Сравнение традиционных и нечётких методов оценки эффективности цифровизации промышленных предприятий

Смирнов Егор Александрович
аспирант, кафедра экономики и управления предприятиями и производственными комплексами, Санкт-Петербургский государственный экономический университет, antoshacriper@mail.ru

В статье рассмотрена проблема оценки эффективности цифровизации промышленных предприятий в условиях неопределённости и многоаспектности эффектов трансформации. Дана оценка ограниченности традиционных методов (финансовых показателей, моделей зрелости, многокритериальных и эконометрических подходов) при учёте качественных факторов и слабоструктурированных данных. Представлено обоснование целесообразности применения аппарата нечёткой логики как инструмента, позволяющего формализовать экспертные суждения и агрегировать разнородные критерии в интегральные оценки.
Цель исследования состояла в раскрытии и сравнении возможностей нечёткой логики и традиционных методов для оценки эффективности цифровизации.
В ходе исследования проведена сравнительная характеристика методов по критериям учёта неопределённости, интеграции данных, субъективности и практической применимости.
Основные выводы сводятся к комплементарности нечётких и традиционных подходов и ограничениям нечётких методов. В качестве направлений дальнейших исследований обозначены отраслевая адаптация моделей, развитие гибридных адаптивных схем и исследование долгосрочных эффектов и лагированных зависимостей.
Ключевые слова: нечеткая логика, оценка эффективности, промышленность, цифровизация.

Введение

Актуальность темы исследования обусловлена стремительной цифровой трансформацией промышленного сектора и возрастающей потребностью в адекватных инструментах оценки её результативности. В современных условиях цифровизация выступает ключевым фактором повышения конкурентоспособности предприятий, оптимизации производственных процессов и формирования новых бизнес-моделей. Вместе с тем оценка эффективности реализуемых цифровых инициатив сопряжена с рядом существенных сложностей, связанных с многоаспектностью эффектов (технологических, организационных, экономических), их отсроченным проявлением, а также высокой степенью неопределённости и неполнотой данных.

Традиционные методы оценки, опирающиеся на количественные метрики и строгие детерминированные модели, зачастую оказываются недостаточно гибкими для учёта качественных факторов и нечётких критериев, характерных для цифровой трансформации. Такие подходы предполагают чёткие, измеримые входные параметры и линейные зависимости, что не всегда соответствует реальной практике управления на промышленных предприятиях, где решения принимаются в условиях размытых целевых ориентиров, противоречивых показателей и субъективных экспертных оценок.

В этом контексте перспективным инструментом представляется нечёткая логика, позволяющая формализовать и обрабатывать неточные, субъективные и разнородные данные, характерные для оценки эффектов цифровизации. Её применение даёт возможность учитывать лингвистические переменные (например, «высокая эффективность», «умеренный рост производительности»), агрегировать разноплановые показатели в интегральные оценки и моделировать сложные взаимосвязи без жёстких допущений о характере зависимостей. Это особенно важно для промышленных предприятий, где эффекты цифровизации проявляются в различных сферах — от снижения простоев и брака до улучшения координации подразделений и адаптации к изменениям рыночной конъюнктуры.

Проблема исследования состоит в противоречии между многоаспектностью и неопределённостью эффектов цифровизации промышленных предприятий и ограниченностью традиционных оценочных методов. Существующие подходы, основанные на жёстких количественных показателях и детерминированных моделях, не позволяют полноценно учитывать качественные факторы, экспертные суждения и неполные данные — а именно они зачастую доминируют в практике цифровой трансформации. В результате оценки оказываются упрощёнными, а управленческие решения — недостаточно обоснованными. Поэтому требуется более гибкий инструментарий, способный комплексно отражать эффективность цифровизации с учётом нечёткости и разнородности исходных данных.

Цель исследования — раскрыть и сравнить возможности использования нечёткой логики в оценке эффективности цифровизации промышленных предприятий с традиционными методами.

Литературный обзор

Оценка эффективности цифровизации промышленных предприятий — сложная аналитическая задача, обусловленная многоаспектностью эффектов трансформации, их нелинейным характером и значительной неопределённостью исходных данных. Традиционные методы (финансовые метрики, модели зрелости, многокритериальные подходы) широко применяются на практике и позволяют формализовать отдельные стороны цифровой трансформации, однако зачастую оказываются недостаточно гибкими для учёта качественных факторов, экспертных суждений и отраслевой специфики производственных систем. В этих условиях возрастает интерес к альтернативным инструментам, в частности к методам нечёткой логики, способным интегрировать разнородные данные и работать с размытыми, неполными и субъективными оценками. Литературный обзор посвящён анализу традиционных и нечётких методов оценки эффективности цифровизации, систематизации научных позиций российских и зарубежных исследователей, а также выявлению ключевых ограничений существующих подходов и потенциала применения нечётких моделей в промышленном секторе.

Подходы к оценке эффективности цифровизации: позиции российских и зарубежных учёных

В современной научной литературе оценка эффективности цифровизации промышленных предприятий рассматривается с разных методологических позиций. Российские исследователи (Краковская И., Корокошко Ю., Слушкина Ю.) акцентируют внимание на сочетании финансовых и качественных критериев: наряду с традиционными показателями (ROI, NPV) предлагается учитывать улучшение производственных процессов и рост цифровой зрелости [1]. При этом Головина А. Н., Третьяков К. А., Ваулин А. С. подчёркивают необходимость учёта не только прямых экономических эффектов, но и косвенных — таких как повышение гибкости производства и снижение операционных рисков [2].

Зарубежные авторы делают упор на связь цифровизации с долгосрочной стоимостью предприятия и стратегической конкурентоспособностью. В частности, в работах Го Сингуан и Чэнь Си показано, что эффект от

цифровых преобразований проявляется нелинейно и часто имеет лагированный характер — значимый прирост производительности фиксируется через 1,5–3 года после внедрения технологий [3]. Этот вывод согласуется с результатами работы российского исследователя (Мареев Г.О.), которые предлагают оценивать эффективность цифровизации через максимизацию рыночной стоимости компании [4].

Модели зрелости и многокритериальные методы: теоретические основы и ограничения

Модели зрелости (maturity models) широко представлены как в российской, так и в зарубежной практике оценки цифровой трансформации. А. В. Бабкин, Е. В. Шкарупета и Т. А. Гилева систематизировали подходы к оценке цифровой зрелости промышленных экосистем, выделив ключевые измерения: ИТ-инфраструктура, данные, процессы, кадры и культура [5]. Их подход опирается на балльную шкалу и построение профиля зрелости, что позволяет выявлять «узкие места» трансформации.

Схожую логику используют зарубежные модели, однако они чаще ориентированы на отраслевую специфику и бенчмаркинг. И. Н. Краковская и Ю. В. Корокошко отмечают, что основным недостатком моделей зрелости остаётся слабая связь между баллами зрелости и измеримыми экономическими результатами: высокий уровень зрелости не всегда коррелирует с ростом рентабельности [6].

Многокритериальные методы (AHP, TOPSIS) активно применяются для формализации экспертных оценок. В работах Е. П. Кочеткова и А. А. Забавиной показано, что метод AHP позволяет структурировать критерии эффективности цифровизации и согласовать мнения разных групп экспертов (технологов, экономистов, ИТ-специалистов). Тем не менее, чувствительность результатов к выбору весов критериев и субъективности парных сравнений остаётся существенным ограничением [7].

Нечёткая логика: теоретические предпосылки и прикладные разработки

Теоретической основой применения нечёткой логики выступают работы Л. Заде, заложившего основы теории нечётких множеств и показавшего возможность формализации размытых и неполных данных [8]. В прикладных экономических исследованиях аппарат нечёткой логики используется для моделирования слабоструктурированных систем, где традиционные количественные методы дают искажённые результаты.

Отечественные учёные демонстрируют эффективность нечёткого подхода при оценке инвестиционных проектов с высокой неопределённостью исходных данных [9]. В частности, применение лингвистических переменных («низкий/средний/высокий») и нечётких правил позволяет интегрировать качественные суждения экспертов с количественными метриками без потери содержательной интерпретации.

В области цифровизации промышленности нечёткая логика применяется преимущественно для оценки зрелости цифровых процессов и управления рисками. К. Мачадо и соавторы предложили гибридную модель на базе нечёткой логики и когнитивных карт для анализа взаимосвязей между факторами цифровой трансформации [10]. Аналогичный подход развивают А. В. Бабкин и Е. В. Шкарупета, адаптируя нечёткие методы к специфике промышленных предприятий [11].

Особую ценность представляют гибридные схемы: нечёткий AHP, нечёткие когнитивные карты, нечётко-нейронные сети. Они позволяют сочетать формальную строгость многокритериальных методов с гибкостью обработки неопределённых данных. Как отмечают М. Хизам-Ханафия и М. Соомро, такие модели особенно эффективны в условиях фрагментарных данных и высокой доли экспертных суждений [12].

Пробелы в существующих исследованиях и обоснование актуальности работы

Несмотря на значительный интерес к нечёткой логике, в литературе по-прежнему остаётся ряд нерешённых вопросов, актуальных для оценки эффективности цифровизации промышленных предприятий. Существующие модели зачастую носят общий характер и недостаточно адаптированы к отраслевой специфике, так как они не учитывают особенности промышленных производственных систем — в частности, жёсткие технологические цепочки, а также высокие требования к надёжности и безопасности [13]. Кроме того, эмпирическая база применения нечётких моделей остаётся ограниченной, поскольку практические примеры их использования на реальных предприятиях представлены фрагментарно, а полученные результаты слабо обобщены [14]. Существенны и проблемы интеграции таких моделей в управленческие процессы — нередко они выступают изолированными инструментами, а прозрачность их результатов для лиц, принимающих решения, остаётся на низком уровне. Наконец, требует дополнительной проработки неоднозначность выбора структуры модели, в связи с этим нуждаются в уточнении принципы формирования системы критериев, определения функций принадлежности, построения базы правил и выбора операторов агрегирования применительно к промышленным показателям.

Таким образом, литературный обзор показывает, что, несмотря на развитую теоретическую базу и наличие успешных прикладных примеров, методическое обоснование применения нечёткой логики для оценки эффективности цифровизации промышленных предприятий остаётся недостаточно проработанным. Это обуславливает необходимость дальнейших исследований, направленных на адаптацию нечётких методов к специфике промышленного сектора, разработку унифицированных методических принципов и демонстрацию практической применимости подхода на реальных данных.

Результаты исследования

Результаты исследования демонстрируют, что оценка эффективности цифровизации на промышленных предприятиях опирается на совокупность методологических подходов, каждый из которых обладает определёнными достоинствами и ограничениями — особенно в условиях высокой неопределённости и разнородности данных.

Традиционные финансово-экономические методы, включающие расчёт показателей ROI, NPV, IRR, а также метрик производительности (например, выработки на сотрудника или коэффициента использования оборудования), остаются наиболее распространёнными. Их сильные стороны — чёткая математическая формализация, привычность для финансово-экономических служб и инвесторов, а также возможность прямого сопоставления с плановыми и бюджетными показателями. Однако в контексте цифровизации эти методы сталкиваются с рядом сложностей: они не отражают отсроченные и косвенные эффекты (например, рост гибкости производства или снижение рисков аварий), требуют точных и полных данных, зачастую отсутствующих на ранних этапах трансформации, и слабо учитывают качественные аспекты цифровой зрелости и организационные изменения.

Альтернативным инструментом выступают модели оценки цифровой зрелости и отраслевые методики, позволяющие сформировать профиль зрелости предприятия по ключевым направлениям — ИТ-инфраструктуре, данным, процессам, кадрам и корпоративной культуре. Такой подход даёт структурированную комплексную оценку, наглядно демонстрирует текущие «разрывы» между фактическим и целевым состоянием и удобен для стратегического планирования. Вместе с тем его применение сопряжено с субъективностью экспертных оценок, сложностью перевода балльных значений в измеримые экономические эффекты, а также ограниченностью в отражении динамики и нелинейных эффектов трансформации.

Для учёта разнородных факторов активно используются многокритериальные методы принятия решений — AHP, TOPSIS, ELECTRE и другие. Они позволяют ранжировать проекты цифровизации и выбирать оптимальные альтернативы за счёт системы взвешенных критериев. К преимуществам относится возможность интеграции количественных и качественных показателей, формализация согласования экспертных мнений и поддержка выбора между сценариями. При этом методы чувствительны к выбору весов критериев и точности экспертных суждений, отличаются высокой трудоёмкостью (в частности, при построении иерархий и проведении парных сравнений) и опираются на жёсткие предположения о характере взаимосвязей, которые не всегда соответствуют реальной сложности производственных систем.

Эконометрические и статистические модели — в том числе регрессионный анализ, работа с панельными данными и временными рядами — позволяют выявлять статистические зависимости между внедрением цифровых решений и ключевыми показателями деятельности. Их ценность заключается в объективности, возможности проверки гипотез, оценки значимости факторов и построения прогнозов на основе исторических данных. Однако их применение ограничено необходимостью больших объёмов качественных данных, трудностями учёта нелинейных, пороговых и лагированных эффектов, а также проблемами мультиколлинеарности и эндогенности при оценке влияния цифровизации.

В последние годы возрастает интерес к подходам, ориентированным на работу с неопределённостью, — в первую очередь к нечёткой логике, нечётким множествам и гибридным моделям (например, сочетающим нечёткую логику с AHP или нейронными сетями). Нечёткая логика позволяет формализовать и обрабатывать неполные, размытые и противоречивые данные, учитывать субъективные экспертные оценки через лингвистические переменные и функции принадлежности, а также моделировать сложные, нелинейные и слабоструктурированные зависимости, типичные для промышленных систем. Гибкость метода проявляется и в возможности агрегировать разнородные показатели (технические, экономические, организационные) в единый интегральный индикатор. На практике применяются различные схемы: нечёткая оценка по критериям с формированием итоговой оценки на базе нечётких правил; гибридные конструкции (например, AHP с нечёткими парными сравнениями); нечёткие когнитивные карты для моделирования причинно-следственных связей. При этом использование нечёткой логики связано с рядом вызовов: оно существенно зависит от качества экспертных знаний и корректности базы правил, требует тщательной настройки функций принадлежности и операторов агрегирования, может быть сложным для интерпретации управленцами, не знакомыми с данным аппаратом, а также нуждается в интеграции с корпоративными ИТ-системами для обеспечения воспроизводимости и масштабируемости решений.

Таблица 1
Сравнительная характеристика методов оценки эффективности цифровизации промышленных предприятий

Метод / подход	Учёт неопределённости	Интеграция качественных и количественных данных	Субъективность экспертных оценок	Практическая применимость на производстве
Финансовые показатели (ROI, NPV и др.)	Низкий	Ограниченная	Низкая (при наличии данных)	Высокая для инвестиционных решений
Модели зрелости	Средний	Частичная (через балльные шкалы)	Высокая	Высокая для стратегического планирования
Многокритериальные методы (АИП, TOPSIS)	Средний	Возможна	Средняя (зависит от процедуры сбора мнений)	Средняя (требует ресурсов на настройку)
Эконометрика и статистика	Низкий-средний (при корректной спецификации)	Возможна (при наличии данных)	Низкая (если данные объективны)	Высокая при наличии больших данных
Нечёткая логика и гибридные подходы	Высокий	Высокая	Средняя-высокая (зависит от экспертов)	Растущая, особенно для слабоструктурированных задач

С целью наглядного и укрупненного анализа упомянутых методов и подходов представим их в таблице 1.

Таким образом, нечёткая логика не заменяет традиционные методы, а дополняет их в тех областях, где классические подходы оказываются недостаточно эффективными. Комбинация нечётких моделей с финансовыми и статистическими инструментами позволяет сформировать более сбалансированную и реалистичную оценку эффективности цифровизации, учитывающую как количественные результаты, так и качественные факторы, значимые для принятия управленческих решений на промышленных предприятиях.

Выводы

В ходе исследования выявлена комплементарность нечёткой логики и классических методов оценки эффективности — финансовых, статистических и многокритериальных: нечёткая логика не заменяет их, а восполняет пробелы в тех ситуациях, где данные неполны, эффекты носят отсроченный характер, а критерии отличаются размытостью. Наиболее перспективным представляется гибридный подход, позволяющий сочетать строгую количественную оценку с гибкой обработкой нечётких и экспертных данных. К ключевым преимуществам нечёткой логики в промышленном контексте относится возможность работы с лингвистическими переменными (такими как «высокий», «средний», «низкий»), формализация экспертных суждений, а также агрегирование разнородных показателей — технологических, организационных и экономических — в единый интегральный индикатор без необходимости жёстко задавать характер зависимостей между ними.

Вместе с тем применение нечётких методов сопряжено с рядом ограничений: их результативность во многом зависит от качества экспертных оценок, требует тщательной настройки функций принадлежности и правил, а интерпретация результатов может оказаться затруднительной для управленцев, не обладающих специальной подготовкой в области нечёткой логики. Актуальность проблемы сохраняется, так как существующий разрыв между многоаспектностью и неопределённостью эффектов цифровизации и ограниченными возможностями традиционных методов существенно снижает качество управленческих решений на промышленных предприятиях.

В качестве направлений дальнейших исследований целесообразно выделить отраслевую адаптацию нечётких моделей — разработку и апробацию специализированных решений для отдельных сегментов промышленности (машиностроения, металлургии, химической промышленности) с учётом особенностей технологических цепочек и требований к надёжности и безопасности. Перспективным также является развитие гибридных и адаптивных подходов, предполагающих интеграцию нечёткой логики с методами машинного обучения и когнитивного моделирования для учёта динамики и нелинейных эффектов цифровизации, а также создание адаптивных моделей, способных актуализировать оценки по мере поступления новых данных. Отдельное внимание следует уделить исследованию долгосрочных и лагированных эффектов, поскольку моделирование отсроченных результатов цифровизации (в горизонте 1,5–3 лет и более) с применением нечётких временных рядов и сценарного анализа будет особенно востребовано при обосновании стратегических инвестиционных решений.

Литература

1. Краковская, И., Корокошко, Ю., & Слушкина, Ю. (2024). Цифровая зрелость промышленных предприятий: опыт оценки. Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика, 40(3), 433–459. https://doi.org/10.21638/spbu05.2024.305.
2. Головина Алла Николаевна, Третьяков Константин Александрович, Ваулин Андрей Сергеевич «Экономические эффекты и издержки цифровизации на промышленном предприятии» // Общество: политика, экономика, право. 2023. №7 (120). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/ekonomicheskie-effekty-i-izderzhki-tsifrovizatsii-na-promyshlennom-predpriyatii (дата обращения: 05.08.2026).
3. Guo, Xingguang & Chen, Xi. (2023). The Impact of Digital Transformation on Manufacturing-Enterprise Innovation: Empirical Evidence from China. Sustainability. 15. 3124. 10.3390/su15043124.
4. Мареев, Г. О. Цифровизация бизнеса как фактор стоимости организации / Г. О. Мареев // Вестник евразийской науки. — 2023. — Т. 15. — № s1. — URL: https://esj.today/PDF/82FAVN123.pdf.
5. Бабкин, А. В., Шкарупета, Е. В., Гилева, Т. А., Положенцева, Ю. С. и Чэнь, Л. (2022) 'Методика оценки разрывов цифровой зрелости промышленных предприятий', МИР (Модернизация. Инновации. Развитие), 13 (3), с. 443–458.
6. 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.
7. Кочетков Евгений Павлович, Забавина Анна Александровна, Гафаров Мунхадж Гафараевич «Цифровая трансформация компаний как инструмент антикризисного управления: эмпирическая оценка влияния на эффективность» // СРРМ. 2021. №1. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovaya-transformatsiya-kompaniy-kak-instrument-antikrizisnogo-upravleniya-empiricheskaya-otsenka-vliyaniya-na-effektivnost (дата обращения: 10.08.2026).
8. Zadeh, L.A. (1974). The Concept of a Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning. In: Fu, K.S., Tou, J.T. (eds) Learning Systems and Intelligent Robots. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4684-2106-4_1.
9. Э. А. Алиев, И. А. Габибов, Р. А. Исмаилова, Р. О. Гусейнов Применение нечеткой логики для анализа рисков инвестиционных проектов // SOCAR Proceedings Economy of oil and gas industry. 2022. №2. URL: https://proceedings.socar.az/uploads/pdf/88/OGP2022SI200718_aliyev.pdf (дата обращения: 15.08.2026).
10. Machado, C. G. , Winroth, M., Almström, P., Ericson Öberg, A., Kurdve, M. and AlMashalah, S. (2021) 'Digital organizational readiness: experiences from manufacturing companies', Journal of Manufacturing Technology Management, 32 (9), pp. 167–182.
11. Бабкин, А. В. Методика оценки цифровой зрелости отраслевых промышленных экосистем / А. В. Бабкин, В. В. Глухов, Е. В. Шкарупета // Организатор производства. – 2022. – Т. 30, № 3. – С. 7-20. – EDN ZIQIWS.
12. Hizam-Hanafiah, M., Soomro, M. and Abdullah, N. (2021) 'Industry 4.0 readiness models: A systematic literature review of model dimensions', Information, 11 (7), p. 364.
13. Тенденции развития экономики и промышленности в условиях цифровизации / Под ред. А. В. Бабкина. – Санкт-Петербург : Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого", 2017. – 658 с. – ISBN 978-5-7422-6020-2. – DOI 10.18720/IEP/2017.6. – EDN YPHNNP.
14. Лариса Михайловна Петрова Возможности цифровой трансформации малых и средних сельскохозяйственных предприятий в современных условиях // АВУ. 2023. №12. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vozmozhnosti-tsifrovoy-transformatsii-malyh-i-srednih-selskohozyaystvennyh-predpriyatiy-v-sovremennyh-usloviyah (дата обращения: 19.08.2026).

A comparison of traditional and fuzzy methods for assessing the effectiveness of digitalization in industrial enterprises

Smirnov E.A.
St. Petersburg State University of Economics

JEL classification: C01, C02, C1, C4, C5, C6, C8

The article examines the problem of assessing the effectiveness of digitalization of industrial enterprises under conditions of uncertainty and the multifaceted nature of transformation effects. The limitations of traditional methods (financial indicators, maturity models, multi-criteria and econometric approaches) are assessed when taking into account qualitative factors and loosely structured data. The rationale for using fuzzy logic as a tool that makes it possible to formalize expert judgments and aggregate heterogeneous criteria into integral assessments is presented.

The aim of the study was to reveal and compare the capabilities of fuzzy logic and traditional methods for assessing the effectiveness of digitalization.

The study involved a comparative analysis of methods based on the criteria of accounting for uncertainty, data integration, subjectivity, and practical applicability.

The main conclusions are that fuzzy and traditional approaches are complementary, and that fuzzy methods have limitations. The directions for further research include industry-specific adaptation of models, the development of hybrid adaptive schemes, and the study of long-term effects and lagged dependencies.

Keywords: fuzzy logic, efficiency assessment, industry, digitalization.

References

1. Krakovskaya, I., Korokoshko, Yu., & Slushkina, Yu. (2024). Digital maturity of industrial enterprises: assessment experience. *St. Petersburg University Journal of Economic Studies*, 40(3), 433–459. https://doi.org/10.21638/spbu05.2024.305.

2. Golovina, A. N., Tretyakov, K. A., & Vaulin, A. S. "Economic effects and costs of digitalization at an industrial enterprise" // *Society: Politics, Economics, Law*. 2023. No. 7 (120). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/ekonomicheskie-effekty-i-izderzhki-tsifrovizatsii-na-promyshlennom-predpriyatii (accessed: 05.08.2026).
3. Guo, Xingguang & Chen, Xi. (2023). The Impact of Digital Transformation on Manufacturing-Enterprise Innovation: Empirical Evidence from China. *Sustainability*. 15. 3124. 10.3390/su15043124.
4. Mareev, G. O. Business digitalization as a factor of organizational value / G. O. Mareev // *The Eurasian Scientific Journal*. — 2023. — Vol. 15. — No. s1. — URL: https://esj.today/PDF/82FAVN123.pdf. 5. Babkin, A. V., Shkarupeta, E. V., Gileva, T. A., Polozhentseva, Yu. S., and Chen, L. (2022) 'Methodology for assessing digital maturity gaps in industrial enterprises', MIR (Modernization. Innovation. Development), 13 (3), pp. 443–458.
6. Krakovskaya, I. N., Korokoshko, Yu. V., and Slushkina, Yu. Yu. (2024) 'Digital maturity of industrial enterprises: assessment experience', St. Petersburg University Journal of Economic Studies, 40 (3), pp. 433–459. https://doi.org/10.21638/spbu05.2024.305.
7. Kochetkov, E. P., Zabavina, A. A., and Gafarov, M. G. 'Digital transformation of companies as a crisis management tool: an empirical assessment of the impact on efficiency' // SRRM. 2021. No. 1. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovaya-transformatsiya-kompaniy-kak-instrument-antikrizisnogo-upravleniya-empiricheskaya-otsenka-vliyaniya-na-effektivnost (accessed: 10.08.2026).
8. Zadeh, L. A. (1974). The Concept of a Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning. In: Fu, K. S., Tou, J. T. (eds) Learning Systems and Intelligent Robots. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4684-2106-4_1. 9. E. A. Aliyev, I. A. Gabibov, R. A. Ismailova, R. O. Huseynov. Application of fuzzy logic for investment project risk analysis // SOCAR Proceedings: Economy of the Oil and Gas Industry. 2022. No. 2. URL: https://proceedings.socar.az/uploads/pdf/88/OGP2022SI200718_aliyev.pdf (accessed: 15.08.2026).
10. Machado, C. G., Winroth, M., Almström, P., Ericson Öberg, A., Kurdve, M. and AlMashalah, S. (2021) 'Digital organizational readiness: experiences from manufacturing companies', Journal of Manufacturing Technology Management, 32 (9), pp. 167–182.
11. Babkin, A. V. Methodology for assessing the digital maturity of industrial ecosystems / A. V. Babkin, V. V. Glukhov, E. V. Shkarupeta // Organizer of Production. – 2022. – Vol. 30, No. 3. – P. 7–20. – EDN ZIQIWS.
12. Hizam-Hanafiah, M., Soomro, M. and Abdullah, N. (2021) 'Industry 4.0 readiness models: A systematic literature review of model dimensions', Information, 11 (7), p. 364.
13. Trends in economic and industrial development amidst digitalization / Ed. by A. V. Babkin. – Saint Petersburg : Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 2017. – 658 p. – ISBN 978-5-7422-6020-2. – DOI 10.18720/IEP/2017.6. – EDN YPHNNP.
14. Larisa Mikhailovna Petrova. Opportunities for the digital transformation of small and medium-sized agricultural enterprises in modern conditions // AVU. 2023. No. 12. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vozmozhnosti-tsifrovoy-transformatsii-malyh-i-srednih-selskohozyaystvennyh-predpriyatiy-v-sovremennyh-usloviyah (accessed: 19.08.2026).