

DOI: 10.17323/2587-814X.2025.2.54.76

Математическая модель и интеллектуальная система анализа интенсивности изменений мегапроектов: роль временных центров управления

П.А. Михненко 

E-mail: pmihnenko@bmstu.ru

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация

Мегапроекты представляют собой масштабные инвестиционные программы со сложной организационной структурой, объединяющие множество заинтересованных сторон (стейкхолдеров), взаимодействие которых ведет к перераспределению влияния и созданию временных центров управления. В условиях нестабильной и неопределенной внешней среды такое поведение стейкхолдеров может привести к недостижению поставленных целей мегапроекта. Важной научной задачей является разработка математических моделей и методов анализа и управления изменениями мегапроектов. Настоящее исследование направлено на создание математической модели и разработку информационной системы нейросетевого анализа интенсивности изменений мегапроектов. Управление мегапроектом описывается векторно-матричной моделью динамической системы с обратной связью по результатам изменений. Для выявления повторяющихся паттернов событий использовался метод событийно-ориентированного анализа, позволяющий обосновать новые подходы к управлению, направленные на снижение неопределенности и повышение эффективности реализации мегапроектов. С использованием разработанных инструментов был проведен ретроспективный нейросетевой анализ интенсивности изменений мегапроекта «Северный поток – 2». В рамках исследования были идентифицированы ключевые группы стейкхолдеров, взаимодействие которых существенно влияло на реализацию проекта: группа 1 – ПАО «Газпром», европейские компании, правительства России и Германии, поддерживающие проект; группа 2 – правительства транзитных стран, США, экологические организации и страны Балтийского региона, выступающие против проекта или выражающие озабоченность его последствиями. Показано, что интеграция отдельных групп стейкхолдеров

способствует образованию временных центров управления с различными интересами, что вызывает увеличение как положительных, так и отрицательных изменений в проекте. Результатом работы стала разработка прототипа информационной системы анализа интенсивности изменений мегапроектов, включающего в себя: математическую модель управления изменениями мегапроекта; методику нейросетевого анализа, основанную на использовании большой языковой модели для обработки текстовой информации и генерации количественных оценок; программный интерфейс для загрузки документов, автоматизированной обработки данных и визуализации результатов. В качестве нейросети применялась большая языковая модель Qwen 2.5-Plus, которая не была специально адаптирована под данную задачу, однако ее параметры были откалиброваны для проведения анализа интенсивности изменений мегапроектов. Прототип системы дает возможность пользователям анализировать взаимодействие стейкхолдеров, оценивать интенсивность изменений и прогнозировать потенциальные риски на основе исторических данных. Перспективным направлением дальнейшего исследования является применение разработанной модели и методики нейросетевого анализа для сравнительных исследований различных мегапроектов.

Ключевые слова: мегапроект, «Северный поток — 2», стейкхолдеры, интеграционная активность, неопределенность, интенсивность изменений, временный центр управления изменениями, математическая модель, большая языковая модель, нейросетевой анализ, информационная система

Цитирование: Михненко П.А. Математическая модель и интеллектуальная система анализа интенсивности изменений мегапроектов: роль временных центров управления // Бизнес-информатика. 2025. Т. 19. № 2. С. 54–76. DOI: 10.17323/2587-814X.2025.2.54.76

Введение

Мегапроекты — это крупномасштабные инвестиционные проекты, требующие значительных ресурсов, с длительными сроками реализации и влиянием на экономику, общество и окружающую среду [1]. Их активная реализация связана с трансформацией глобальной экономической системы [2]. Стейкхолдерами мегапроектов выступают государственные органы, частные компании, инвесторы и общественные организации, а результаты затрагивают жизнь миллионов людей [3], вызывая широкий спектр ожиданий [4, 5].

Ключевыми проблемами мегапроектов являются высокая стоимость, перерасход бюджетов и задержки сроков [6], причем вероятность превышения стоимости и сроков возрастает с увеличением масштаба проекта [7]. Часто мегапроекты не достигают ожидаемых результатов из-за неопределенности экономических эффектов и сложности поведения стейкхолдеров [8].

В России мегапроекты служат инструментами социально-экономического развития и рассматриваются как временные центры управления, координирующие действия участников [9, 10]. Согласно концепции технологического развития до 2030 года, они являются механизмами обеспечения технологического суверенитета. Однако их информационное обеспечение остается «лоскутным», что затрудняет сравнение проектов на единой методологической основе [10].

Заметной особенностью мегапроектов является нечеткость целей и перераспределение влияния стейкхолдеров, что приводит к формированию временных центров управления [11, 12]. Участники интерпретируют цели через символы, влияющие на восприятие легитимности проекта [5]. Снижение неопределенностей возможно за счет анализа взаимосвязей между их типами, учета ожиданий и диалога со стейкхолдерами [13].

С точки зрения организационного дизайна мегапроекты — это сложные сети с многослойной структурой.

турой [14–16]. Как адаптивные системы, они обладают свойствами самоорганизации и эмерджентности, где стейкхолдеры адаптируют поведение через сетевое взаимодействие [3]. Различные координационные механизмы создают временные центры управления для решения задач в течение ограниченного времени [17, 18], однако единое понимание их сущности пока отсутствует [17].

Мегапроекты имеют гибкие границы, допускающие взаимозаменяемость внутренних и внешних компонентов, что позволяет создавать различные конфигурации на протяжении жизненного цикла [19, 20]. Для описания их организационного дизайна используется термин «организационные возможности» — совокупность знаний, навыков, ресурсов и процедур для интеграции стейкхолдеров [16, 21, 22]. Неформальные стейкхолдеры могут демонстрировать поведение, используя механизмы координации и адаптации, что приводит к объединению их во временные центры управления и расширяет их влияние [23]. Успех мегапроектов зависит от формы взаимодействия между стейкхолдерами [24].

Объектом исследования являются мегапроекты — крупномасштабные инвестиционные программы, направленные на решение задач социально-экономического развития и требующие значительных ресурсов и времени. Предмет — процессы управления изменениями мегапроектов, обусловленные интеграцией стейкхолдеров в условиях неопределенности внешней среды. Цель — разработка математической модели управления изменениями и интеллектуальной информационной системы для анализа их интенсивности.

Исследование решает бизнес-проблему, связанную с фундаментальными проблемами управления мегапроектами [6, 8]: превышение бюджетов и сроков, неполнота достижения результатов, сложность координации стейкхолдеров. Эти проблемы обусловлены высокой неопределенностью внешней среды, сложным взаимодействием участников и интересующими факторами. Управление изменениями мегапроектов рассматривается как «мерзкая» проблема (wicked problem), для которой характерны: отсутствие однозначного решения, зависимость от контекста и участников, необходимость учета множества мнений.

Традиционные методы анализа изменений проектов имеют ограничения: PERT/CPM игнорируют взаимодействие стейкхолдеров, Earned Value

Management (EVM) плохо адаптируется к неопределенности, IBM Rational Focal Point и SAP Portfolio and Project Management ограничены в анализе временных центров управления и больших объемов данных.

Основным результатом исследования является прототип информационной системы, включающий: математическую модель управления изменениями в векторно-матричной форме; методику нейросетевого анализа на основе большой языковой модели Qwen 2.5-Plus (Alibaba Cloud); программный интерфейс для загрузки документов, автоматической обработки данных. Прототип позволяет анализировать взаимодействие стейкхолдеров, оценивать интенсивность изменений и прогнозировать последствия на основе исторических данных.

Гипотеза исследования: интеграционная активность стейкхолдеров приводит к формированию временных центров управления изменениями (ВЦУИ), динамика интеграции которых определяет интенсивность и направленность изменений мегапроекта, а успех реализации зависит от способности ключевых стейкхолдеров формировать устойчивые кооперационные связи.

1. Методы исследования

Проведен комплексный анализ научной литературы по управлению мегапроектами, выявлены ключевые проблемы: низкая эффективность координации стейкхолдеров, сложность прогнозирования изменений во внешней среде, конфликты интересов и формирование ВЦУИ.

Для получения эмпирических данных выполнены:

1. Сбор первичной информации: интервью с руководителями проектов и участие в конференциях.
2. Анализ документов мегапроектов, практики взаимодействия стейкхолдеров и особенностей формирования ВЦУИ.
3. Проверка эффективности нейросетевого анализа на реальных документах и сравнение с традиционными методами.

Результаты подтвердили актуальность исследования и позволили конкретизировать задачи разработки новых подходов к управлению изменениями. Исследование включало два этапа.

1. Разработка математической модели управления изменениями и информационной системы нейросетевого анализа.
2. Ретроспективный нейросетевой анализ изменений мегапроекта «Северный поток – 2».

В данном исследовании «стейкхолдеры мегапроекта» — это все организации и лица, влияющие на проект, включая официальных участников и внешние стороны. Под управлением понимаются любые воздействия стейкхолдеров, изменяющие процесс реализации проекта.

Анализ стейкхолдеров дополнен критерием «Интеграционная активность», под которой понимается инициатива по координации с другими участниками для достижения их целей. Глубокая интеграция возможна при наличии формальных или неформальных полномочий, признаваемых другими стейкхолдерами. Результатом интеграции является формирование ВЦУИ, влияющих на реализацию и результаты мегапроекта.

1.1. Математическая модель управления изменениями мегапроекта

В рамках методического аппарата теории управления и теории организационных изменений процесс управления мегапроектом может быть описан векторно-матричной математической моделью динамической системы с отрицательной обратной связью по результатам изменений (рис. 1).

Изменения внешней среды EXT актуализируют вектор G целей проекта, сопоставление которого с вектором результатов очередного этапа R_c формирует вектор рассогласования:

$$D = G - R_c + N.$$

Вектор D играет роль вектора оперативных задач управления изменениями проекта. Под интенсивностью изменений мегапроекта понимается степень трансформации его актуальных целей и структуры взаимодействия стейкхолдеров в ответ на изменения факторов внешней среды.

Матрица интенсивности изменений Q ($s \times g$), является результатом матричного произведения:

$$Q = AP,$$

где A — симметричная квадратная матрица ($s \times s$) степеней попарной интеграции стейкхолдеров:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1s} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{s1} & \cdots & a_{ss} \end{bmatrix},$$

P — матрица ($s \times g$) степеней влияния стейкхолдеров на достижение актуальных целей проекта:

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & \cdots & p_{1g} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{s1} & \cdots & p_{sg} \end{bmatrix}.$$

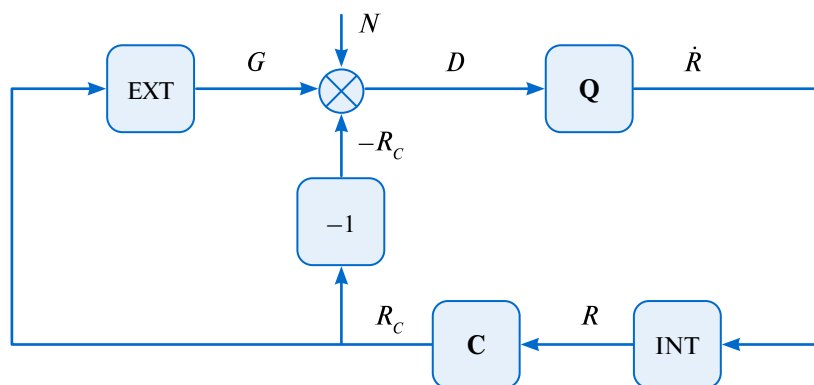


Рис. 1. Схема математической модели управления изменениями мегапроекта¹.

Источник: разработано автором.

¹ Здесь и далее матрицы обозначаются заглавными буквами полужирного начертания, в скобках указываются размерности матриц, векторы обозначаются заглавными буквами курсивом (под вектором понимается вектор-столбец).

Матрица Q показывает, насколько каждый стейкхолдер, воздействуя на достижение целей проекта, вовлекает других стейкхолдеров в решение задач.

Для оценки степени интеграции стейкхолдеров в матрице A используется шкала от 0 до 1, где 0 – отсутствие интеграции, 1 – максимальное взаимодействие. Элементы главной диагонали отражают степень самоорганизации стейкхолдера и могут быть меньше единицы, если стейкхолдер представляет группу участников, не использующих формы максимальной координации.

Формы интеграции стейкхолдеров ранжируются по степени координации (таблица 1).

Анализ матрицы A позволяет выявлять ВЦУИ для оценки их роли в достижении целей проекта на каждом этапе. В матрице P степень влияния стейкхолдера оценивается по шкале от 0 до 1 (от полного отсутствия до максимального потенциала). В зависимости от роли стейкхолдера его потенциал может быть направлен как на поддержку, так и на противодействие целям проекта.

Для анализа интенсивности изменений формируется нормированная матрица

$$Q_N = \frac{100}{\sum_i \sum_j |q_{ij}|} Q,$$

где q_{ij} – элементы матрицы Q .

Нормировка матрицы Q_N обеспечивает равенство суммы ее элементов 100%, где каждый элемент показывает процентную долю интенсивности изменений, вызванных влиянием стейкхолдера с учетом его взаимодействия с другими стейкхолдерами. Умножение вектора D слева на матрицу Q дает s -мерный вектор $\dot{R}$, описывающий скорость изменений проекта, вызванных действиями стейкхолдеров.

$$\dot{R} = QD.$$

Элемент INT (интеграл) описывает формирование s -мерного вектора кумулятивных результатов изменений проекта:

$$R(t) = \int_{t_0}^t \dot{R}(t) dt.$$

Введем контрольную матрицу C ($g \times s$), позволяющую сопоставлять кумулятивные результаты проекта с его целями:

$$C(t) = \mu Q^T,$$

где μ – коэффициент динамики устранения рассогласования;

T – знак транспонирования.

Умножение вектора R слева на C дает g -мерный вектор $R_C = CR$, отражающий кумулятивные результаты, соотнесенные с целями проекта. Этот

Таблица 1.

Формы интеграции стейкхолдеров

Степень интеграции	Форма интеграции	Пояснения
0,0–0,2	Независимое управление (отсутствие интеграции)	Стейкхолдеры работают независимо друг от друга, без согласования решений и взаимодействия
0,2–0,4	Координация (слабая интеграция)	Стейкхолдеры регулярно обмениваются информацией и согласовывают планы, но каждый остается ответственным за свою часть работы
0,4–0,6	Сотрудничество (средняя интеграция)	Стейкхолдеры сотрудничают для достижения целей проекта, проводят регулярные встречи и совещания, используют общие инструменты и платформы
0,6–0,8	Объединение (высокая интеграция)	Стейкхолдеры работают в тесной взаимосвязи, создают рабочие группы и команды, принимают совместные решения и разрабатывают стратегии
0,8–1,0	Консолидация (максимальная интеграция)	Все аспекты проекта полностью интегрированы, стейкхолдеры имеют единый центр управления и контроля, используют единые стандарты и процессы

вектор влияет на внешнюю среду проекта EXT и используется для сопоставления с вектором целей G . Матрица C согласует размерности векторов R_C , G , N и D по числу целей проекта.

Важным аспектом моделирования является вектор ошибок N , вызванных неопределенностью внешней среды и неточностью оценки результатов стейкхолдерами. Модель с отрицательной обратной связью позволяет анализировать влияние интенсивности изменений на соответствие результатов целям проекта (вектор D). Вектор N моделировался как совокупность равномерно распределенных случайных величин, центрированных относительно переменных вектора V , с дисперсией, соответствующей экспертной оценке информационной неопределенности внешней среды.

Стохастическая модель позволяет оптимизировать интенсивность изменений путем минимизации математического ожидания и стандартного отклонения вектора рассогласования D . Оптимальная интенсивность зависит от скорости изменений внешней среды и уровня информационной неопределенности. Увеличение темпов изменений внешней среды требует повышения интенсивности управления для улучшения адаптивности, но рост неопределенности снижает необходимость интеграции стейкхолдеров [25]. Искусственное усиление интеграции стейкхолдеров может отклонить прогресс проект от плана, увеличивая дисперсию рассогласований и снижая прогнозируемость результатов. Однако недостаточная интенсивность изменений в условиях динамичной внешней среды приводит к отклонению математического ожидания траектории проекта от запланированной.

В данной модели динамика изменения цели в зависимости от динамики факторов внешней среды моделировалась выражением

$$g = \alpha_1 + \alpha_2 \sin(2\pi\alpha_3 t),$$

где g — элемент вектора G ;

α_1 — коэффициент смещения по оси ординат, принимающий условные значения 1, 2, 3 и 4 по числу целей каждого этапа;

α_2 — амплитуда изменения;

α_3 — коэффициент частоты изменений, величина которого равна экспертной оценке степени дина-

мики внешней среды, в условиях которых ставилась данная цель;

t — момент времени — шаг формирования результатов изменения в течение одного этапа проекта.

Процесс формирования ВЦУИ описывается следующим образом:

1. Формирование начинается при достижении порога интеграции:

$$a_{ij} > \alpha,$$

где a_{ij} — элемент матрицы интеграции A — степень взаимодействия между стейкхолдерами i и j ;

α — пороговое значение (принималось равным 0,5).

2. Группа стейкхолдеров классифицируется как ВЦУИ при выполнении условия:

$$\sum_{j=1}^s a_{ij} > \beta \text{ для всех } i \in \text{ВЦУИ},$$

где β — минимальная суммарная степень интеграции для участников ВЦУИ (принималась равной 2).

3. Сила влияния ВЦУИ определяется как:

$$p_{\text{ВЦУИ}} = \sum_{i,j \in \text{ВЦУИ}} a_{ij} \cdot p_{ij}.$$

Динамика развития ВЦУИ описывается изменением ключевых параметров во времени:

1. Изменение интеграции описывается уравнением:

$$\frac{da_{ij}(t)}{dt} = f(a_{ij}(t), p_i(t), p_j(t), n(t)),$$

где f — функция, учитывающая текущую степень интеграции, потенциал влияния стейкхолдеров и уровень информационной неопределенности.

2. Адаптация к внешним условиям:

$$g_i(t+1) = g_i(t) + \gamma \cdot c_{ij}(t) \cdot (g_i(t) - r_i(t)),$$

где γ — коэффициент скорости адаптации.

3. Распад ВЦУИ происходит при $a_{ij}(t) < \delta$ или значительном росте информационной неопределенности $n(t) > \varepsilon$, где δ и ε — пороговые значения для интеграции и неопределенности соответственно.

4. Новые ВЦУИ формируются при:

$$a_{ij}(t) > \alpha \text{ и } \sum_{j=1}^s a_{ij} > \beta.$$

Методы анализа эволюции ВЦУИ:

1. Кластеризация стейкхолдеров:

Кластер $k = \{i | a_{ij} > \alpha_k \quad \forall j \in \text{кластер } k\}$.

2. Определение ключевых параметров сети взаимодействия:

а) центральность стейкхолдера²:

$$c_i = \sum_{j=1}^s a_{ij},$$

б) коэффициент кластеризации:

$$\phi_i = \frac{\sum_{j,k} a_{ij} \cdot a_{ik} \cdot a_{jk}}{\sum_{j,k} a_{ij} \cdot a_{ik}}.$$

3. Оценка жизненного цикла ВЦУИ:

а) средняя степень интеграции:

$$\bar{a}_k(t) = \frac{1}{|k|} \sum_{i,j \in k} a_{ij}(t).$$

б) суммарное влияние:

$$p_k(t) = \sum_{i \in k} p_i(t).$$

Использование математической модели управления изменениями мегапроекта в информационной системе должно отвечать на ключевые вопросы:

1. Какова степень их интеграции на каждом этапе? Какие факторы влияют на изменения уровня интеграции?
2. Какие ВЦУИ формируются в процессе реализации проекта? Каковы их роль и характер взаимодействия?
3. Какова общая интенсивность изменений? Как соотносятся позитивные и негативные изменения?
4. Как скорость изменений и информационная неопределенность сказываются на управлении проектом?
5. Каков уровень рассогласования между целями и результатами? Какие факторы влияют на его динамику?
6. Как изменения активности стейкхолдеров повлияют на будущие результаты? Какие возможны сценарии развития?

7. Какой уровень интенсивности изменений оптимален? Как минимизировать влияние неопределенности?

8. Как модель реагирует на ошибки оценки и изменения входных данных?

Таким образом, разработанная математическая модель отличается от традиционных моделей следующими особенностями:

1. Учет стейкхолдеров: введено понятие «интеграционной активности стейкхолдеров», позволяющее описать механизмы формирования ВЦУИ; матрица интеграции **A** количественно оценивает взаимодействие групп стейкхолдеров [12, 18].

2. Детализация обратной связи: используется механизм отрицательной обратной связи по результатам изменений, что адекватно описывает корректировку целей на основе фактических результатов [3, 4].

3. Оценка интенсивности изменений: интенсивность определяется через матричное произведение **A** и **P**; учет знаков элементов матрицы **Q** обеспечивает полноту анализа изменений [3, 21, 23].

4. Учет неопределенности: вектор ошибок **N** моделирует информационную неопределенность, позволяя исследовать поведение системы при разных уровнях сложности [13].

5. Новая интерпретация переменных: вектор **D** рассматривается как оперативная задача управления; контрольная матрица **C** сопоставляет кумулятивные результаты с целями, что важно для долгосрочных проектов.

6. Специфика мегапроектов: динамика целей моделируется периодической функцией, отражающей длительные сроки реализации; интеграция учитывает сложные взаимоотношения участников [19, 23].

7. Оптимизация изменений: учет взаимосвязи между скоростью изменения внешней среды, информационной неопределенностью и интенсивностью изменений позволяет адаптировать управление проектами к меняющимся условиям [25].

8. Практическая применимость: модель разработана с учетом реальных мегапроектов, например, таких как «Северный поток – 2».

² «Центральность стейкхолдера» — это количественный показатель их важности, влияния или роли в сети взаимодействия.

Эти особенности обеспечивают точное описание процессов управления изменениями в мегапроектах и практическую применимость модели.

1.2. Интеллектуальная информационная система и методика ретроспективного нейросетевого анализа интенсивности изменений мегапроектов

Целью ретроспективного нейросетевого анализа является систематизация информации о мегапроекте и получение числовых оценок для расчета интенсивности изменений и роли ВЦУИ. Термин «ретроспективный» подразумевает анализ завершённого проекта, а «нейросетевой» указывает на использование большой языковой модели – искусственной нейросети трансформерного типа, построенной на технологии машинного обучения.

Методика основана на использовании большой языковой модели Qwen 2.5-Plus (свободная лицензия) и реализована через API Qwen Cloud. Программный интерфейс разработан на Python 3.10. Основные характеристики системы представлены в *Приложении 1*, алгоритм обработки данных и генерации оценок – в *Приложении 2*.

Исходные данные включали документы, содержание информацию о стейкхолдерах, целях, бюджете, сроках и других аспектах мегапроекта. Источники: открытые паспорта проектов, ТЭО, научные статьи, официальные сайты организаций, статистические отчеты и отраслевые обзоры.

Пользовательский запрос к модели формируется для получения информации об этапах, стейкхолдерах, целях проекта и числовых оценок матриц и векторов. Для повышения достоверности использовались шаблоны промпт-инжиниринга (*Приложение 3*).

Адекватность сгенерированного контента зависит от выбора модели, способной обрабатывать текстовые и числовые данные; качества исходных данных; эффективности запроса, построенного на принципах промпт-инжиниринга; аналитической и статистической обработки выходных данных.

Для повышения качества результатов применялась процедура последовательной статистической обработки числовых оценок. В рамках одного се-

анса модель поэтапно обрабатывала пакет документов, расширяя информационную базу проекта. После загрузки очередного документа модель генерировала промежуточные оценки с учетом предыдущих шагов. Этот подход позволил обойти ограничения интерфейса по объему загружаемых файлов и повысить точность оценок за счет последовательной статистической обработки данных и оценки среднего арифметического и стандартного отклонения результатов. Количество шагов определялось доступным объемом документов и необходимостью достижения сходимости средних значений и стабилизации отклонений.

2. Результаты ретроспективного интеллектуального анализа процесса изменений мегапроекта «Северный поток – 2»

Информационная база исследования включала 63 документа (2011–2024 гг.): публикации в СМИ (РБК, ТАСС, Financial Times и др.), научные статьи (ELibrary, Scopus, Web of Science) и данные с официальных сайтов (ПАО «Газпром», Nord Stream 2 и др.). Числовые оценки уточнялись по восьми шагам загрузки документов путем объединения файлов.

В *таблице 2* приведен список ключевых стейкхолдеров проекта, сформированный по результатам нейросетевого анализа текстовых данных.

Генеральная цель проекта «Северный поток – 2» – диверсификация маршрутов поставок газа, устранение транзитных рисков, удовлетворение растущего спроса европейских стран на энергоресурсы и укрепление энергетической безопасности континента. Проект имеет исключительно коммерческий характер³.

Таблица 3 содержит перечень ключевых целей проекта по этапам с экспертными оценками динамики изменения (*V*) и информационной неопределенности (*N*) внешней среды, влияющих на постановку целей.

В *Приложении 4* представлены матрицы интеграции стейкхолдеров по этапам проекта, построенные с использованием методики нейросетевого

³ Сформулировано на основе: Лавров назвал цель проекта «Северный поток – 2» // РИА «Новости» (официальный сайт), 28.08.2018 (обновлено 03.03.2020). [Электронный ресурс]: <https://ria.ru/20180828/1527333450.html?ysclid=m3ic7exqtj972069035> (дата обращения 15.11.2024).

Таблица 2.

Ключевые стейкхолдеры проекта «Северный поток – 2»

Код	Стейкхолдер	Пояснение
S1	ПАО «Газпром»	Инициатор и основной бенефициар проекта, стремящийся увеличить экспорт газа и снизить транзитные риски. Рассматривается в модели с учетом роли и деятельности компании Nord Stream 2 AG, единственным акционером которой является ПАО «Газпром».
S2	Европейские энергетические компании	Инвесторы и партнеры проекта, заинтересованные в стабильных поставках газа и прибыли от участия в проекте: Uniper SE (Германия), Wintershall Dea GmbH (Германия), OMV AG (Австрия), Engie SA (Франция), Royal Dutch Shell (Нидерланды).
S3	Правительство России	Поддерживает проект в интересах обеспечения доходов от экспорта газа и ускорения социально-экономического развития России.
S4	Правительство Германии	Изначально поддерживало проект, рассматривая его как экономически выгодный, но позже изменило свою позицию под давлением США.
S5	Правительства транзитных стран	Противники проекта, опасющиеся потери доходов от транзита газа и усиления российского влияния.
S6	Правительство США	Активный противник проекта, рассматривающий его как угрозу энергетической безопасности Европы и инструмент российского влияния. Вводило санкции против компаний, участвующих в строительстве.
S7	Экологические организации	Выступали против проекта, выражая опасения по поводу его воздействия на окружающую среду Балтийского моря.
S8	Правительства стран Балтийского региона	Имеет смешанное отношение к проекту: часть населения поддерживает его из-за потенциальных экономических выгод, другая – опасается экологических рисков и геополитических последствий.
S9	Потребители газа в Европе	Заинтересованы в стабильных и доступных поставках газа, но также обеспокоены наличием мнения части политиков о возможной зависимости от России.

анализа. Анализ их структуры выявил два ВЦУИ:

- ♦ ВЦУИ-1: S1–S4 («Газпром», европейские компании, Россия, Германия) – устойчивая интеграция на первых трех этапах и распад на четвертом;
- ♦ ВЦУИ-2: S5–S8 (транзитные страны, США, экологические организации, страны Балтийского региона) – рост интеграции по этапам проекта.

Примеры эволюции ВЦУИ:

ВЦУИ-1 (S1–S4):

- ♦ формирование: высокая начальная интеграция ($a_{ij} > 0,8$) и общие цели по реализации проекта;
- ♦ развитие: стабильное существование на первых трех этапах благодаря поддержке ключевых стейкхолдеров;
- ♦ распад: значительное снижение интеграции на четвертом этапе из-за изменения политической

конъюнктуры ($a_{ij} < 0,4$).

ВЦУИ-2 (S5–S8):

- ♦ формирование: постепенный рост интеграции ($a_{ij} > 0,4$ к третьему этапу) в ответ на усиление противодействия проекту;
- ♦ развитие: усиление кооперации между противниками проекта ($a_{ij} > 0,7$ к четвертому этапу);
- ♦ текущее состояние: сохранение высокого уровня интеграции даже после остановки проекта.

Графики динамики интеграции этих ВЦУИ по этапам проекта образуют «ножницы интеграции» (рис. 2).

К примерам наиболее наглядной динамики интеграции по этапам проекта можно отнести следующие пары стейкхолдеров (рис. 3):

- ♦ S1/S4: «Газпром», Германия – спад и резкий

Таблица 3.

**Ключевые цели по этапам проекта с оценками динамики изменения
и информационной неопределенности внешней среды⁴**

Этап проекта	Ключевые цели	V	N	Комментарий
Этап 1. Концепция и планирование (2011–2015 гг.)	G1.1. Планирование удвоения объемов поставок газа в Европу по сравнению с проектом «Северный поток».	0,22 (0,05)	0,31 (0,04)	Рост потребления газа в Европе был относительно предсказуем, хотя и подвержен колебаниям.
	G1.2. Формирование концепции снижения зависимости поставок от транзитных стран.	0,73 (0,06)	0,64 (0,06)	Политическая ситуация в транзитных была нестабильной, что создавало риски для поставок. Высокая динамика и неопределенность.
	G1.3. Формирование концепции энергетической безопасности Европы.	0,50 (0,03)	0,44 (0,05)	Концепция энергобезопасности Европы обсуждалась, но ее конкретное содержание и отношение к «Северному потоку-2» были неоднозначны.
	G1.4. Планирование привлечения европейских инвестиций и партнеров.	0,43 (0,10)	0,53 (0,05)	Интерес европейских компаний к проекту был, но позиция отдельных стран и ЕС в целом была не до конца ясна.
Этап 2. Подготовка и начало строительства (2015–2018 гг.)	G2.1. Получение необходимых разрешений и согласований.	0,60 (0,09)	0,72 (0,04)	Процесс получения разрешений и согласований в разных юрисдикциях был сложным и длительным, с высокой степенью неопределенности.
	G2.2. Заключение контрактов с подрядчиками и поставщиками.	0,27 (0,11)	0,19 (0,12)	Заключение контрактов с подрядчиками – относительно стандартная процедура, хотя и с определенными рисками.
	G2.3. Финансирование проекта.	0,52 (0,08)	0,60 (0,07)	Привлечение финансирования зависело от политических факторов и санкционных рисков, что создавало неопределенность.
	G2.4. Начало строительства морского участка трубопровода.	0,33 (0,10)	0,35 (0,07)	Технические сложности строительства морского участка были предсказуемы и управляемы.
Этап 3. Активная фаза строительства и усиление санкционного давления (2018–2021 гг.)	G3.1. Завершение строительства трубопровода, несмотря на санкции США.	0,90 (0,04)	0,81 (0,07)	Санкционное давление США постоянно усиливалось, создавая высокую динамику и неопределенность для завершения проекта.
	G3.2. Минимизация влияния санкций на сроки и стоимость проекта.	0,80 (0,11)	0,72 (0,10)	Поиск путей минимизации влияния санкций был сложной задачей с высокой степенью неопределенности.
	G3.3. Сертификация и запуск трубопровода.	0,70 (0,05)	0,83 (0,09)	Сертификация и запуск проекта столкнулись с политическим давлением и регуляторными препятствиями, что создавало высокую неопределенность.
	G3.4. Поддержание диалога с европейскими партнерами и регуляторами.	0,81 (0,08)	0,92 (0,07)	Политический диалог в условиях санкций и меняющейся геополитической обстановки был крайне сложным и непредсказуемым.
Этап 4. Остановка проекта и геополитические последствия (2022–н.в.)	G4.1. Сохранение инфраструктуры проекта «Северный поток – 2».	0,20 (0,09)	0,72 (0,06)	Сохранение инфраструктуры технически возможно, но будущее проекта остается неопределенным.
	G4.2. Оценка ущерба и поиск возможных вариантов использования трубопровода.	0,13 (0,06)	0,90 (0,05)	Варианты использования трубопровода в условиях геополитической нестабильности крайне неопределенны.
	G4.3. Минимизация финансовых потерь.	0,52 (0,10)	0,81 (0,08)	Оценка и минимизация финансовых потерь затруднена из-за неопределенности будущего проекта.
	G4.4. Анализ и извлечение уроков.	0,12 (0,07)	0,20 (0,05)	Анализ и извлечение уроков – внутренний процесс, относительно независимый от внешних факторов.

⁴ Показано среднее значение и доверительный интервал по Стьюденту (95%) оценок шести экспертов.

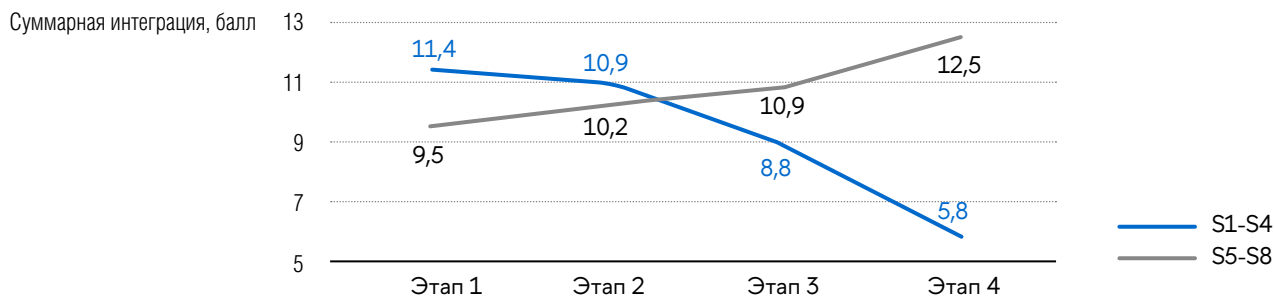


Рис. 2. «Ножницы» интеграции двух групп стейкхолдеров, баллы.

спад на последнем этапе;

- ♦ S3/S4: Россия, Германия — спад и резкий спад на последнем этапе;
- ♦ S4/S6: Германия, США — спад на первых трех и резкий рост «взаимопонимания» на последнем этапе;
- ♦ S5/S6: транзитные страны, США — постоянный рост;
- ♦ S1/S9: «Газпром», потребители — заметный спад.

В *Приложении 5* представлены матрицы силы влияния стейкхолдеров на цели проекта по этапам, полученные методом нейросетевого анализа. Отрицательные значения указывают на негативное влияние, направленное на противодействие достижению целей.

На *рис. 4* показано соотношение величин интеграции, общего и негативного влияния стейкхолдеров по этапам проекта (в баллах).

Снижение интеграции сопровождалось спадом

абсолютного значения влияния стейкхолдеров. Негативное влияние стало наиболее заметным на втором и третьем этапах проекта.

В *Приложении 6* приведены матрицы интенсивности изменений проекта по этапам. Отрицательные значения соответствуют интенсивности негативных изменений. На *рис. 5* показаны суммарные абсолютные значения общей интенсивности изменений (в баллах) и процент интенсивности негативных изменений по этапам проекта.

Максимально интенсивными изменения были на для первых двух этапах проекта при минимуме негативных изменений на первом из них. На третьем этапе на противодействие проекту были направлены почти 46% всех изменений.

На *рис. 6* показана динамика генерирования общих и негативных изменений описанными ВЦУИ.

На первом этапе ВЦУИ-1 сгенерировал около 75% позитивных изменений, тогда как на третьем этапе ВЦУИ-2 вызвал более 46% изменений, прак-

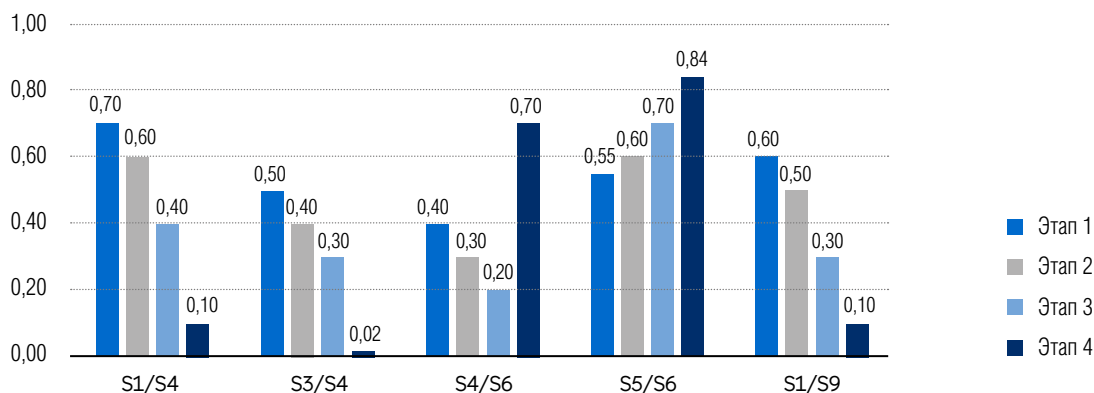


Рис. 3. Примеры динамики интеграции выбранных пар стейкхолдеров по этапам проекта.

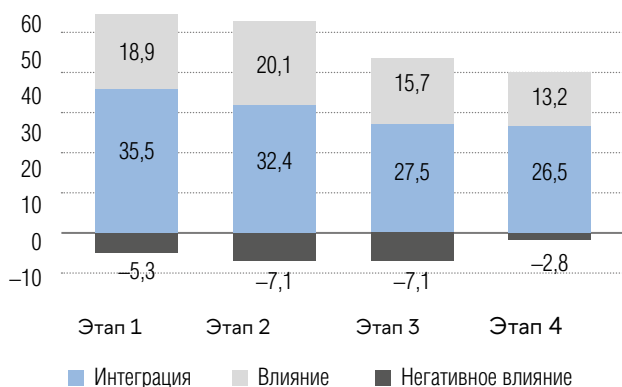


Рис. 4. Интеграция, общее и негативное влияние по этапам проекта, баллы.

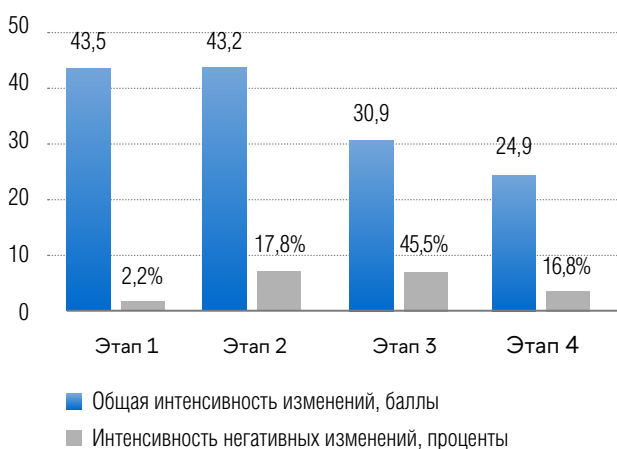


Рис. 5. Интенсивности изменений и процент негативных изменений.

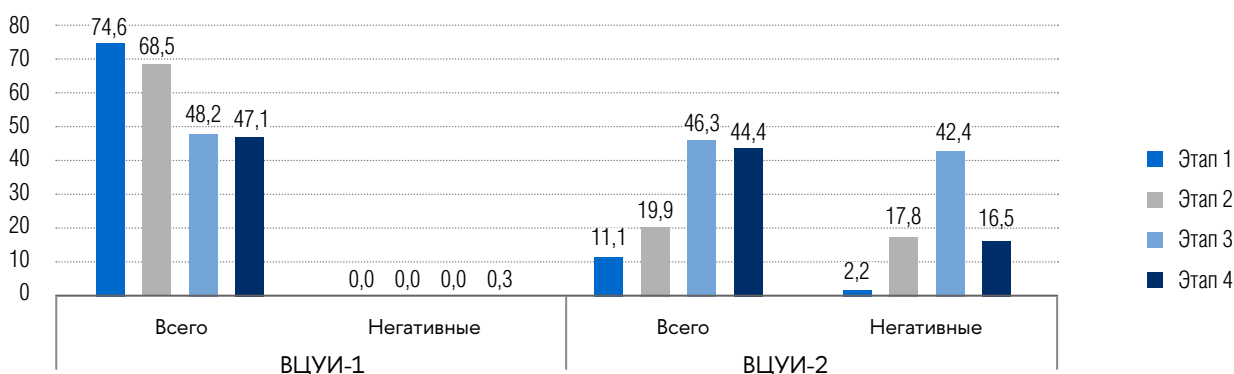


Рис. 6. Динамика генерирования изменений двумя ВЦУИ, процент.

тически все из них были направлены на противодействие проекту.

Классификация типов ВЦУИ на основе анализа данных проекта «Северный поток – 2»:

А. Стабильные ВЦУИ характеризуются высокой степенью интеграции ($a_{ij} > 0,8$) и устойчивостью к изменениям внешней среды (например, ВЦУИ-1).

Б. Динамичные ВЦУИ имеют среднюю степень интеграции ($0,4 < a_{ij} < 0,8$) и быстро реагируют на изменения внешних условий (например, ВЦУИ-2).

В. Транзиторные ВЦУИ возникают временно для решения конкретных задач и быстро распадаются после их завершения ($a_{ij} < 0,4$) (например, временные рабочие группы по получению разрешений).

На рис. 7 представлены графики динамики кумулятивных результатов R_c , построенные на основе матриц А и Р. Ось абсцисс отражает условную длительность этапа, разделенную для наглядности на 20 отрезков. На осях ординат указаны номера целей. Направление смещения кривой R_c относительно горизонтальной оси показывает степень достижения цели и отклонение от плановых значений.

Согласно результатам моделирования, цели первых двух этапов (концептуальное планирование и подготовка строительства) были достигнуты благодаря ВЦУИ-1, несмотря на негативное влияние ВЦУИ-2. Экспериментальное моделирование⁵ показало, что увеличение интеграции ВЦУИ-2 на первом этапе не изменило бы результаты, но максимальное отрицательное влияние этого ВЦУИ

⁵ Под экспериментальным моделированием понимается «искусственное» изменение части значений матриц А и Р для выявления характера влияния таких гипотетических ситуаций на кумулятивные результаты R_c .

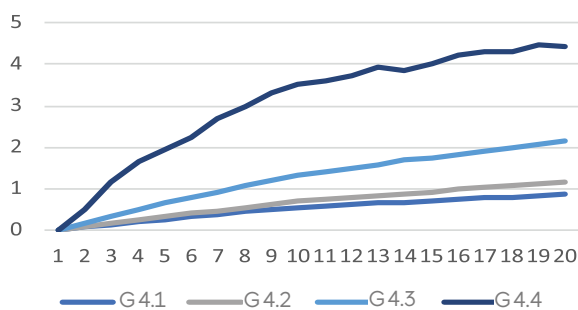
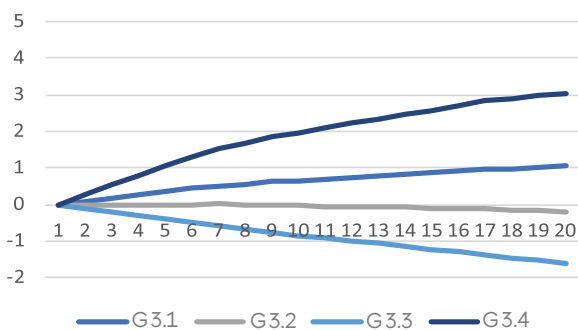
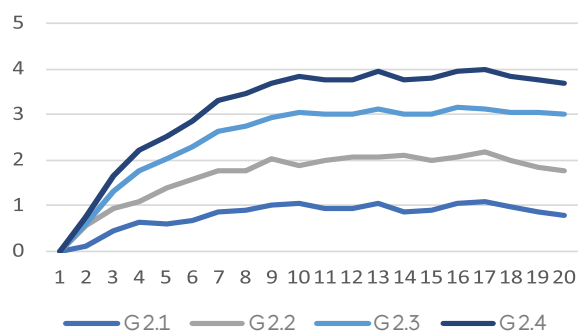
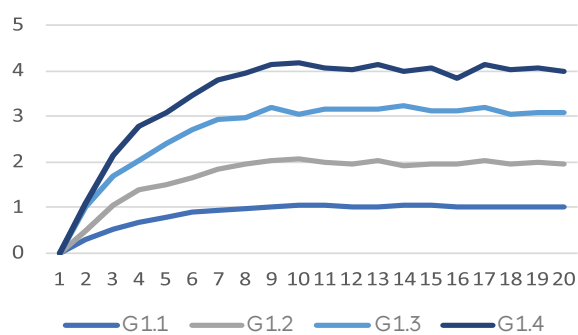


Рис. 7. Динамика кумулятивных результатов изменения содержания проекта по этапам.

снизило бы динамику достижения целей: снижение зависимости от транзитных стран (G1.2), формирование энергетической безопасности Европы (G1.3), заключение контрактов (G2.2), финансирование (G2.3) и начало строительства (G2.4).

Реализация целей активной фазы строительства столкнулась с ростом санкционного давления: темпы строительства (G3.1) и диалог с регуляторами (G3.4) оказались ниже запланированных. Цели минимизации влияния санкций (G3.2) и сертификации трубопровода (G3.3) не были достигнуты из-за воздействия ВЦУИ-2. Экспериментальное моделирование показало, что максимальная интеграция ВЦУИ-1 помогла бы достичь цели G3.2 и G3.3, тогда как усиление негативного влияния ВЦУИ-2 привело бы к полному срыву целей этого этапа.

Достижение целей оценки геополитических последствий требует времени, при этом анализ и извлечение уроков (G4.4) — ключевая цель текущего этапа. По результатам моделирования, максимальная интеграция ВЦУИ-1 является условием полной реализации всех целей этапа. Снижение интенсивности изменений на третьем и четвертом этапах уменьшает влияние информационного «шума», но увеличивает отклонение результатов от целевых значений [25].

3. Обсуждение и выводы

Результаты ретроспективного анализа изменений мегапроекта «Северный поток – 2» согласуются с экспертными оценками и литературными данными, подтверждая адекватность разработанного аналитического аппарата. Они также подтверждают гипотезу о том, что интеграционная активность стейкхолдеров формирует ВЦУИ, влияющие на интенсивность изменений проекта. Динамика интеграции ВЦУИ определяет интенсивность и направленность изменений, а успех реализации мегапроекта зависит от способности ключевых стейкхолдеров создавать устойчивые кооперационные связи.

Предложенная математическая модель и методика нейросетевого анализа позволяют оценивать интенсивность изменений и влияние интеграционной активности стейкхолдеров на реализацию мегапроектов. Результаты исследования могут быть полезны руководителям и участникам проектов, органам власти, а также исследователям в области

управления крупными проектами.

Проведенное исследование выявило границы применимости рациональных методов принятия решений в управлении изменениями мегапроектов:

1. Математическая модель демонстрирует высокую чувствительность к входным параметрам, что типично для «мерзких» проблем.
2. Анализ мегапроекта «Северный поток – 2» показал значительное влияние интересубъективных факторов на динамику изменений.
3. ВЦУИ формировались преимущественно через неформальные механизмы координации и адаптации.

Разработанная интеллектуальная информационная система (IIS) сравнивалась с такими системами, как SAP Portfolio and Project Management (SAP), Total Organizational Risk Engine (TORE), Microsoft Power BI с Azure Machine Learning (MPBI) и IBM Watson Discovery (IBM). Сравнительный анализ проводился группой из пяти экспертов по шкале от 0 до 5.

Критериями сравнения были: время обработки документа (K1), объем данных (K2), учет неопределенности внешней среды (K3), анализ временных центров управления (K4), оценка интенсивности изменений (K5), адаптация к новым данным (K6), удобство интерфейса (K7) и необходимость настройки (K8).

На рис. 8 показано распределение экспертных баллов по информационным системам и критериям.

Согласно экспертизе, разработанная информационная система превосходит другие системы в решении рассмотренных задач.

Разработанные в исследовании математическая модель, информационная система и методика нейросетевого анализа могут использоваться как для ретроспективного анализа завершенных проектов, так и для управления текущими проектами. Основные подходы включают:

1. Прогнозирование и оптимизация динамики ВЦУИ.

Нейросетевой анализ данных прогнозирует формирование и трансформацию ВЦУИ, выявляя конфликты и предлагая превентивные меры. Управление интенсивностью изменений через уровни интеграции стейкхолдеров и учет внешних факто-

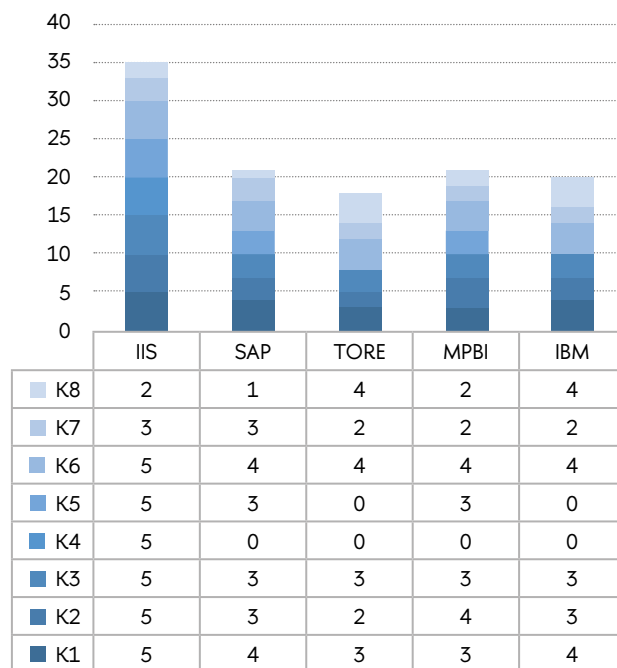


Рис. 8. Экспертные баллы по критериям.

ров помогает избежать как чрезмерной, так и недостаточной активности.

2. Оценка эффективности управления и корректировка стратегии.

Регулярное обновление матриц интеграции и влияния позволяет оценивать работу ВЦУИ, корректировать стратегию управления и адаптировать цели проекта на основе текущих данных и прогнозов.

3. Сценарное моделирование и поддержка принятия решений.

Изменение параметров (интеграция, неопределенность, внешняя среда) в рамках сценарного моделирования помогает оценить последствия решений и выбрать оптимальную стратегию. Интеграция аналитических данных в системы поддержки решений обеспечивает объективную основу для управления.

4. Мониторинг рисков и управление неопределенностью.

Анализ ключевых параметров (матрицы **A**, **P**, **Q**, вектор **D**) позволяет своевременно выявлять риски и предотвращать их развитие. Оценка информационной неопределенности и влияния внешней среды минимизирует риски и повышает адаптивность проекта.

5. Формирование коалиций и взаимодействие со стейкхолдерами.

Анализ возможностей усиления интеграции между ключевыми участниками помогает формировать эффективные коалиции и укреплять диалог со стейкхолдерами для достижения общих целей.

Таким образом, предложенные подходы обеспечивают комплексное управление изменениями, повышая адаптивность и эффективность проектов.

Перспективным направлением исследования является применение методики нейросетевого анализа для сравнения мегапроектов разных типов. Это поможет выявить закономерности динамики ВЦУИ с учетом отраслевой специфики, масштаба, культурного контекста и других факторов. На основе данных, извлеченных нейросетью из мас-

сива документов, можно сформулировать выводы о факторах успеха и неудач мегапроектов, а также разработать универсальные рекомендации по управлению изменениями. ■

Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 225013004474-0 «Разработка методов и инструментов мультимодальной бизнес-аналитики»).

Автор благодарит анонимного рецензента за ценные замечания и рекомендации, которые способствовали улучшению качества статьи, а также экспертов, принявших участие в сравнительном анализе информационных систем.

Литература

1. Абдикеев Н.М., Богачев Ю.С., Бекулова С.Р. Институциональные механизмы обеспечения научно-технологического прорыва в экономике России // *Управленческие науки*. 2019. №9(1). С. 6–19. <https://doi.org/10.26794/2404-022A-2019-9-1-6-19>
2. Митрофанова И.В., Жуков А.Н., Батманова В.В., Митрофанова И.А. Мегапроекты развития территорий: опыт Соединенных штатов Америки и Российской Федерации // *Национальные интересы: приоритеты и безопасность*. 2014. № 31(268). С. 28–40.
3. Daniel E., Daniel P.A. Megaprojects as complex adaptive systems: The Hinkley point C case // *International Journal of Project Management*. 2019. Vol. 37. No. 8. P. 1017–1033. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2019.05.001>
4. Gil N.A. Cracking the megaproject puzzle: A stakeholder perspective? // *International Journal of Project Management*. 2023. Vol. 41. No. 3. Article 102455. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2023.102455>
5. Floricel S., Brunet M. Grandstanding? The elusive process of shaping megaproject symbolism // *International Journal of Project Management*. 2023. Vol. 41. No. 5. Article 102498. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2023.102498>
6. Flyvbjerg B. What You should know about megaprojects and why: An overview // *Project Management Journal*. 2014. Vol. 45. No. 2. P. 6–19. <https://doi.org/10.1002/pmj.21409>
7. Baerenbold R. Reducing risks in megaprojects: The potential of reference class forecasting // *Project Leadership and Society*. 2023. Vol. 4. Article 100103. <https://doi.org/10.1016/j.plas.2023.100103>
8. Megaproject management: A multidisciplinary approach to embrace complexity and sustainability. (Eds.: E. Favari, F. Cantoni). Springer Cham, 2020. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-39354-0>
9. Гусев А.Б., Юревич М.А. Государственная система управления мегапроектами как модель восстановления национального суверенитета // *Вопросы теоретической экономики*. 2022. № 3. С. 62–76.
10. Балацкий Е.В., Екимов Н.А. Феномен мегапроектов в модели многоконтурной экономики // *Вопросы регулирования экономики*. 2021. Т. 12. № 4. С. 25–39. <https://doi.org/10.17835/2078-5429.2021.12.4.025-039>
11. Bourne M., Bosch-Rekveltd M., Pesämaa O. Moving goals and governance in megaprojects // *International Journal of Project Management*. 2023. Vol. 41. Article 102486. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2023.102486>
12. Jiang K., Le P., Zheng A., Zhang A., Ouyang L. Toward a systematic understanding of megaproject improvisation // *International Journal of Project Management*. 2023. Vol. 41. Article 102529. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2023.102529>
13. Machiels T., Compennolle T., Coppens T. Stakeholder perceptions of uncertainty matter in megaprojects: The Flemish A102 infrastructure project // *International Journal of Project Management*. 2023. Vol. 41. Article 102437. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2023.102437>
14. Martinsuo M., Ahola T. Supplier integration in complex delivery projects: Comparison between different buyer-supplier relationships // *International Journal of Project Management*. 2010. Vol. 28. No. 2. P. 107–116. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2009.09.004>
15. Sun J., Zhang P. Owner organization design for mega industrial construction projects // *International Journal of Project Management*. 2011. Vol. 29. No. 7. P. 828–833. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2011.04.005>

16. Zani C.M., Denicol J., Broyd T. Organisation design in megaprojects: A systematic literature review and research agenda // International Journal of Project Management. 2024. Vol. 42. No. 6. Article 102634. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2024.102634>
17. Burton R.M., Obel B. The science of organizational design: Fit between structure and coordination // Journal of Organization Design. 2018. Vol. 7. Article 5. <https://doi.org/10.1186/s41469-018-0029-2>
18. Bakker R.M. Taking stock of temporary organizational forms: A systematic review and research agenda // International Journal of Management Reviews. 2010. Vol. 12. No. 4. P. 466–486. <https://doi.org/10.1111/j.1468-2370.2010.00281.x>
19. Denicol J., Davies A., Pryke S. The organizational architecture of megaprojects // International Journal of Project Management. 2021. Vol. 39. No. 4. P. 339–350. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2021.02.002>
20. Satheesh S.A., Verweij S., van Meerkerk I., Busscher T., Arts J. The impact of boundary spanning by public managers on collaboration and infrastructure project performance // Public performance & management review. 2023. Vol. 46. No. 2. P. 418–444. <https://doi.org/10.1080/15309576.2022.2137212>
21. Denicol J., Davies A. The Megaproject-based firm: Building programme management capability to deliver megaprojects // International Journal of Project Management. 2022. Vol. 40. No. 5. P. 505–516. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2022.06.002>
22. Offenbeek M.A.G., Vos J.F.J. An integrative framework for managing project issues across stakeholder groups // International Journal of Project Management. 2016. Vol. 34. No. 1. P. 44–57. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2015.09.006>
23. Morkan B., Bertels H.M.J., Sheth A., Holahan P.J. Building megaproject resilience with stakeholders: The roles of citizenship behavior and critical transition mechanisms // International Journal of Project Management. 2023. Vol. 41. No. 5. Article 102485. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2023.102485>
24. Jayasuriya S., Zhang G., Pang R.J. Towards successful economic infrastructure partnership project delivery through effective stakeholder management // Transportation Research Interdisciplinary Perspectives. 2024. Vol. 26. Article 101173. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2024.101173>
25. Михненко П.А. Оптимизация процесса адаптации хозяйственной организации к изменениям внешней среды // Проблемы управления. 2009. № 4. С. 32–38.

Приложение 1.

Основные характеристики разработанной информационной системы

Категория	Характеристики
Архитектура системы	Клиент-серверная архитектура с облачным развертыванием. Веб-интерфейс для взаимодействия с конечными пользователями. API-шлюз для интеграции с внешними системами.
Конфигурация API	Методы доступа: POST-запросы для передачи промптов и получения ответов. Лимиты запросов установлены ограничения на количество запросов в секунду (QPS) для стабильной работы системы. Формат входных и выходных данных: JSON.
Модуль загрузки и обработки документов	Поддержка форматов DOCX, PDF, TXT, CSV. Автоматическая конвертация в UTF-8. Извлечение ключевых метаданных.
Модуль анализа данных	Реализация математической модели управления изменениями. Применение нейросетевой модели для генерации числовых оценок. Последовательная статистическая обработка результатов.
Модуль визуализации результатов	Построение графиков динамики интеграции стейкхолдеров. Генерация отчетов в формате HTML.
Технические характеристики	Платформа: Python 3.10. Библиотеки: Pandas, NumPy, Matplotlib, Seaborn, NLTK. API Qwen Cloud.
Загрузка документов	Поддержка форматов DOCX, PDF, TXT, CSV. Автоматическая конвертация в UTF-8. Извлечение ключевых метаданных.
Обработка информации	Предобработка текста через библиотеку NLTK. Формирование запросов к API Qwen Cloud. Статистическая обработка результатов через Pandas.

Категория	Характеристики
Функциональные возможности	Загрузка и анализ документов по мегапроектам. Формирование матриц интеграции A , влияния P и интенсивности Q . Расчет вектора рассогласования D и контрольной матрицы C . Построение прогнозных сценариев развития событий. Оценка эффективности действующих ВЦУИ.
Пользовательский интерфейс	Возможность выбора анализируемого этапа проекта. Настройка параметров анализа (пороговые значения интеграции, влияния). Экспорт результатов в Excel для дальнейшего анализа.
Процесс работы системы	Загрузка документов пользователем через веб-интерфейс. Предобработка текста и извлечение релевантной информации. Формирование запросов к нейросетевой модели согласно математической модели. Статистическая обработка полученных результатов. Визуализация и представление результатов.
Безопасность	Защита данных через шифрование AES-256. Двухфакторная аутентификация для доступа к системе. Ролевая модель управления доступом.
Производительность	Обработка одного документа объемом до 1 МБ за 1-2 минуты. Анализ пакета из 10 документов за 10–15 минут. Максимальный объем обрабатываемых данных за один сеанс – 100 МБ.
Масштабируемость	Возможность горизонтального масштабирования через Docker-контейнеры. Автоматическое масштабирование вычислительных ресурсов в зависимости от нагрузки.
Системные требования	Минимальные: процессор Intel Core i5, 8 ГБ RAM, 100 ГБ свободного места на диске. Рекомендуемые: процессор Intel Core i7, 16 ГБ RAM, 200 ГБ свободного места на диске, видеокарта NVIDIA RTX 2060.
Обучение системы	Использование предварительно обученной нейросетевой модели. Возможность дообучения на новых данных. Механизмы калибровки параметров для конкретных проектов.
Эргономичность	Интуитивно понятный интерфейс. Шаблоны запросов для типовых задач. Возможность сохранения настроек анализа.

Приложение 2.

Алгоритм обработки текстовых данных и генерации числовых оценок

Категория	Компоненты
Подготовка входных данных	Конвертация документов в UTF-8 формат. Извлечение метаданных: дата создания, авторы, источник. Стандартизация терминологии с помощью словаря эквивалентов.
Формирование промпта	Создание структурированного шаблона запроса на основе переменных математической модели. Включение контрольных точек для проверки логической последовательности выводов. Использование формализованного языка описания процессов управления проектами (на основе PMI PMBOK Guide).
Учет ограничений по количеству токенов	Разбиение документов на семантические блоки до 32768 токенов каждый. Последовательная загрузка блоков с сохранением контекста. Применение скользящего окна для перекрытия информации между блоками.
Параметры модели	Temperature: 0,1 (повышение детерминированности ответов). Top-p: 0,9 (обеспечение разнообразия при сохранении качества). Max output tokens: 8192 (полнота анализа контекста). Repetition penalty: 1,1 (снижение повторяемости).
Статистическая обработка результатов	Последовательное уточнение числовых оценок через среднее арифметическое и стандартное отклонение. Минимум 8 шагов загрузки документов для обеспечения сходимости средних значений.

Приложение 3.

Шаблоны промпт-инжиниринга

Шаблон промпта	Комментарий	Пример кода
Chain-of-Thought Prompting	Разбиение сложных задач на последовательность логически связанных шагов.	1. «Шаг 1. Выделите все пары стейкхолдеров с высокой интеграцией». 2. «Шаг 2. Проанализируйте характер их взаимодействия». 3. «Шаг 3. Оцените влияние на достижение целей проекта».
Few-Shot Learning	Предоставление нескольких примеров правильных ответов перед основным запросом.	1. «Пример 1. Для пары S1 и S4 на этапе 1 степень интеграции составляет 0,70». 2. «Пример 2. Для пары S5 и S6 на этапе 3 степень интеграции составляет 0,60». 3. «Теперь выполните аналогичный анализ для пары S2 и S3».
Calibration Prompting	Включение контрольных вопросов с известными ответами для корректировки вероятностей.	1. «Какова вероятность того, что S1 будет иметь высокую интеграцию со S4? (правильный ответ: 0,70)».
Decomposition Prompting	Разбиение сложных задач на подзадачи.	1. «Сначала определите интеграцию между всеми парами стейкхолдеров». 2. «Затем рассчитайте общую интенсивность изменений».
Output Parsing	Структурирование ответов в формате JSON для удобства дальнейшей обработки.	json 1. { 2. "integration_scores": { 3. "S1_S4": 0.70, 4. "S5_S6": 0.60 5. }, 6. "change_intensity": 0.85 7. }
Contextual Instructions	Включение контекста использования результата в запрос.	1. «Оценка нужна для построения матрицы интеграции для дальнейшего математического анализа».
Step-by-Step Feedback	Последовательная корректировка ответов моделью с обратной связью.	1. «Первая версия ответа – ...». 2. «Теперь улучшите ответ, учитывая ...».

Приложение 4.

Матрицы интеграции стейкхолдеров по этапам проекта

Этап 1.		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
	S1	1,00	0,85	0,90	0,70	0,10	0,20	0,20	0,30	0,60
	S2	0,85	0,70	0,38	0,60	0,18	0,30	0,33	0,40	0,70
	S3	0,90	0,38	1,00	0,50	0,10	0,11	0,10	0,20	0,39
	S4	0,70	0,60	0,50	0,80	0,30	0,40	0,30	0,50	0,60
	S5	0,10	0,18	0,10	0,30	0,60	0,55	0,40	0,30	0,22
	S6	0,20	0,30	0,11	0,40	0,55	0,80	0,60	0,40	0,36
	S7	0,20	0,33	0,10	0,30	0,40	0,60	0,70	0,51	0,30
	S8	0,30	0,40	0,20	0,50	0,30	0,40	0,51	0,60	0,40
	S9	0,60	0,70	0,39	0,60	0,22	0,36	0,30	0,40	0,70

Этап 2.		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
	S1	1,00	0,94	0,90	0,60	0,10	0,10	0,12	0,20	0,50
	S2	0,94	0,80	0,33	0,50	0,10	0,24	0,20	0,30	0,60
	S3	0,90	0,33	1,00	0,40	0,13	0,10	0,08	0,20	0,30
	S4	0,60	0,50	0,40	0,75	0,20	0,30	0,20	0,40	0,50
	S5	0,10	0,10	0,12	0,20	0,70	0,60	0,50	0,29	0,20
	S6	0,10	0,24	0,10	0,30	0,60	0,90	0,70	0,40	0,18
	S7	0,12	0,20	0,08	0,20	0,50	0,70	0,84	0,60	0,20
	S8	0,20	0,30	0,20	0,40	0,29	0,40	0,60	0,70	0,32
	S9	0,50	0,60	0,30	0,50	0,20	0,18	0,20	0,32	0,70

Этап 3.		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
	S1	0,98	0,73	0,90	0,40	0,10	0,05	0,05	0,10	0,30
	S2	0,73	0,60	0,20	0,30	0,08	0,10	0,10	0,20	0,40
	S3	0,90	0,20	1,00	0,30	0,10	0,03	0,00	0,13	0,22
	S4	0,40	0,30	0,30	0,60	0,20	0,20	0,10	0,30	0,40
	S5	0,10	0,08	0,10	0,20	0,80	0,70	0,60	0,29	0,20
	S6	0,05	0,10	0,03	0,20	0,70	1,00	0,80	0,40	0,20
	S7	0,05	0,10	0,00	0,10	0,60	0,80	0,90	0,50	0,18
	S8	0,10	0,20	0,13	0,30	0,29	0,40	0,50	0,70	0,30
	S9	0,30	0,40	0,22	0,40	0,20	0,20	0,18	0,30	0,60

Этап 4.		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
	S1	0,95	0,18	0,90	0,10	0,00	0,05	0,00	0,10	0,10
	S2	0,18	0,30	0,10	0,10	0,00	0,10	0,10	0,10	0,20
	S3	0,90	0,10	1,00	0,02	0,00	0,03	0,00	0,00	0,08
	S4	0,10	0,10	0,02	0,70	0,30	0,70	0,40	0,40	0,44
	S5	0,00	0,00	0,00	0,30	0,90	0,84	0,72	0,40	0,30
	S6	0,05	0,10	0,04	0,70	0,84	1,00	0,70	0,52	0,40
	S7	0,00	0,10	0,00	0,40	0,72	0,70	0,80	0,60	0,30
	S8	0,10	0,10	0,00	0,40	0,40	0,52	0,60	0,80	0,40
	S9	0,10	0,20	0,08	0,44	0,30	0,40	0,30	0,40	0,70

Приложение 5.

Матрицы силы влияния стейкхолдеров
на достижение целей по этапам проекта

		G1.1	G1.2	G1.3	G1.4
Этап 1.	S1	1,00	0,80	0,88	0,80
	S2	0,70	0,40	0,50	0,90
	S3	0,90	0,72	0,80	0,50
	S4	0,60	0,30	0,40	0,70
	S5	-0,72	-0,90	-0,48	-0,40
	S6	-0,40	-0,30	-0,40	-0,63
	S7	-0,29	-0,22	-0,30	-0,30
	S8	0,20	0,10	0,23	0,30
	S9	0,50	0,28	0,40	0,60
Этап 2.		G2.1	G2.2	G2.3	G2.4
	S1	0,90	0,92	0,80	0,90
	S2	0,68	0,80	0,92	0,70
	S3	0,80	0,60	0,70	0,60
	S4	0,48	0,40	0,27	0,40
	S5	-0,80	-0,62	-0,50	-0,68
	S6	-0,63	-0,70	-0,80	-0,60
	S7	-0,50	-0,40	-0,30	-0,54
	S8	0,20	0,28	0,20	0,18
	S9	0,30	0,40	0,27	0,30
Этап 3.		G3.1	G3.2	G3.3	G3.4
	S1	0,98	0,59	0,40	0,50
	S2	0,60	0,40	0,26	0,40
	S3	0,82	0,53	0,30	0,20
	S4	0,54	0,20	0,40	0,60
	S5	-0,50	-0,72	-0,80	-0,54
	S6	-0,58	-0,83	-0,90	-0,40
	S7	-0,30	-0,37	-0,50	-0,32
	S8	0,10	0,08	0,20	0,30
	S9	0,18	0,20	0,30	0,40
Этап 4.		G4.1	G4.2	G4.3	G4.4
	S1	0,50	0,42	0,72	0,30
	S2	0,20	0,30	0,58	0,40
	S3	0,60	0,50	0,82	0,20
	S4	0,10	0,20	0,30	0,60
	S5	-0,20	-0,33	-0,40	0,11
	S6	-0,30	-0,40	-0,54	0,70
	S7	-0,10	-0,20	-0,30	0,42
	S8	0,08	0,20	0,18	0,50
	S9	0,20	0,30	0,40	0,63

Приложение 6.

Матрицы интенсивности
изменений проекта по этапам

		G1.1	G1.2	G1.3	G1.4
Этап 1.	S1	2,98	2,00	2,43	2,73
	S2	2,13	1,33	1,71	2,10
	S3	2,46	1,73	2,06	2,07
	S4	1,99	1,16	1,60	1,96
	S5	-0,10	-0,39	-0,09	0,02
	S6	0,12	-0,25	0,05	0,20
	S7	0,22	-0,11	0,14	0,30
	S8	0,86	0,36	0,67	0,95
	S9	1,84	1,08	1,46	1,86
Этап 2.		G2.1	G2.2	G2.3	G2.4
	S1	2,53	2,53	2,47	2,33
	S2	1,80	1,92	1,77	1,72
	S3	1,95	1,85	1,78	1,74
	S4	1,34	1,39	1,24	1,23
	S5	-0,72	-0,57	-0,56	-0,68
	S6	-0,79	-0,63	-0,65	-0,76
	S7	-0,68	-0,49	-0,50	-0,67
	S8	0,19	0,33	0,27	0,13
	S9	1,24	1,36	1,25	1,17
Этап 3.		G3.1	G3.2	G3.3	G3.4
	S1	2,32	1,36	0,97	1,26
	S2	1,37	0,76	0,58	0,93
	S3	1,97	1,16	0,82	0,97
	S4	1,00	0,39	0,36	0,77
	S5	-0,59	-1,13	-1,28	-0,52
	S6	-0,85	-1,43	-1,59	-0,64
	S7	-0,79	-1,26	-1,41	-0,59
	S8	0,08	-0,34	-0,36	0,19
	S9	0,80	0,30	0,26	0,68
Этап 4.		G4.1	G4.2	G4.3	G4.4
	S1	1,07	0,95	1,59	0,75
	S2	0,23	0,26	0,43	0,54
	S3	1,08	0,92	1,55	0,59
	S4	-0,04	-0,03	-0,01	1,66
	S5	-0,38	-0,55	-0,75	1,56
	S6	-0,28	-0,38	-0,50	2,08
	S7	-0,27	-0,36	-0,50	1,67
	S8	-0,04	-0,03	-0,07	1,62
	S9	0,14	0,20	0,31	1,47

Об авторе

Михненко Павел Александрович

доктор экономических наук, доцент;

профессор, кафедра «Бизнес-информатика», Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Россия, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1;

E-mail: pmihnenko@bmstu.ru

ORCID: 0000-0002-1766-8029

Mathematical model and intelligent system for analyzing the intensity of megaproject changes: the role of temporary change management hubs

Pavel A. Mikhnenko

E-mail: pmihnenko@bmstu.ru

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Abstract

Megaprojects represent large-scale investment programs with complex organizational structures, uniting a multitude of stakeholders whose interactions lead to the redistribution of power and the creation of temporary management centers. In conditions of unstable and uncertain external environments, such stakeholder behavior can result in the failure to achieve the set goals of the megaproject. An important scientific task is the development of mathematical models and methods for managing changes in megaprojects caused by the integrative actions of stakeholders under complex external conditions. The present study is aimed at creating a mathematical model and developing an information system for neural network analysis of the intensity of changes in megaprojects. Megaproject management is described using a vector-matrix model of a dynamic system with feedback based on the results of changes. To identify recurring patterns of negative events, the event-oriented analysis method was used. This allows for justifying new approaches to management aimed at reducing uncertainty and enhancing the effectiveness of megaproject implementation. Based on the proposed tools, a retrospective neural network analysis of the intensity of changes in the “Nord Stream 2” megaproject was conducted. Within the study, key groups of stakeholders were identified whose interactions significantly impacted the project’s implementation: Group 1 – Gazprom PJSC, European companies and the governments of Russia and Germany supporting the project; Group 2 – the governments of transit countries, the USA, environmental organizations and Baltic region countries opposing the project or expressing concern about its consequences. It was demonstrated that the integration of separate stakeholder groups contributes to the formation of temporary

management centers with varying interests, leading to an increase in both positive and negative changes within the project. The outcome of the work was the development of an information system for analyzing the intensity of changes in megaprojects in the form of a prototype, which includes: a mathematical model for managing changes in megaprojects; a neural network analysis methodology based on the use of a large language model for processing textual information and generating quantitative assessments; as well as a software interface for uploading documents, automated data processing, and visualization of results. The primary neural network used was the large language model Qwen 2.5-Plus, which, while not specifically adapted for this task, had its parameters calibrated for analyzing the intensity of changes in megaprojects. The system prototype provides users with the ability to analyze stakeholder interactions, assess the intensity of changes and forecast potential risks based on historical data. A promising direction for further research involves applying the model we developed and neural network analysis methodology for comparative studies of various types of megaprojects.

Keywords: megaproject, “Nord Stream 2”, stakeholders, integration activity, uncertainty, intensity of changes, temporary change management center, mathematical model, large language model, neural network analysis, information system

Citation: Mikhnenko P.A. (2025) Mathematical model and intelligent system for analyzing the intensity of megaproject changes: the role of temporary change management hubs. *Business Informatics*, vol. 19, no. 2, pp. 54–76. DOI: 10.17323/2587-814X.2025.2.54.76

References

1. Abdikeev N.M., Bogachev Yu.S., Bekulova S.R. (2019) Institutional mechanisms for ensuring a scientific and technological breakthrough in the Russian economy. *Management Sciences*, no. 9(1), pp. 6–19 (in Russian). <https://doi.org/10.26794/2304-022X-2019-9-1-6-19>
2. Mitrofanova I.V., Zhukov A.N., Batmanova V.V., Mitrofanova I.A. (2014) Megaprojects of territorial development: The experience of the United States of America and the Russian Federation. *National interests: priorities and security*, no. 31(268), pp. 28–40 (in Russian).
3. Daniel E., Daniel P.A. (2019) Megaprojects as complex adaptive systems: The Hinkley point C case. *International Journal of Project Management*, vol. 37, no. 8, pp. 1017–1033. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2019.05.001>
4. Gil N.A. (2023) Cracking the megaproject puzzle: A stakeholder perspective? *International Journal of Project Management*, vol. 41, no. 3, article 102455. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2023.102455>
5. Floricel S., Brunet M. (2023) Grandstanding? The elusive process of shaping megaproject symbolism. *International Journal of Project Management*, vol. 41, no. 5, article 102498. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2023.102498>
6. Flyvbjerg B. (2014) What Pou should know about megaprojects and why: An overview. *Project Management Journal*, vol. 45, no. 2, pp. 6–19. <https://doi.org/10.1002/pmj.21409>
7. Baerenbold R. (2023) Reducing risks in megaprojects: The potential of reference class forecasting. *Project Leadership and Society*, vol. 4, article 100103. <https://doi.org/10.1016/j.plas.2023.100103>
8. Favari E., Cantoni F. (eds.) (2020) *Megaproject management: A multidisciplinary approach to embrace complexity and sustainability*. Springer Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-39354-0>
9. Gusev A.B., Yurevich M.A. (2022) The state management system of megaprojects as a model for restoring sovereignty. *Voprosy teoreticheskoy ekonomiki*, no. 3, pp. 62–76 (in Russian).
10. Balatsky E.V., Ekimova N.A. (2021) Phenomenon of megaprojects in multi-contour economy model. *Journal of Economic Regulation*, vol. 12, no. 4, pp. 25–39 (in Russian). <https://doi.org/10.17835/2078-5429.2021.12.4.025-039>
11. Bourne M., Bosch-Rekveltdt M., Pesämaa O. (2023) Moving goals and governance in megaprojects. *International Journal of Project Management*, vol. 41, article 102486. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2023.102486>
12. Jiang K., Le P., Zheng A., Zhang A., Ouyang L. (2023) Toward a systematic understanding of megaproject improvisation. *International Journal of Project Management*, vol. 41, article 102529. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2023.102529>
13. Machiels T., Compennolle T., Coppens T. (2023) Stakeholder perceptions of uncertainty matter in megaprojects: The Flemish A102 infrastructure project. *International Journal of Project Management*, vol. 41, article 102437. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2023.102437>

14. Martinsuo M., Ahola T. (2010) Supplier integration in complex delivery projects: Comparison between different buyer-supplier relationships. *International Journal of Project Management*, vol. 28, no. 2, pp. 107–116. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2009.09.004>
15. Sun J., Zhang P. (2011) Owner organization design for mega industrial construction projects. *International Journal of Project Management*, vol. 29, no. 7, pp. 828–833. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2011.04.005>
16. Zani C.M., Denicol J., Broyd T. (2024) Organization design in megaprojects: A systematic literature review and research agenda. *International Journal of Project Management*, vol. 42, no. 6, article 102634. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2024.102634>
17. Burton R.M., Obel B. (2018) The science of organizational design: fit between structure and coordination. *Journal of Organization Design*, vol. 7, article 5. <https://doi.org/10.1186/s41469-018-0029-2>
18. Bakker R.M. (2010) Taking stock of temporary organizational forms: A systematic review and research agenda. *International Journal of Management Reviews*, vol. 12, no. 4, pp. 466–486. <https://doi.org/10.1111/j.1468-2370.2010.00281.x>
19. Denicol J., Davies A., Pryke S. (2021) The organizational architecture of megaprojects. *International Journal of Project Management*, vol. 39, no. 4, pp. 339–350. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2021.02.002>
20. Satheesh S.A., Verweij S., van Meerkerk I., Busscher T., Arts J. (2023) The impact of boundary spanning by public managers on collaboration and infrastructure project performance. *Public performance & management review*, vol. 46, no. 2, pp. 418–444. <https://doi.org/10.1080/15309576.2022.2137212>
21. Denicol J., Davies A. (2022) The Megaproject-based firm: Building programme management capability to deliver megaprojects. *International Journal of Project Management*, vol. 40, no. 5, pp. 505–516. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2022.06.002>
22. Offenbeek M.A.G., Vos J.F.J. (2016) An integrative framework for managing project issues across stakeholder groups. *International Journal of Project Management*, vol. 34, no. 1, pp. 44–57. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2015.09.006>
23. Morkan B., Bertels H.M.J., Sheth A., Holahan P.J. (2023) Building megaproject resilience with stakeholders: The roles of citizenship behavior and critical transition mechanisms. *International Journal of Project Management*, vol. 41, no. 5, article 102485. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2023.102485>
24. Jayasuriya S., Zhang G., Pang R. J. (2024) Towards successful economic infrastructure partnership project delivery through effective stakeholder management. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, vol. 26, article 101173. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2024.101173>
25. Mikhnenko P. (2009) Optimization of economic organization adaptation to environment changes. *Control sciences*, no. 4, pp. 32–38 (in Russian).

About the author

Pavel A. Mikhnenko

Doctor of Sciences (Economics), Associate Professor;

Professor, Department of Business Informatics, Bauman Moscow State Technical University, 5, building 1, 2nd Baumanskaya St., Moscow 105005, Russia;

E-mail: pmikhnenko@bmstu.ru

ORCID: 0000-0002-1766-8029