category	Технологическая задача / Technological task	Код задачи / Task code
Компьютерное зрение	Идентификация объектов в сложной окружающей среде	K31
	Распознавание образов с учетом контекста и сигналов из нескольких источников (слияние данных)	K32
	Событийный анализ с использованием систем видеоаналитики	K33
	Мониторинг хода производственного или организационного процесса с использованием систем видеоаналитики	K34
	Анализ данных, получаемых с космических аппаратов	K35
Обработка естественного языка	Классификация и кластеризация отдельных высказываний, коротких и длинных текстов	ОЯ1
	Поиск и классификация различных типов сущностей в тексте, включая названия организаций и имена персоналий	ОЯ2
	Извлечение фактов из текстов и их систематизация, в том числе автоматическое обучение онтологий	ОЯ3
	Поиск текстовых документов по аналогии или по смыслу, поиск трендов и будущих ориентиров научно-технологического развития, поиск скрытого содержания и смыслов	ОЯ4
	Выделение наиболее важной информации из контекста и синтез уникальных текстов	ОЯ5
Распознавание и синтез речи	Создание мультизадачных разговорных ассистентов	PC1
	Распознавание звуков и речи в сложных условиях	PC2
	Распознавание сложных смысловых конструкций и сленга в речи для использования в системах поиска скрытого содержания и смысла, в том числе для улучшения текущих решений	PC3
Поддержка принятия решений	Предиктивный и прескриптивный анализ, позволяющий предсказывать развитие ситуации на основе анализа данных и автоматизировать принятие решений в режиме реального времени	ПР1
	Подготовка решений на основе открытых источников данных и неструктурированной информации, в том числе для адаптивного динамического управления сложными объектами	ПР2
	Интеллектуальное имитационное моделирование поведения участников рынка товаров, работ и услуг	ПР3
	Обеспечение поддержки принятия решений на основе многолетних данных, в том числе для расчета нормирования в отраслях экономики	ПР4
	Управление оборудованием и производственными системами на основе данных измерительных систем и исторических данных о поведении систем в различных ситуациях	ПР5
	Сверхкраткосрочное прогнозирование, анализ потока данных в режиме реального времени и прогнозирование нештатных ситуаций	ПР6
	Выявление аномалий производственных процессов и поиск их причин	ПР7

Источник / Source: составлено автором / compiled by the author.

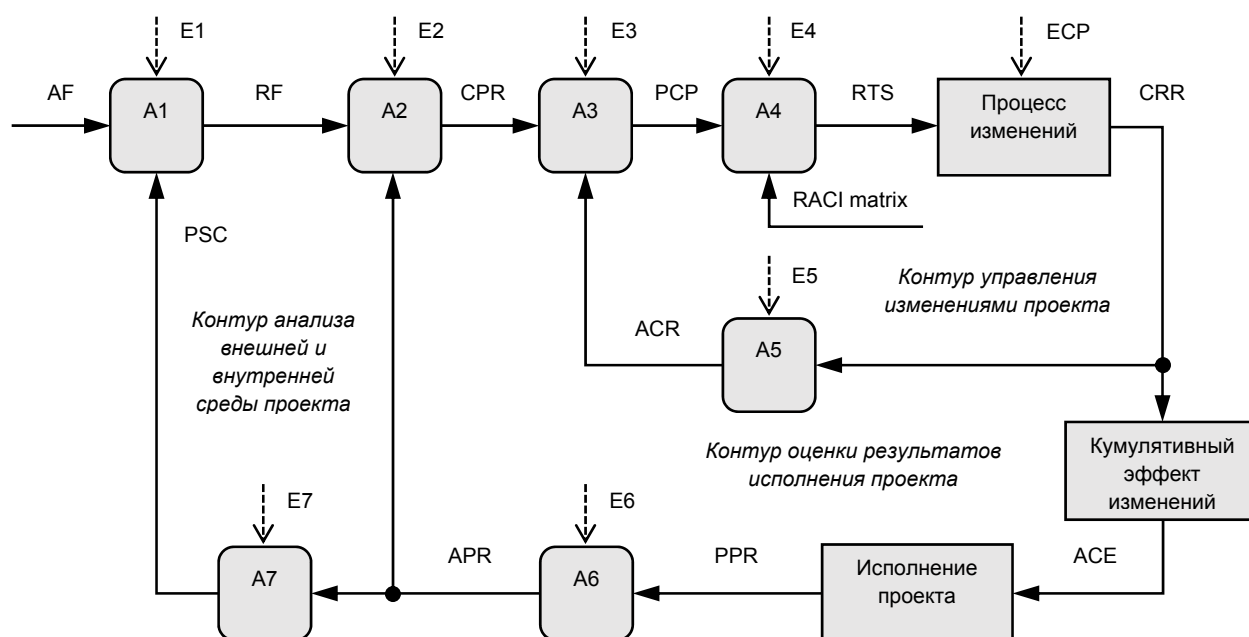


Рис. 1 / Fig 1. Аналитические процедуры управления изменениями проекта /
Analytical procedures for project change management

Источник / Source: составлено автором / compiled by the author.

Примечание / Note: AF – актуальные факторы внешней и внутренней среды проекта / AF – actual factors of the external and internal environment of the project;

RF – релевантные факторы внешней и внутренней среды проекта / RF – relevant factors;

CPR – прогноз изменений результата проекта / CPR – change prediction

PCP – динамический план изменений проекта / PCP – project change plan;

RACI matrix – текущая структура распределения ответственности участников проекта / RACI matrix;

RTS – обновленная структура ответственности и координации участников проекта / RTS – revised project team structure;

CRR – оперативные результаты изменений проекта / CRR – changes-related results;

ACR – оценка оперативных результатов изменений проекта / ACR – assessment of changes-related results;

ACE – свойства и характеристики проекта, приобретенные в результате изменений / ACE – accumulated change effect;

PPR – текущие результаты реализации проекта (производительность проекта) / PPR project performance results;

APR – оценка текущих результатов реализации проекта / APR – assessment of project performance results

PSC – цели и область назначения проекта – масштаб, границы, функциональная спецификация, иерархия работ и условия исполнения проекта / PSC – project scope;

E1...E7 – потенциальные ошибки выполнения аналитических процедур, обусловленные несовершенством алгоритмов сопоставления массивов данных разной природы и размерности / E1...E7 – errors;

ECP – потенциальные ошибки осуществления изменений проекта / ECP – error of change process.

ративных результатов изменений проекта, осуществленных на предыдущем цикле изменений, полученных по итогам выполнения отдельных операций и мероприятий, которые не оказывают существенного влияния на текущие результаты.

Процесс распределения ответственности и координации действий участников проекта в ходе УИП завершается организационно-административной процедурой принятия управленческого решения. Однако необходимость проведения анализа позволяет отнести ее к аналитическим. Процедура A4 предполагает сопоставление содержания динамического плана изменений проекта (PCP) с текущей структурой распределения ответственности участников проекта (RACI matrix), обоснование необхо-

димости привлечения релевантных механизмов координации и мотивации, а также актуализации самой структуры.

Аналитическая процедура оценивания оперативных результатов изменений проекта (A5) состоит в мультимодальном слиянии данных, полученных из разных источников, для корректной интерпретации их соответствия динамическому плану изменений.

Под кумулятивным эффектом в широком смысле понимается накопление и получение совокупного результата всех изменений проекта (как позитивных, так и негативных), внесенных в него на протяжении жизненного цикла. Кумуляция результатов изменений проекта оказывает существенное влияние на его ключевые показатели: стоимость,

Таблица 5 / Table 5

Содержание аналитических процедур / Content of analytical procedures

Аналитическая процедура / Analytical procedure	Массив входных данных / Input array	Возможный источник и тип данных / Possible data source and type	Синтезируемая информация / Synthesized information
A1 — идентификация актуальных факторов внешней и внутренней среды, релевантных цели и области проекта	AF — актуальные факторы внешней и внутренней среды проекта	Отчеты аналитических агентств: числовые, тексты, изображения, графики. Законы и распоряжения органов исполнительной власти. Статистические данные: числовые, тексты, графики, видео. Новостные издания и социальные медиа: тексты, изображения, графики, аудио, видео. Результаты анализа рынка и конкурентов: числовые, текст, изображения, графики, видео. Информация о прошлых проектах и опыте, накопленном командой проекта: текст, коммуникации	RF — актуальные факторы внешней и внутренней среды, релевантные целям и области назначения проекта
	PSC — цели и область назначения проекта	Техническое задание. Устав и другие документы проекта: числовые, тексты. Интервью с заинтересованными сторонами. Стратегические документы компании. Прошлый опыт проектов	
A2 — прогнозирование изменений результатов проекта	RF — актуальные факторы внешней и внутренней среды, релевантные целям и области назначения проекта	Заявления заинтересованных сторон: официальные документы, тексты, коммуникации, социальные медиа, видео. Выводы руководителя и участников проекта: официальные документы, числовые, коммуникации участников	CPR — прогноз изменений результата проекта
	APR — оценка текущих результатов реализации проекта	Документы проекта: числовые, тексты, графики, коммуникации участников. Сигналы устройств и датчиков, видеосъемка	
A3 — планирование изменений проекта	CPR — прогноз изменений результата проекта	Документы проекта: числовые, тексты, графики, коммуникации участников	PCP — динамический план изменений проекта
	ACR — оценка оперативных результатов изменений проекта	Данные из информационных систем: числовые, графики. Коммуникации участников. Видеозаписи процессов управления изменениями	
A4 — распределение ответственности и координация действий участников проекта в ходе УИП	PCP — динамический план изменений проекта	Документы проекта: числовые, тексты, графики, коммуникации участников. Решения руководителя проекта: текст, коммуникации	RTS — обновленная структура ответственности и координации участников проекта
	RACI matrix — текущая структура распределения ответственности участников проекта	Экспертные оценки: числовые, текст. Мнения участников проекта: текст, коммуникации, аудио, видео. Документы проекта: матрица ответственности участников проекта, данные о фактическом составе команды проекта. Результаты оценки персональных компетенций и психологической совместимости членов команды проекта	

Окончание таблицы 5 / Table 5 (continued)

Аналитическая процедура / Analytical procedure	Массив входных данных / Input array	Возможный источник и тип данных / Possible data source and type	Синтезируемая информация / Synthesized information
A5 — оценивание оперативных результатов изменений проекта	CRR — оперативные результаты изменений проекта	Документы проекта: числовые, тексты, графики, коммуникации участников. Видеозаписи процессов управления изменениями. Экспертные оценки: числовые, текст. Мнения участников проекта: текст, коммуникации, аудио, видео. Данные устройств и датчиков. Экспертные оценки: числовые, текст	ACR — оценка оперативных результатов изменений проекта
A6 — оценивание и интерпретации текущих результатов реализации проекта	PPR — текущие результаты реализации проекта	Документы проекта: числовые, тексты, графики, коммуникации участников. Видеозаписи процессов управления проектом. Мнения участников проекта: текст, коммуникации, аудио, видео. Данные устройств и датчиков. Экспертные оценки: числовые, текст	APR — оценка текущих результатов реализации проекта
A7 — определение и актуализация целей и области проекта	APR — оценка текущих результатов реализации проекта	Документы проекта: числовые, тексты, графики, коммуникации участников. Мнения участников проекта: текст, коммуникации, аудио, видео. Экспертные оценки: числовые, текст	PSC — цели и область назначения проекта

Источник / Source: составлено автором / compiled by the author.

сроки, качество, риски и удовлетворенность заинтересованных сторон.

Аналитическая процедура оценивания и интерпретации текущих результатов реализации проекта (A6) — это системное и структурированное изучение его текущего состояния для определения того, насколько успешно он реализуется. В общем случае A6 включает в себя:

1. Оценку текущих результатов проекта — анализ данных, полученных от членов команды проекта и других заинтересованных сторон, для определения его текущего статуса.
2. Идентификацию проблем и рисков — выявление тех из них, которые могут повлиять на реализацию проекта.
3. Оценку производительности — ее измерение и сравнение фактических показателей с плановыми.
4. Разработку рекомендаций — определение способов повышения производительности и формирование предложений по улучшению управления проектом.
5. Контроль и обратную связь — установление механизмов контроля за выполнением проек-

та и обеспечение обратной связи для улучшения процесса его реализации.

Важность аналитической процедуры определения и актуализации целей и области проекта (A7) обусловлена необходимостью внесения в него корректировок по части описания масштаба, границ, назначения, функциональной спецификации, иерархии работ и условий его исполнения в результате внесенных изменений [1].

В общем случае выполнение всех описанных аналитических процедур сопровождается ошибками, которые на рис. 1 обозначены переменными E1...E7. Переменная ECP указывает на наличие потенциальных ошибок при осуществлении изменений проекта, предусмотренных динамическим планом.

В табл. 5 раскрыто содержание аналитических процедур УИП и указаны некоторые возможные источники и типы данных.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Экспертиза перспектив использования технологий ИИ в УИП

Для оценивания потенциала использования технологий ИИ в УИП были организованы два

Таблица 6 / Table 6

Профессиональный статус экспертов / Professional status of experts

Профессиональный статус / Professional status	Количество, чел. / Number, people
Руководитель проектов	6
Член команды проекта	15
Разработчик программного обеспечения	8
Руководитель среднего звена	6
Преподаватель профильных дисциплин	7

Источник / Source: составлено автором / compiled by the author.

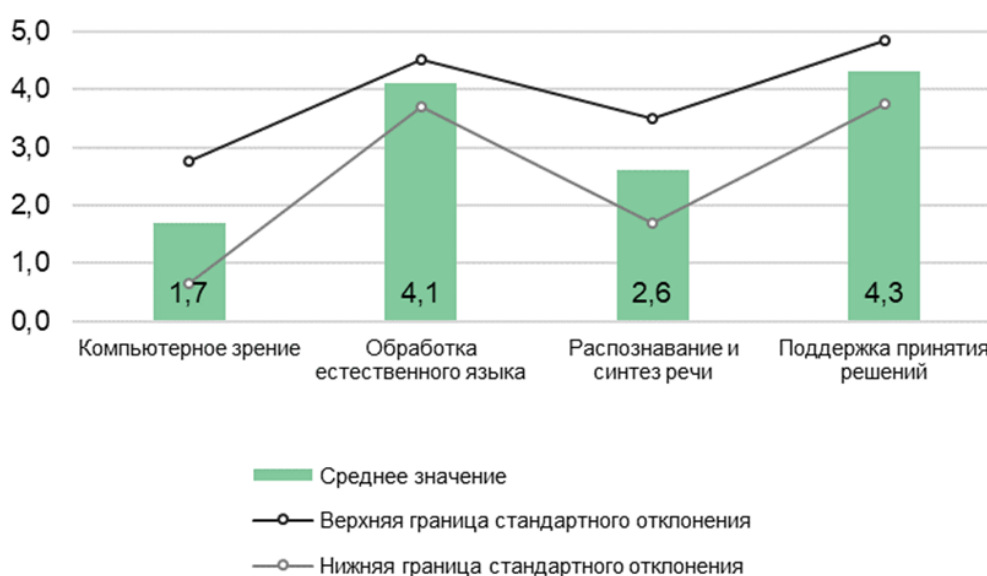


Рис. 2 / Fig. 2. Экспертные оценки перспектив использования технологий ИИ в УИП / Expert assessments of the prospects for the use of AI technologies in the PCM

Источник / Source: составлено автором / compiled by the author.

тура онлайн-экспертизы, в которой приняли участие 42 эксперта⁵. В первом туре им было предложено оценить перспективность внедрения до 2030 г. и использования технологий ИИ в УИП по шкале индивидуальных оценок от 0 до 5, где 0 означает, что перспектива отсутствует, а 5 — что она максимально вероятна. Профессиональный статус экспертов приведен в табл. 6.

В результате первого тура экспертизы были получены оценки, позволяющие обосновать перспективность использования технологий ИИ в УИП.

⁵ Во втором туре приняли участие 39 экспертов.

Диаграммы оценок указывают на их неоднородность по категориям технологий (рис. 2).

Наиболее высокими и максимально консолидированными оказались оценки перспектив использования в УИП технологий обработки естественного языка (ОЯ) и поддержки принятия решений (ПР). Максимальная вариативность мнений при минимальном среднем выявлена при оценке перспектив использования технологии компьютерного зрения (КЗ).

Поскольку по итогам первого тура наиболее многообещающими были признаны технологии ОЯ и ПР, во втором туре эксперты определяли степень релевантности технологических задач в этих категориях аналитическим процедурам УИП (рис. 3).

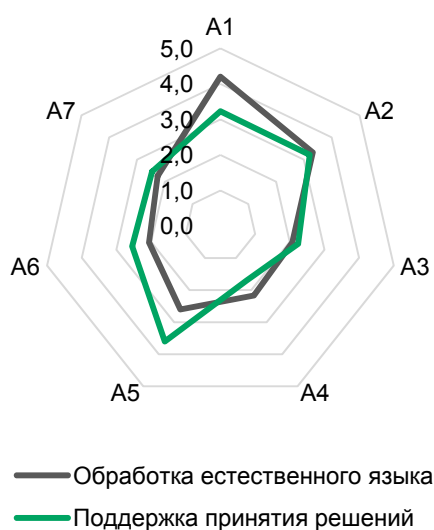


Рис. 3 / Fig. 3. Диаграммы распределения средних оценок релевантности двух категорий технологий ИИ аналитическим процедурам УИП / Diagrams of the distribution of average estimates of the relevance of the two categories of technologies and analytical procedures of the PCM

Источник / Source: составлено автором / compiled by the author.

Соотношение диаграмм указывает на возможность рациональной комбинации технологий ИИ для повышения эффективности аналитических процедур УИП. Применение технологий обработки естественного языка наиболее перспективно в отношении аналитической процедуры А1, а технологии поддержки принятия решений релевантны процедуре А5.

В категории «Обработка естественного языка» максимальные оценки получены для технологических задач ОЯ2 — поиск и классификация различных типов сущностей в тексте, включая названия организаций и имена персоналий; ОЯ3 — извлечение фактов из текстов и их систематизация, в том числе автоматическое обучение онтологий; ОЯ5 — выделение наиболее важной информации из контекста и синтез уникальных текстов (рис. 4).

В категории «Поддержка принятия решений» наиболее высоко были оценены технологические задачи ПР3 — интеллектуальное имитационное моделирование поведения участников рынка товаров, работ и услуг; ПР4 — обеспечение поддержки принятия решений на основе многолетних данных, в том числе для расчета нормирования в отраслях экономики; ПР6 — сверхкраткосрочное прогнозирование, анализ потока данных в режиме реального

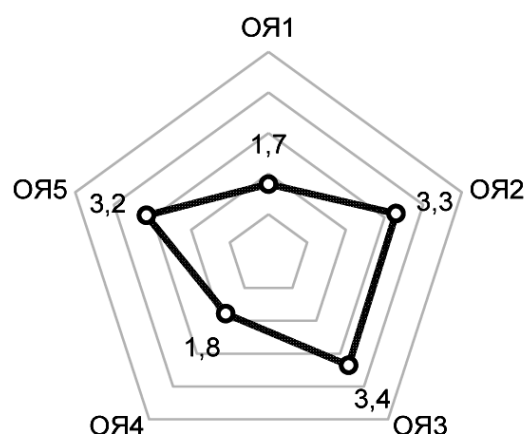


Рис. 4 / Fig. 4. Диаграмма распределения средних оценок релевантности технологических задач в категории «Обработка естественного языка» / Diagram of the distribution of average estimates of the relevance of technological tasks in the category "Natural language processing"

Источник / Source: составлено автором / compiled by the author.

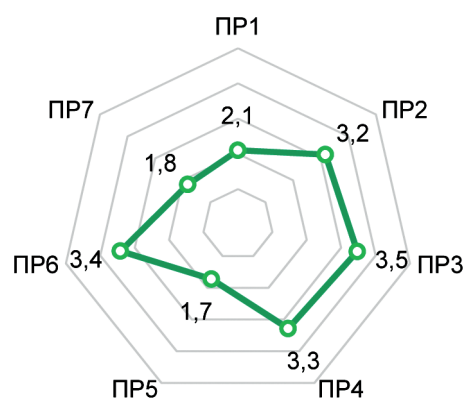


Рис. 5 / Fig. 5. Диаграмма распределения средних оценок релевантности технологических задач в категории «Поддержка принятия решений» / Diagram of the distribution of average estimates of the relevance of technological tasks in the category of "Decision support"

Источник / Source: составлено автором / compiled by the author.

времени и прогнозирование нештатных ситуаций (рис. 5).

Сопоставление технологических задач УИП с ИИ-технологиями

Таблица 7 / Table 7

Сопоставление технологических задач, релевантных проблеме УИП, с методами машинного обучения и существующими технологическими решениями в сфере ИИ / Comparison of technological tasks relevant to the problem of PCM with machine learning methods and existing technological solutions in the field of AI

Код / Code	Технологическая задача, релевантная проблеме УИП / Technological task relevant to the problem of UIP	Метод машинного обучения / Machine learning method	Технологическое решение / Technological solution
ОЯ2	Поиск и классификация различных типов сущностей в текстах, включая названия организаций и имена персоналий	ANN, GA, EFNIM, EFHNN	PMOtto.ai, PsodaVision
ОЯ3	Извлечение фактов из текстов и их систематизация, в том числе автоматическое обучение онтологий	ANN, EFNIM, BT	PMOtto.ai, TARA.ai
ОЯ5	Выделение наиболее важной информации из контекста и синтез уникальных текстов	ANN, GA, EFNIM, EFHNN	PMOtto.ai, PsodaVision
ПР3	Интеллектуальное имитационное моделирование поведения участников рынка товаров, работ и услуг	ANN, GA, EFNIM, GA+SVM	PMOtto.ai, Lili.ai
ПР4	Обеспечение поддержки принятия решений на основе многолетних данных, в том числе для расчета нормирования в отраслях экономики	ANN, GA, EFHNN, EFSIM	Lili.ai, Liquid Planner, Cloverleaf, PineStem
ПР6	Сверхкраткосрочное прогнозирование, анализ потока данных в режиме реального времени и прогнозирование нештатных ситуаций	GA, EFHNN	Autodesk Construction IQ, Битрикс24, Liquid Planner, PsodaVision, Cloverleaf

Источник / Source: составлено автором / compiled by the author.

В табл. 7 показан вариант сопоставления технологических задач с методами машинного обучения и существующими технологическими решениями ИИ.

Необходимо отметить, что данное сопоставление является вариативным: во-первых, решение технологических задач не исчерпывается применением указанных методов машинного обучения; во-вторых, некоторые из приведенных решений выходят за рамки выбранных экспертами категорий технологий «Обработка естественного языка» и «Поддержка принятия решений» (например, PsodaVision относится к категории «Компьютерное зрение»).

Тем не менее данные табл. 7 позволяют оценить направления актуализации имеющихся и разработки новых технологических решений для повышения эффективности процессов УИП.

ОБСУЖДЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Важной особенностью аналитических процедур УИП, предполагающих обработку динамиче-

ских массивов мультимодальной информации, является необходимость слияния данных разной природы и размерности, что затрудняет формирование выводов и решений с применением традиционных методов и инструментов анализа.

Перспективным решением этой проблемы является использование технологий ИИ в сфере:

1. Обработки естественного языка:

- поиск и классификация различных типов сущностей в текстах, включая названия организаций и имена персоналий;
- извлечение фактов из текстов и их систематизация, в том числе автоматическое обучение онтологий;
- выделение наиболее важной информации из контекста и синтез уникальных текстов.

2. Поддержки принятия решений:

- интеллектуальное имитационное моделирование поведения участников рынка товаров, работ и услуг;

- обеспечение поддержки принятия решений на основе многолетних данных, в том числе для расчета нормирования в отраслях экономики;
- сверхкраткосрочное прогнозирование, анализ потока данных в режиме реального времени и прогнозирование нештатных ситуаций.

Применение ИИ в перечисленных областях может оказаться наиболее востребованным, однако при его участии могут решаться и другие задачи. Результаты сопоставления позволяют оценить направления развития соответствующих решений и их архитектур в интересах внедрения в процессы УИП. При использовании источников данных требуется учитывать отраслевую специфику, масштабы и сложность проектов.

Важно отметить, что данное исследование не ставит целью доказать универсальность технологий ИИ и их приоритетность в сфере управления проектами по отношению к традиционным подходам. Результаты, полученные автором, позволяют обосновать возможности применения ИИ в УИП в качестве дополнительного инструмента, расширяющего способности команды проекта и повышающего эффективность ее работы.

К основным ограничениям метода можно отнести:

- а) используемый уровень детализации модели и состав аналитических процедур (однако модель допускает описание и других процессов, и аналитических процедур УИП);
- б) вариативность экспертных оценок, обусловленную уровнем компетенций группы.

Использование нейросетей и технологий глубокого машинного обучения в управлении проектами в перспективе может привести к формированию уникальных рисков, учет которых потребует принятия управленческих, правовых и экономических решений и создания соответствующих институтов.

Наиболее активно прогнозируемыми в наши дни рисками являются:

- уменьшение спроса на труд аналитиков, экспертов, консультантов и младший административно-управленческий персонал;
- снижение ответственности членов команды проекта, воспринимающих нейросеть в качестве «черного ящика», формирующего «правильные» рекомендации;
- формирование нейросетью неоптимальных решений (или оптимальных по критериям, не совпадающим с показателями эффективности проекта).

К специфическим рискам использования технологий ИИ в управлении проектами и их изменениями можно отнести:

- а) неточность оценки сроков выполнения проекта при отсутствии у нейросети данных о всех его параметрах (недостаточный объем обучающих данных о длительности задач в разных условиях);
- б) ошибки приоритезации, приводящие к неоптимальному распределению ресурсов (ограниченность методов машинного обучения в понимании сложных взаимозависимостей между задачами);
- в) недооценку или некорректную оценку рисков проекта (неспособность современных алгоритмов ИИ моделировать редкие «хвостовые» события);
- г) неучет «человеческого фактора»: алгоритмы ИИ не способны учитывать все эмоциональные аспекты поведения членов команды проекта (сложность формализации и учета эмоциональных и поведенческих факторов);
- д) отсутствие творческого подхода: технологии ИИ не способны предложить инновационные и творческие решения (специфика текущего уровня развития технологии).

Наиболее очевидными экономическими эффектами могут стать соблюдение плановых сроков исполнения проектов, а также снижение перерасхода ресурсов за счет оптимизации процедур управления изменениями.

Направлениями развития метода являются детализированное описание аналитических процедур УИП и уточнение требований к архитектуре и назначению конкретных технологических решений в сфере ИИ.

Приоритетными задачами дальнейших исследований выступают:

- идентификация и систематизация источников данных о факторах внутренней и внешней среды проектов;
- формирование онтологий признаков ситуаций управления проектами для глубокого обучения нейросетей;
- разработка алгоритмического и программного обеспечения гибридных систем мультимодального слияния и обработки разнородных данных.

Сопоставление дескриптивной модели процесса УИП с результатами экспертизы перспектив использования технологий ИИ в УИП позволяет разработать нормативную модель УИП, что также является одним из перспективных направлений развития данного исследования.

БЛАГОДАРНОСТИ

Статья подготовлена в рамках государственного задания МГТУ им. Н.Э. Баумана в 2023 г. на тему «Поисковые исследования в области создания алгоритмического, программного и аппаратного обеспечения высокопроизводительных гибридных интеллектуальных систем для мультимодального слияния и аналитической обработки разнородных данных о территориально-распределенных объектах промышленной инфраструктуры». Код (шифр) научной темы: FSFN-2023-0006.

ACKNOWLEDGEMENT

The article was prepared within the framework of the state assignment of MSTU. N.E. Bauman in 2023 on the topic “Exploratory research in the field of creating algorithmic, software and hardware for high-performance hybrid intelligent systems for multimodal fusion and analytical processing of heterogeneous data on geographically distributed industrial infrastructure objects.” Scientific topic code: FSFN-2023-0006.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Wysocki R.K. Effective project management: Traditional, agile, extreme. Indianapolis, IN: John Wiley & Sons, Inc.; 2011. 816 p.
2. Ansari R. Dynamic simulation model for project change-management policies: Engineering project case. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2019;145(7):05019008. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001664
3. Ibbs C.W., Chao C. Proactive project change-prediction tool. *Journal of Legal Affairs and Dispute Resolution in Engineering and Construction*. 2015;7(4):04515003. DOI: 10.1061/(ASCE)LA.1943-4170.0000175
4. Butt A., Naaranoja M., Savolainen J. Project change stakeholder communication. *International Journal of Project Management*. 2016;34(8):1579–1595. DOI: 10.1016/j.ijproman.2016.08.010
5. Лукьянова А.В. Тенденции изменений в управлении проектами в условиях цифровизации. *Экономика: вчера, сегодня, завтра*. 2021;11(8–1):198–203. DOI: 10.34670/AR.2021.17.73.025
6. Михайлов А.С. Применение искусственного интеллекта в управлении проектами. *Управление проектами и программами*. 2021;(1):6–12.
7. Шедько Ю.Н., Власенко М.Н., Унижаев Н.В. Стратегическое управление проектами на основе использования искусственного интеллекта. *Экономическая безопасность*. 2021;4(3):629–642. DOI: 10.18334/ecsec.4.3.111949
8. Kelley J.E., Walker M.R., Sayer J.S. The origins of PCM: A personal history. *PM Network*. 1989;3(2):7–22. URL: <https://www.pmi.org/learning/library/origins-cpm-personal-history-3762>
9. Magee J.F. Decision trees for decision making. *Harvard Business Review*. 1964;(July):1–12. URL: <https://hbr.org/1964/07/decision-trees-for-decision-making>
10. Malcolm D.G., Roseboom J.H., Clark C.E., Fazar W. Application of a technique for research and development program evaluation. *Operations Research*. 1959;7(5):646–669. DOI: 10.1287/opre.7.5.646
11. Fleming Q.W., Koppelman J.M. Earned value project management. 4th ed. Newtown Square, PA: Project Management Institute; 2010. 232 p.
12. Goldratt E.M. Critical chain. Great Barrington, MA: The North River Press; 1997. 246 p.
13. Шаповалов А.В., Преображенский А.П., Чопоров О.Н. Анализ подходов, используемых для управления проектами в организациях. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2019;7(1):418–429. DOI: 10.26102/2310-6018/2019.24.1.038
14. Lehmann V. Connecting changes to projects using a historical perspective: Towards some new canvases for researchers. *International Journal of Project Management*. 2010;28(4):328–338. DOI: 10.1016/j.ijproman.2010.01.011
15. Takahashi Y., Yajima H., Dan T., Murata T. Research of motivation management method for project members at dynamic change of project. *IEEE Transactions on Electronics, Information and Systems*. 2016;136(8):1246–1252.
16. Sun M., Meng X. Taxonomy for change causes and effects in construction projects. *International Journal of Project Management*. 2009;27(6):560–572. DOI: 10.1016/j.ijproman.2008.10.005

17. Dvir D., Lechler T. Plans are nothing, changing plans is everything: The impact of changes on project success. *Research Policy*. 2004;33(1):1–15. DOI: 10.1016/j.respol.2003.04.001
18. Winch G., Meunier M.-Ch., Head J., Russ K. Projects as the content and process of change: The case of the health and safety laboratory. *International Journal of Project Management*. 2012;30(2):141–152. DOI: 10.1016/j.ijproman.2011.06.005
19. Hu E., Liu Y. IT project change management. In: Proc. Int. symp. on computer science and computational technology — SCSCCT 2008 (Shanghai, December 20–22, 2008). Piscataway, NJ: IEEE; 2008:417–420. DOI: 10.1109/ISCSCCT.2008.224
20. Haskins T. C. Uncertainty, change management the application to risk & safety for infrastructure projects how it happens in Australia. In: Proc. 4th IET Int. conf. on systems safety 2009 (Incorporating the SaRS annual conference). (London, October 26–28, 2009). Piscataway, NJ: IEEE; 2009. DOI: 10.1049/cp.2009.1574
21. Karlsen J. T. Project stakeholder management. *Engineering Management Journal*. 2002;14(4):19–24. DOI: 10.1080/10429247.2002.11415180
22. Karvonen S. Computer supported changes in project management. *International Journal of Production Economics*. 1998;54(2):163–171. DOI: 10.1016/S 0925–5273(97)80441–0
23. Диязитдинова А.Р., Лиманова Н.И. Использование нечетко-множественного подхода при управлении заданиями ИТ-проекта. *Программные продукты и системы*. 2019;(1):5–11.
24. Hosley W. N. The application of artificial intelligence software to project management. *Project Management Journal*. 1987;18(3):73–75.
25. Дроговоз П.А., Коренькова Д.А. Современный инструментарий гибкого управления ИТ-проектами и перспективы его совершенствования с использованием технологий искусственного интеллекта. *Экономика и предпринимательство*. 2019;(10):829–833.
26. Мелехин В.Б., Айгунов Т.Г. Нечеткая модель представления знаний в ситуационной советующей под-системе управления проектами. *Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика*. 2020;(6):40–45. DOI: 10.25791/pribor.06.2020.1185
27. Юсуфова О.М., Неврединов А.Р. Интеллектуальные системы на основе нечётких вычислений и нейронных сетей в управлении проектами. *Экономика и предпринимательство*. 2019;(8):828–833.
28. Дроговоз П.А., Шиболденков В.А., Коренькова Д.А. Подход к созданию гибридной рекомендательной системы для поддержки принятия решений по управлению проектами на основе нейросетевого картирования и когнитивной визуализации показателей освоенного объема. *Экономика и предпринимательство*. 2019;(9):1212–1217.
29. Культин Н.Б. Искусственный интеллект в управлении инновационными проектами. *Инновации*. 2019;(12):99–103. DOI: 10.26310/2071–3010.2020.254.12.014
30. Gil Ruiz J., Martínez Torres J., González Crespo R. The application of artificial intelligence in project management research: A review. *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*. 2020;6(6):54–66. DOI: 10.9781/ijimai.2020.12.003
31. Ширяев И.М., Курышева А.А., Вольчик В.В. Нарративный институциональный анализ и российская инновационная система. *Journal of Institutional Studies*. 2021;13(3):81–101. DOI: 10.17835/2076–6297.2021.13.3.081–101
32. Федорова Е.А., Пыльцин И.В., Ковальчук Ю.А., Дроговоз П.А. Новости и социальные сети российских компаний: степень влияния на рынок ценных бумаг. *Журнал Новой экономической ассоциации*. 2022;(1):32–52. DOI: 10.31737/2221–2264–2022–53–1–2

REFERENCES

1. Wysocki R. K. Effective project management: Traditional, agile, extreme. Indianapolis, IN: John Wiley & Sons, Inc.; 2011. 816 p.
2. Ansari R. Dynamic simulation model for project change-management policies: Engineering project case. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2019;145(7):05019008. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943–7862.0001664

3. Ibbs C.W., Chao C. Proactive project change-prediction tool. *Journal of Legal Affairs and Dispute Resolution in Engineering and Construction*. 2015;7(4):04515003. DOI: 10.1061/(ASCE)LA.1943-4170.0000175
4. Butt A., Naaranoja M., Savolainen J. Project change stakeholder communication. *International Journal of Project Management*. 2016;34(8):1579–1595. DOI: 10.1016/j.ijproman.2016.08.010
5. Luk'yanova A.V. Trends of changes in project management in the context of digitalization. *Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra = Economics: Yesterday, Today and Tomorrow*. 2021;11(8–1):198–203. (In Russ.). DOI: 10.34670/AR.2021.17.73.025
6. Mikhailov A. S. Application of artificial intelligence in project management. *Upravlenie proektami i programmami = The Project Management Journal*. 2021;(1):6–12. (In Russ.).
7. Shedko Yu.N., Vlasenko M.N., Humiliaev N.V. Strategic project management based on artificial intelligence. *Ekonomicheskaya bezopasnost' = Economic Security*. 2021;4(3):629–642. (In Russ.). DOI: 10.18334/ecsec.4.3.111949
8. Kelley J.E., Walker M.R., Sayer J.S. The origins of PCM: A personal history. *PM Network*. 1989;3(2):7–22. URL: <https://www.pmi.org/learning/library/origins-cpm-personal-history-3762>
9. Magee J.F. Decision trees for decision making. *Harvard Business Review*. 1964;(July):1–12. URL: <https://hbr.org/1964/07/decision-trees-for-decision-making>
10. Malcolm D.G., Roseboom J.H., Clark C.E., Fazar W. Application of a technique for research and development program evaluation. *Operations Research*. 1959;7(5):646–669. DOI: 10.1287/opre.7.5.646
11. Fleming Q.W., Koppelman J.M. Earned value project management. 4th ed. Newtown Square, PA: Project Management Institute; 2010. 232 p.
12. Goldratt E.M. Critical chain. Great Barrington, MA: The North River Press; 1997. 246 p.
13. Shapovalov A.V., Preobrazhenskiy A.P., Choporov O.N. Analysis of approaches used for project management in organizations. *Modelirovanie, optimizatsiya i informatsionnye tekhnologii = Modeling, Optimization and Information Technology*. 2019;7(1):418–429. (In Russ.). DOI: 10.26102/2310-6018/2019.24.1.038
14. Lehmann V. Connecting changes to projects using a historical perspective: Towards some new canvases for researchers. *International Journal of Project Management*. 2010;28(4):328–338. DOI: 10.1016/j.ijproman.2010.01.011
15. Takahashi Y., Yajima H., Dan T., Murata T. Research of motivation management method for project members at dynamic change of project. *IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems*. 2016;136(8):1246–1252.
16. Sun M., Meng X. Taxonomy for change causes and effects in construction projects. *International Journal of Project Management*. 2009;27(6):560–572. DOI: 10.1016/j.ijproman.2008.10.005
17. Dvir D., Lechler T. Plans are nothing, changing plans is everything: The impact of changes on project success. *Research Policy*. 2004;33(1):1–15. DOI: 10.1016/j.respol.2003.04.001
18. Winch G., Meunier M.-Ch., Head J., Russ K. Projects as the content and process of change: The case of the health and safety laboratory. *International Journal of Project Management*. 2012;30(2):141–152. DOI: 10.1016/j.ijproman.2011.06.005
19. Hu E., Liu Y. IT project change management. In: Proc. Int. symp. on computer science and computational technology — SCSCCT 2008 (Shanghai, December 20–22, 2008). Piscataway, NJ: IEEE; 2008:417–420. DOI: 10.1109/ISCSCCT.2008.224
20. Haskins T.C. Uncertainty, change management the application to risk & safety for infrastructure projects how it happens in Australia. In: Proc. 4th IET Int. conf. on systems safety 2009 (Incorporating the SaRS Annual Conference). (London, October 26–28, 2009). Piscataway, NJ: IEEE; 2009. DOI: 10.1049/cp.2009.1574
21. Karlson J.T. Project stakeholder management. *Engineering Management Journal*. 2002;14(4):19–24. DOI: 10.1080/10429247.2002.11415180
22. Karvonen S. Computer supported changes in project management. *International Journal of Production Economics*. 1998;54(2):163–171. DOI: 10.1016/S 0925-5273(97)80441-0
23. Diyazitdinova A.R., Limanova N.I. Fuzzy set approach for IT project task management. *Programmnye produkty i sistemy = Software & Systems*. 2019;(1):5–11. (In Russ.).
24. Hosley W.N. The application of artificial intelligence software to project management. *Project Management Journal*. 1987;18(3):73–75.

25. Drogovoz P.A., Korenkova D.A. Modern tools for agile management of IT projects and prospects for its improvement using artificial intelligence technologies. *Ekonomika i predprinimatel'stvo = Journal of Economy and Entrepreneurship*. 2019;(10):829–833. (In Russ.).
26. Melekhin V.B., Aygumov T.G. Fuzzy model of knowledge representation in situational advising subsystem of project management. *Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol', diagnostika = Instruments and Systems: Monitoring, Control, and Diagnostics*. 2020;(6):40–45. (In Russ.). DOI: 10.25791/pribor.06.2020.1185
27. Yusufova O.M., Nevredinov A.R. Intelligent systems based on fuzzy computing and neural networks in project management. *Ekonomika i predprinimatel'stvo = Journal of Economy and Entrepreneurship*. 2019;(8):828–833. (In Russ.).
28. Drogovoz P.A., Shiboldenkov V.A., Korenkova D.A. An approach to creating a hybrid recommendation system to support decision-making on project management based on neural network mapping and cognitive visualization of earned value indicators. *Ekonomika i predprinimatel'stvo = Journal of Economy and Entrepreneurship*. 2019;(9):1212–1217. (In Russ.).
29. Kultin N.B. Artificial intelligence in the management of innovation projects. *Innovatsii = Innovations*. 2019;(12):99–103. (In Russ.). DOI: 10.26310/2071–3010.2020.254.12.014
30. Gil Ruiz J., Martínez Torres J., González Crespo R. The application of artificial intelligence in project management research: A review. *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*. 2020;6(6):54–66. DOI: 10.9781/ijimai.2020.12.003
31. Shiriaev I.M., Kuryshcheva A.A., Volchik V.V. Narrative institutional analysis and the national innovation system in Russia. *Journal of Institutional Studies*. 2021;13(3):81–101. (In Russ.). DOI: 10.17835/2076–6297.2021.13.3.081–101
32. Fedorova E.A., Pylytsin I.V., Kovalchuk Yu.A., Drogovoz P.A. News and social networks of Russian companies: Degree of influence on the securities market. *Zhurnal Novoi ekonomicheskoi assotsiatsii = Journal of the New Economic Association*. 2022;(1):32–52. (In Russ.). DOI: 10.31737/2221–2264–2022–53–1–2

ABOUT THE AUTHOR / СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ



Павел Александрович Михненко — доктор экон. наук, доцент, профессор кафедры «Бизнес-информатика», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Pavel A. Mikhnenko — Dr. Sci. (Econ.), Associate Professor, Professor of the Department of Business Informatics, Bauman State Technical University, Moscow, Russia
<https://orcid.org/0000-0002-1766-8029>
 mpa69@yandex.ru

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflicts of Interest Statement: The author has no conflicts of interest to declare.

Статья поступила в редакцию 19.06.2023; после рецензирования 22.08.2023; принята к публикации 28.11.2023.
 Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Article was submitted on 19.06.2023, revised on 22.08.2023, and accepted for publication on 28.11.2023.

The author read and approved the final version of the manuscript