

УДК 338.45.02

DOI 10.26118/2782-4586.2025.93.59.022

Смирнов Егор Александрович

Санкт-Петербургский государственный экономический университет

Факторы, влияющие на применение нечеткой логики для оценки эффективности цифровизации промышленных предприятий

Аннотация. В статье рассмотрены ключевые факторы, влияющие на применение нечеткой логики для оценки эффективности цифровизации промышленных предприятий. Выделены пять основных аспектов: качество и полнота исходных данных, компетентность экспертов и персонала, структура и иерархия критериев оценки, уровень зрелости цифровой инфраструктуры, а также учет ESG-факторов и стратегических целей предприятия. Проведен анализ значимости каждого фактора и их взаимосвязи в контексте цифровой трансформации. Подчеркивается важность комплексного подхода для повышения точности и обоснованности управлеченческих решений, а также перспективы дальнейших исследований в области улучшения данных, инноваций в цифровой инфраструктуре и повышения квалификации специалистов. Статья будет полезна специалистам и исследователям в области промышленной цифровизации и применения нечеткой логики.

Ключевые слова: эффективность, промышленность, цифровизация, нечеткая логика.

Smirnov Egor Alexandrovich

St. Petersburg State University of Economics

Factors influencing the use of fuzzy logic to assess the effectiveness of digitalization of industrial enterprises

Annotation. The article discusses the key factors influencing the use of fuzzy logic to assess the effectiveness of digitalization of industrial enterprises. Five main aspects are highlighted: the quality and completeness of the source data, the competence of experts and staff, the structure and hierarchy of evaluation criteria, the level of maturity of the digital infrastructure, as well as consideration of ESG factors and strategic goals of the enterprise. The analysis of the significance of each factor and their interrelation in the context of digital transformation is carried out. The importance of an integrated approach to improve the accuracy and validity of management decisions is emphasized, as well as the prospects for further research in the field of data improvement, innovation in digital infrastructure and professional development. The article will be useful to specialists and researchers in the field of industrial digitalization and application of fuzzy logic.

Keywords: efficiency, industry, digitalization, fuzzy logic.

Введение. Современные процессы цифровой трансформации охватывают все сферы экономики, управления и производства. Одной из главных задач становится объективная и комплексная оценка эффективности внедрения цифровых технологий. Однако специфика цифровизации — высокая степень неопределенности, сложность, динамичность и неоднородность исходных данных — затрудняет использование традиционного инструментария анализа.

Нечеткая логика, обладающая способностью обрабатывать размытые, неполные и противоречивые данные, становится востребованным инструментом в задаче анализа и принятия управлеченческих решений в условиях цифровизации. Она позволяет учитывать субъективные экспертные оценки, интегрировать качественные и количественные показатели, а также моделировать сложные взаимосвязи, возникающие в цифровых

системах. Научное исследование приобретает особое значение в свете роста интереса к гибким аналитическим инструментам, способным поддерживать принятие решений в условиях неопределенности.

Цель исследования – определить факторы, условия и обстоятельства, влияющие на применение нечеткой логики для оценки эффективности цифровизации.

Методы и подходы: графический и табличный методы представления информации, положения теории экономики и управления промышленностью и производственными комплексами, а также положения теории искусственного интеллекта.

Результаты исследования будут использованы для дальнейшего обоснования применимости нечеткой логики для оценки эффективности цифровизации промышленных предприятий.

Современное общество переживает интенсивный этап цифровой трансформации, охватывающей все сферы экономики, управления и социальной жизни. Цифровизация стала ключевым фактором повышения конкурентоспособности организаций, оптимизации бизнес-процессов и создания новых возможностей для развития. Однако оценка эффективности внедрения цифровых технологий сталкивается с рядом сложностей, обусловленных многообразием критериев, неопределенностью исходных данных и субъективностью экспертных оценок.

В этих условиях всё большую актуальность приобретает применение нечеткой логики — подхода, позволяющего учитывать неопределенность и неоднозначность информации при принятии управленческих решений. Нечеткая логика обеспечивает гибкость моделирования сложных систем, адаптацию к изменяющимся условиям и интеграцию разнородных факторов, что особенно важно для анализа эффективности цифровизации.

Тем не менее, успешное применение нечеткой логики в данной области зависит от ряда факторов: качества исходных данных, уровня экспертной компетентности, выбранных методов агрегирования информации, а также специфики цифровых решений и целей оценки. Понимание и систематизация этих факторов позволяет повысить точность и обоснованность результатов анализа, а также способствует более эффективному управлению процессами цифровой трансформации.

Несмотря на большое количество публикаций, посвященных цифровизации промышленности, ряд аспектов требует более тщательной проработки. В частности, требуют теоретического осмыслиения и прикладного анализа направление факторов, влияющих на применение нечеткой логики для оценки эффективности цифровизации промышленных предприятий. Необходимость рассмотрения данной проблемы предопределила актуальность научного исследования.

Анализ существующих методов и подходов

В контексте промышленных предприятий можно выделить пять ключевых факторов, влияющих на применение нечеткой логики для оценки эффективности цифровизации.

1. Качество и полнота исходных данных

Для корректного функционирования моделей нечеткой логики необходимы достоверные и репрезентативные данные о состоянии производственных процессов, уровне автоматизации, цифровой инфраструктуре и других аспектах предприятия. Недостаточность или низкое качество данных приводит к снижению точности и обоснованности результатов оценки, что особенно критично для сложных промышленных систем, где решения могут иметь значительные финансовые и технологические последствия [1].

2. Компетентность экспертов и персонала

Эффективность применения нечеткой логики во многом зависит от уровня подготовки специалистов, участвующих в формировании правил, определении весов критериев и интерпретации результатов. В промышленности, где процессы часто

уникальны и требуют глубокого понимания специфики оборудования и технологий, недостаточная квалификация персонала может привести к ошибочным выводам и снижению доверия к результатам оценки [6].

3. Структура и иерархия критериев оценки

Промышленные предприятия характеризуются сложной структурой бизнес-процессов, технологических цепочек и организационных уровней. Для адекватной оценки эффективности цифровизации требуется построение многоуровневой системы критериев, отражающей как технические, так и управленческие аспекты. Нечеткая логика позволяет агрегировать разнородные показатели, однако успех зависит от корректной иерархизации факторов и выбора релевантных индикаторов [3].

4. Готовность и зрелость цифровой инфраструктуры

Уровень развития цифровых платформ, интеграция информационных систем, наличие автоматизированных рабочих мест и датчиков напрямую влияют на возможность сбора данных и внедрения цифровых решений. Предприятия с низкой цифровой зрелостью сталкиваются с ограничениями в применении нечеткой логики из-за фрагментарности данных и отсутствия сквозных цифровых процессов [4].

5. Учет ESG-факторов и стратегических целей

Современные промышленные предприятия все чаще ориентируются на принципы устойчивого развития (ESG), что требует учета экологических, социальных и управленческих аспектов при оценке эффективности цифровизации. Нечеткая логика позволяет интегрировать эти разнотипные показатели в единую модель, однако необходима четкая формализация целей и приоритетов предприятия для корректной настройки системы оценки [1].

Каждый из этих факторов определяет, насколько объективно и эффективно нечеткая логика может быть использована для поддержки управленческих решений в условиях цифровой трансформации промышленности.

На основании анализа научных публикаций и статистики в области цифровизации и применения нечеткой логики в промышленности, в таблице 1 можно выделить следующий порядок значимости факторов.

Таблица 1
Ранжирование факторов, влияющих на применение нечеткой логики для оценки эффективности цифровизации промышленных предприятий

Ранг	Фактор	Обоснование
1	Качество и полнота исходных данных	Качественные и полные данные признаны ключевым фактором успешного применения нечеткой логики в большинстве исследований. Недостаточная достоверность данных снижает точность моделей и эффективность цифровизации.
2	Готовность и зрелость цифровой инфраструктуры	Высокий уровень цифровой зрелости предприятия обеспечивает возможность сбора, интеграции и анализа данных, что критично для построения эффективных нечетких моделей.
3	Компетентность экспертов и персонала	Компетентность специалистов, участвующих в формализации и интерпретации нечетких моделей, существенно влияет на корректность и практическую применимость результатов [9].
4	Структура и иерархия критериев оценки	Корректное построение системы критериев и их иерархизация позволяют адекватно агрегировать разнородные показатели и учитывать сложность промышленных процессов [8].

5	Учет ESG-факторов и стратегических целей	Несмотря на растущую значимость ESG и стратегических аспектов, их влияние на эффективность применения нечеткой логики пока менее выражено в статистике публикаций, но отмечается как перспективное направление.
---	--	---

На основании составленной таблицы можно сделать следующие выводы.

1) Качество данных и цифровая зрелость — наиболее критичные факторы, определяющие успех цифровизации с использованием нечеткой логики.

2) Экспертный потенциал и правильная структуризация критериев обеспечивают адаптивность и точность моделей.

3) ESG-факторы постепенно набирают вес, особенно в контексте устойчивого развития и стратегического управления, но пока уступают по частоте упоминаний и влиянию основным технологическим и организационным аспектам.

Такое ранжирование отражает консенсус научного сообщества, подтвержденный результатами многоокритериальных исследований и обзоров в области цифровой трансформации промышленности.

Для полноценного рассмотрения вопроса и использования системного подхода в таблице 2 выделим условия и обстоятельства функционирования факторов применения нечеткой логики в контексте оценки эффективности цифровизации.

Таблица 2

Условия и обстоятельства действия ключевых факторов применения нечеткой логики для оценки эффективности цифровизации промышленных предприятий

Фактор	Условия	Обстоятельства
Качество и полнота исходных данных	<ul style="list-style-type: none"> - Наличие автоматизированных систем сбора данных и сенсорных сетей на производстве. - Регулярное обновление и валидация данных, минимизация пропусков и ошибок. - Интеграция разнородных источников информации (ERP, MES, SCADA и др.) [11]. 	<ul style="list-style-type: none"> - Высокая степень цифровизации бизнес-процессов. - Внедрение стандартов управления качеством данных. - Доступ к историческим и текущим данным для построения и обучения моделей.
Готовность и зрелость цифровой инфраструктуры	<ul style="list-style-type: none"> - Развитая ИТ-инфраструктура: наличие современных серверов, облачных платформ, защищённых сетей. - Интеграция информационных систем и платформ для сквозного обмена данными [5]. 	<ul style="list-style-type: none"> - Поддержка со стороны руководства и наличие стратегии цифровой трансформации. - Инвестиции в обновление оборудования и программного обеспечения. - Отсутствие технологических барьеров (устаревшие системы, низкая пропускная способность сетей).
Компетентность экспертов и персонала	<ul style="list-style-type: none"> - Доступ к обучающим программам и повышение квалификации сотрудников. - Формирование междисциплинарных команд (ИТ- 	<ul style="list-style-type: none"> - Поддержка культуры обмена знаниями внутри предприятия.

	<p>специалисты, аналитики). - Использование экспертных знаний для формирования и проверки правил нечеткой логики.</p>	<p>технологии, - Мотивация персонала к участию в цифровых проектах. - Применение инструментов для оценки и развития компетенций [9].</p>
Структура и иерархия критериев оценки	<p>- Чёткое определение целей оценки и релевантных критериев (технические, экономические, управленические). - Построение многоуровневой иерархии критериев с учётом особенностей производственного процесса. - Применение методов агрегирования и взвешивания критериев.</p>	<p>- Вовлечение экспертов разных направлений в процесс структурирования критериев. - Использование специализированных программных решений для построения иерархий и расчёта весов [2].</p>
Учет ESG-факторов и стратегических целей	<p>- Внедрение корпоративных стратегий устойчивого развития. - Сбор и анализ данных по экологическим, социальным и управленическим аспектам. - Формализация целей и приоритетов предприятия в области ESG [7].</p>	<p>- Давление со стороны регуляторов и инвесторов на соблюдение ESG-стандартов. - Использование цифровых инструментов для мониторинга и отчётности по ESG. - Встраивание ESG-показателей в систему оценки эффективности цифровизации.</p>

Каждый фактор проявляет решающее влияние только при соблюдении определённых условий и в соответствующих обстоятельствах. Их комплексное выполнение обеспечивает объективность, адаптивность и практическую ценность применения нечеткой логики для поддержки управленических решений на промышленных предприятиях при оценке эффективности цифровизации.

Заключение. В заключение можно отметить, что применение нечеткой логики для оценки эффективности цифровизации промышленных предприятий зависит от комплекса взаимосвязанных факторов. Ключевыми среди них являются качество и полнота исходных данных, уровень зрелости цифровой инфраструктуры, компетентность экспертов и персонала, а также корректно выстроенная структура критериев оценки. Учёт каждого из этих аспектов обеспечивает более точное и обоснованное принятие управленических решений в условиях цифровой трансформации. В современных условиях, когда предприятия всё активнее внедряют комплексные цифровые решения и ориентируются на устойчивое развитие с учётом ESG-факторов, интеграция нечеткой логики становится важным инструментом для комплексной и гибкой оценки цифровизации. Дальнейшие исследования должны быть направлены на развитие методов повышения качества исходных данных, совершенствование цифровой инфраструктуры и повышение квалификации персонала для повышения точности и практической значимости оценочных моделей.

Список источников

1. Веретёхин А. В. Оценка уровня цифрового развития промышленного предприятия на основе метода нечеткой логики // π -Economy. 2025. №1. URL:

<https://cyberleninka.ru/article/n/menedzhment-organizatsii-promyshlennoe-predpriyatiye-tsifrovoe-razvitiye-tsifrovaya-transformatsiya-tsifrovizatsiya-nechetkaya-logika> (дата обращения: 01.08.2025).

2. Карякин А.Т. Применение методов нечеткого логического вывода в системах управления ресурсами энергетических предприятий с учетом экономической эффективности // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2025. Том 15. № 2А. С. 145-157.

3. Коханова В.С. АППАРАТ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ КАК ИНСТРУМЕНТ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦИФРОВИЗАЦИИ КОМПАНИИ. Вестник университета. 2021;(2):36-41.

4. Краковская, И.Н., Корокошко, Ю.В. и Слушкина, Ю.Ю. (2024) 'Цифровая зрелость промышленных предприятий: опыт оценки', Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика, 40 (3), с. 433–459. <https://doi.org/10.21638/spbu05.2024.305>.

5. Мансурова Махина Яшнаровна РОЛЬ МЕТОДОВ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ В ПРОЦЕССЕ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ БИЗНЕС ПРОЦЕССОВ // SRT. 2024. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-metodov-nechetkoy-logiki-v-prosesse-otsenki-effektivnosti-biznes-protsessov> (дата обращения: 01.08.2025).

6. Ткаченко Е. А. Трансформация подходов к управлению интеллектуальным капиталом под влиянием цифровизации / Е. А. Ткаченко, Е. М. Рогова, А. А. Хуажев // Экономические науки. Экономика и управление народным хозяйством. – 2020. – № 10 (191). – С. 163-167. – DOI: 10.14451/1.191.163.

7. Kaminsky, Oleg & Koval, Viktor & Yereshko, Julia & Vdovenko, Nataliia & Bocharov, Mykhailo & Kazançoğlu, Yiğit. (2023). Evaluating the Effectiveness of Enterprises' Digital Transformation by Fuzzy Logic. 10.1201/9781003425885-4.

8. L. Maretto, M. Faccio, D. Battini // A Multi-Criteria Decision-Making Model Based on Fuzzy Logic and AHP for the Selection of Digital Technologies // IFAC-PapersOnLine, Volume 55, Issue 2, 2022, Pages 319-324, ISSN 2405-8963, <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.04.213>.

9. Mansurali Anifa, Muruganandham Rajagopal, Krishnan Hariharan, Edwin T S, and Mohammad Mansoor Ahmed Pillai. 2024. Fuzzy Logic Decision Making Approach to identify the maximum influencing factor on productivity. In Proceedings of the 5th International Conference on Information Management & Machine Intelligence (ICIMMI '23). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 11, 1–5. <https://doi.org/10.1145/3647444.3647837/>.

10. Matía F, Aguilar-Crespo JA, Jiménez A, Sanz R, Domínguez JM. Fuzzy Logic and Data Quality in Real-Time Systems. Integrated Computer-Aided Engineering. 1995;2(3):229-239. doi:10.3233/ICA-1995-2306.

11. Serkan Eti, Serhat Yüksel, Hasan Dinçer, Dragan Pamucar, Muhammet Deveci, Gabriela Oana Olaru, A machine learning and fuzzy logic model for optimizing digital transformation in renewable energy: Insights into industrial information integration, Journal of Industrial Information Integration, Volume 42, 2024,100734, ISSN 2452-414X, <https://doi.org/10.1016/j.jii.2024.100734>.

Сведения об авторах

Смирнов Егор Александрович, аспирант кафедры экономики и управления предприятиями и производственными комплексами, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный экономический университет», Санкт-Петербург, Россия

Information about the authors

Smirnov Egor Alexandrovich, PhD student, Department of Economics and Management of Enterprises and Industrial Complexes, St. Petersburg State University of Economics, St. Petersburg, Russia