

# Оценка эффективности инвестиций в цифровую трансформацию компаний на основе нечетко-множественного подхода

Исмагилов И.И., Бодров О.Г., Гоцуляк И.Ф.

В настоящее время цифровая трансформация является основной тенденцией развития мировой экономики. В рамках этой тенденции идет процесс развития и становления цифровой экономики. В этих условиях расширяется множество новых инновационных бизнес-моделей для развития корпоративного бизнеса. Этим обусловлена актуальность проблемы оценки эффективности инвестиций в цифровую трансформацию компаний. Объект исследования – цифровой инвестиционный проект. Предмет исследования – методический инструментарий принятия инвестиционных решений. Цель исследования – разработка методики комплексной оценки эффективности проектов цифровых инвестиционных проектов. Методология исследования основана на методах теории нечетких множеств и принятия решений в нечеткой среде. В статье рассмотрены особенности инвестиционных проектов по цифровой трансформации компаний и методологические подходы к оценке их эффективности. На основе анализа методов оценки эффективности цифровых инвестиционных проектов было определено, что методический инструментарий оценки требует совершенствования. По результатам проведенного анализа была предложена методика оценки эффективности цифровых инвестиционных проектов на основе нечетко-множественного подхода. Методика основана на применении нечетких мер и нечеткого интеграла Сугено для принятия инвестиционного решения в многокритериальной постановке. Представлены пошаговые описания алгоритмов решения основных задач, решаемых на этапах реализации методики. Предложенная методика является универсальной и обеспечивает комплексную оценку эффективности проектов цифровых инвестиционных проектов компаний.

для цитирования

Исмагилов И.И., Бодров О.Г., Гоцуляк И.Ф. Оценка эффективности инвестиций в цифровую трансформацию компаний на основе нечетко-множественного подхода // Дискуссия. – 2025. – № 5 (138). – С. 94–103.

ГОСТ 7.1-2003

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Цифровая трансформация, цифровая экономика, инвестиционный проект, многокритериальный выбор, нечетко-множественный подход, нечеткий интеграл Сугено.

# Assessment of the efficiency of investments in the digital transformation of companies based on the fuzzy set approach

Ismagilov I.I., Bodrov O.G., Goculyak I.F.

Currently, digital transformation is the main trend in the development of the global economy. Within the framework of this trend, the process of development and formation of the digital economy is underway. In these conditions, a variety of new innovative business models for the development of corporate business is expanding. This determines the relevance of the problem of assessing the effectiveness of investments in the digital transformation of companies. The object of the study is a digital investment project. The subject of the study is a methodological tool for making investment decisions. The purpose of the study is to develop a methodology for a comprehensive assessment of the effectiveness of digital investment projects. The research methodology is based on the methods of fuzzy set theory and decision making in a fuzzy environment. The article discusses the features of investment projects for the digital transformation of companies and methodological approaches to assessing their effectiveness. Based on the analysis of methods for assessing the effectiveness of digital investment projects, it was determined that the methodological assessment tools require improvement. Based on the results of the analysis, a methodology for assessing the effectiveness of digital investment projects based on a fuzzy-set approach was proposed. The methodology is based on the use of fuzzy measures and the Sugeno fuzzy integral for making an investment decision in a multi-criteria formulation. Step-by-step descriptions of algorithms for solving the main problems solved at the stages of the methodology implementation are presented. The proposed methodology is universal and provides a comprehensive assessment of the effectiveness of digital investment projects of companies.

FOR CITATION

Ismagilov I.I., Bodrov O.G., Goculyak I.F. Assessment of the efficiency of investments in the digital transformation of companies based on the fuzzy set approach. *Diskussiya [Discussion]*, № 5 (138), 94–103.

APA

KEYWORDS

Digital transformation, digital economy, investment project, multi-criteria choice, fuzzy set approach, fuzzy Sugeno integral.

## ВВЕДЕНИЕ

Современный этап развития общества характеризуется процессами, связанными переходом к этапу информационного общества. Это связано с интенсивным развитием и внедрением информационно-коммуникационных технологий

(ИКТ) с использованием сетевых инфраструктур. В работе И. Ю. Пащенко [1] отмечается, что информационное общество, согласно Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017 – 2030 годы, определено как общество, в котором информация оказывает

существенное влияние на экономическую и социокультурную сферы.

В современной экономике на базе ИКТ активно развиваются процессы цифровизации экономической деятельности. Эти процессы привели к развитию и становлению цифровой экономики. По мнению ряда ученых, термин цифровая экономика впервые использовал канадский учёный, один из ведущих мировых авторитетов в области бизнеса и экономики Дон Тапскотт [2]. В настоящее время наблюдается достаточно большое количество определений понятия цифровая экономика, нет однозначной трактовки. На основе покомпонентного анализа значительного количества определений зарубежных и российских ученых понятия цифровая экономика в работе И. И. Исмагилова, Г. Алсаид [3] представлена следующая его трактовка: «*Цифровая экономика – это знание-ориентированная экономика на базе цифровых технологий и высокоуровневых услуг сетевых инфраструктур, ориентированная на повышение уровня ее устойчивого инклюзивного роста с целью повышения благосостояния общества*».

К настоящему моменту времени во многих странах мира разработаны и реализуются специальные национальные программы для решения данной задачи. В РФ становлению цифровой экономики способствовала принятая и реализованная национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации» (2017 г.), направления которой рассмотрены в работе Э. Н. Гавриловой [4]. В настоящее время подводятся итоги ее реализации.

Следует отметить, что сегодня цифровая экономика является важнейшим фактором достижения экономического роста. В работах И. И. Исмагилова, Г. Алсаид [5] и Т. В. Миролюбовой, М. В. Радионовой [6] эмпирически показано значимое влияние факторов цифровой трансформации на экономический рост регионов РФ. В работе М. Ву. Куонг [7] выделено три канала стимулирования экономического роста посредством цифровой трансформации:

- передача знаний и инноваций из развитых в развивающиеся страны;
- повышение эффективности распределения ресурсов за счет совершенствования управленческих решений;
- увеличение спроса и снижение издержек производства, что способствует росту и конкурентоспособности.

В настоящее время в связи развитием цифровой экономики в работе М. Г. Головенчик,

Г. Г. Головенчик [8] выделено два основных класса рынков: физические и цифровые. Возможность работы как на физических, так и цифровых рынках приводит к расширению множества возможных стратегий компании за счет появления множества новых инновационных бизнес-моделей. Поэтому наблюдается повышение актуальности задачи оптимизации инвестиционного портфеля компаний с учетом необходимости включения в него цифровых инвестиционных проектов, направленных на цифровую трансформацию бизнеса. Цифровой инвестиционный проект – это такой инвестиционный проект, который предполагает внедрение цифровых технологий и платформ. В работе Н. В. Кузнецова, В. В. Лизяевой [9] отмечается, что реализация цифрового проекта зачастую влечет за собой необратимое изменение не только отдельных бизнес-процессов, но и всей бизнес-модели функционирования организации. В связи с этим управление реализацией цифровых проектов необходимо проводить с учетом требуемого уровня качества цифровой трансформации.

Д. А. Любименко, Е. Д. Вайсман [10] выделяют следующие особенности цифровых инвестиционных проектов: сокращённый жизненный цикл; высокорисковый характер; комплексный характер; дематериализация активов. Метод оценки эффективности цифровых инвестиционных проектов необходимо выбирать с учетом этих их специфических особенностей.

Возрастающая роль цифровой трансформации экономики требует преобразований как в компаниях, так и в управлении их инвестиционными проектами. В результате анализа ключевых проблем, с которыми встречаются компании при цифровой трансформации деятельности, был выявлен недостаточный уровень изученности вопросов комплексной оценки эффективности цифровых инвестиционных проектов в условиях значительности информационной неопределенности. Вышесказанное обуславливает актуальность темы исследования.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Изучению вопросов, связанных с оценкой эффективности и управления инвестиционными проектами компаний, посвящены труды многих отечественных исследователей. В работе С. Н. Маркова, И. А. Полуэктовой [11] отмечается, что подходы к оценке инвестиционных проектов разделяются на многокритериальные и финансовые, каждый из которых имеет свои достоинства, так и недостатки: при оценке экономической эффективности инвестиционных проектов

предпочтение отдается финансовому подходу. Здесь в основном используются динамические методы, в которых подвергаются все денежные потоки в процессе инвестирования дисконтированию. В работах П. Л. Виленского, В. Н. Лившица, С. А. Смоляка [12], Н. В. Лукашова, Е. С. Корбут [13], А. П. Москаленко, Р. В. Ревунова, Н. И Вильдяевой [14] среди таких методов отмечены следующие, которые оперируют следующими показателями инвестиционных проектов: чистый доход (NV), чистый дисконтированный доход (NPV), внутренняя норма возврата (IRR), индекс прибыльности (PI), внутренняя норма рентабельности (IRR), дисконтированный срок окупаемости (PP) и т.д.

При вычислении каждого из этих показателей денежный поток инвестиционного проекта предполагается известным. Однако на практике, как правило, невозможно получить точную оценку денежного потока инвестиционного проекта. Это вызывает большой риск, связанный с высокой неопределенностью оценки генерируемых инвестиционным проектом прогнозируемых денежных потоков. В этом случае в работах В. М. Аньшина и др. [15], И. З. Батыршина и др. [16], А. О. Недосекина [17] рекомендуется использовать нечеткие числа, параметры которых могут быть оценены экспертами: Н. В. Кузнецова, В. В. Лизяева [9] подчеркивают, что, как показывает практика, значительное число проектов цифровизации реализуется с нарушением сроков, перерасходом бюджета или отклонениями от изначально запланированных критериев качества. В работе Д. А. Любименко, Е. Д. Вайсмана [10] отмечается, что «одной из причин низкого уровня цифровизации промышленных предприятий является высокая стоимость цифровых инвестиционных проектов при отсутствии адекватной методики оценки их эффективности». При этом подчеркивается актуальность проблемы поиска адекватного подхода к оценке экономической эффективности цифровых проектов.

В качестве основного показателя экономической эффективности инвестиционного проекта на практике часто используется показатель NPV. В теоретическом и прикладном аспекте представляет интерес ее изучение в нечеткой среде. В работах И. З. Батыршина и др. [16], А. О. Недосекина [17] эта задача погружается в нечеткую среду, в которой все или некоторые параметры обладают определенной размытостью.

Здесь следует отметить следующее. Каждый из методов оценки экономической эффективности инвестиционных проектов имеет свои сильные

и слабые стороны. Выбор метода зависит от специфики проекта, горизонта планирования и доступной информации. В инвестиционном анализе рекомендуется использовать несколько методов для комплексной оценки, что позволяет принять более обоснованное решение, особенно в случае сложных инвестиционных проектов. Использование комплекса методов оценки позволяет получить более полное представление об инвестиционном проекте. Такой комплексный подход также способствует более глубокому анализу рисков, связанных с инвестициями. Особенно актуален этот подход к оценке эффективности цифровых инвестиционных проектов. Это связано с тем, что при этом целесообразно использование не только показателей экономической эффективности, но и других, например технологической, т.е. задача оценки и выбора таких инвестиционных проектов должна решаться в многокритериальной постановке.

Вопросы оценки и выбора инвестиционных проектов в многокритериальной постановке рассмотрены в работах ряда российских исследователей, например, в работах Т. В. Лесиной [18], Д. А. Любименко, Е. Д. Вайсмана [10] и Т. В. Братарчука, Ю. В. Рагулиной, Н. В. Яремчука [19]. Авторами этих работ сформулирован вывод, что разработка методологии оценки инвестиционных проектов требует интеграции различных методик для учета с их специфики. Для оценки определенных групп показателей цифровых инвестиционных проектов предложено использовать функцию желательности Харрингтона, представленного в работе Н. В. Дилигенского, Л. Г. Дымовой и П. В. Севастьянова [20].

Отметим также, что задача оценки экономической эффективности инвестиционных проектов и выбор наилучшего проекта в условиях цифровой трансформации экономики во многих случаях решается в условиях значительной информационной неопределенности. Например, в работе И. И. Исмагилова [21] отмечается, что в электронном бизнесе может наблюдаться известное предположение П. Дэвида – «гипотеза отсрочки Дэвида» (David delay hypothesis), гласящее о том, что происходит откладывание во времени выгод от применения информационных технологий. Этим обусловлена актуальность в настоящее время разработки методов оценки эффективности цифровых инвестиционных проектов в условиях нечеткой неопределенности. В таких условиях инвестиционный анализ различных цифровых инвестиционных проектов, основанный на методах теории

нечетких множеств, является мощным средством выработки решений в области инвестиций.

В работах В. В. Веденникова [22], Е. С. Волковой, В. Б. Гисина [23] показано, что методы теории нечетких множеств в настоящее время находят широкое применение в экономических исследованиях. С начала 70-х годов 20 века развивается новое направление в рамках этой теории, получившее название Fuzzy Economics, основные компоненты и применения которой в экономике проанализированы в работе М. Е. Лебедевой [24]. Это связано с тем, что в ряде случаев решение задач проводится в условиях значительной информационной неопределенности. Среди основных причин частичной или полной неопределенности отмечаются следующие: отсутствие достоверной информации за достаточно продолжительный период; наличие лишь информации качественного характера или невозможность количественной; направления развития процессов зависят от принимаемых решений; неустойчивое развитие и нарушение инерции в динамике процессов и явлений; качественно новые процессы и явления.

Целью данной работы является разработка методики комплексной оценки эффективности цифровых инвестиционных проектов на основе нечетко-множественного подхода для повышения уровня обоснованности инвестиционных решений компаний при цифровой трансформации их экономической деятельности. Научная новизна исследования заключается в постановке и решении задач, связанных с разработкой методики комплексной оценки цифровых инвестиционных проектов на основе нечетких мер и нечеткого интеграла Сугено, позволяющих учитывать обычно игнорируемые проявления взаимодействия критериев оценивания при принятии инвестиционных решений. Методология исследования включает следующие методы: анализа и обобщения результатов научных работ, оценки эффективности инвестиционных проектов, теории нечетких множеств, принятия решений в нечеткой среде.

В укрупненном виде методика оценки и выбора для реализации цифрового инвестиционного проекта состоит из следующих этапов:

1. Определение круга альтернативных направлений инвестирования и формирование исходного множества вариантов цифрового инвестиционного проекта (далее для краткости альтернатив). На этом этапе отсеиваются заведомо неэффективные альтернативы.

2. Анализ перспективных альтернатив и их ранжирование по предпочтительности.

### 3. Выбор альтернативы для инвестирования и реализации.

На первом этапе менеджеры и специалисты компании, занимающиеся задачами цифровой трансформации бизнеса, формируют предложения по альтернативам. Возможно также привлечение к решению внешних организаций, занимающихся проблемами цифровой трансформации компаний. По завершению формирования множества возможных альтернатив, ставится задача выбора приоритетных путем их сравнения по ряду показателей, среди которых в общем случае можно выделить экономические, финансовые, технологические, маркетинговые, а также риски, связанные с каждой альтернативой проекта.

Задача выбора цифрового инвестиционного проекта в рассматриваемой постановке относится к задачам многокритериального выбора дискретных альтернатив в нечеткой среде. При решении задачи нами предлагается использовать нечеткое интегрирование как метод комплексной оценки проекта, близкой к той, которую интуитивно предполагает человек. Этот метод ослабляет условия суммируемости, вводит формализацию, основанную на монотонности оценок. Инвестиционные проекты ранжируются по значениям их комплексных оценок эффективности (интегральных критериев), определяемых с использованием нечеткого интеграла, предложенного в работах М. Сугено [25], [26].

Нечеткий интеграл Сугено в дискретном варианте от функции  $h(i)$ ,  $i=1,2,\dots,n$ , в случае упорядочения  $h(x_1) \leq \dots \leq h(x_n)$  на множестве  $U = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  по нечеткой мере  $g$  определяется по выражению

$$\int h(x) \circ g = \bigvee_{i=1}^n (h(i) \wedge g(E_i)),$$

где  $E_i = \{x_1, x_2, \dots, x_i\}$ ;  $\bigvee$  – соответственно символы операторов нахождения максимума и минимума. Символ  $\int$  означает нечеткий интеграл, а символ  $\circ$  – знак композиции.

Принципиальное отличие подхода к решению многокритериальных задач выбора альтернатив на основе нечеткого интеграла Сугено заключается в том, что в нем учитывается обычно игнорируемые проявления взаимодействия критериев. В этом подходе каждому подмножеству множества критериев определено число, характеризующее совокупную ценность критериев, входящих в это подмножество. Х. А. Примова [27] отмечает, что нечеткий интеграл от функции  $h$  по нечеткой мере  $g$  представляет собой общую оценку в виде нелинейной свертки частных оценок альтернатив

и при этом не исключается возможность взаимосвязи критериев оценки.

Инвестиционный выбор на основе нечеткого интеграла Сугено требует разработки следующих алгоритмов:

- построение функций принадлежности альтернатив нечеткому множеству *<Рациональная альтернатива>* по частным критериям;
- вычисление нечетких плотностей;
- вычисление нечеткого интеграла.

В предлагаемом методическом подходе к оценке эффективности цифровых инвестиционных проектов используемые количественные частные критерии могут представляться как в виде четких, так и нечетких чисел. При необходимости нечеткие оценки по критериям приводятся к четкому виду с использованием операции дефазификации нечетких чисел, рассмотренной, например, в работе И. И. Исмагилова и др. [28]. Для построения функций принадлежности альтернатив нечеткому множеству *<Рациональная альтернатива>* по частным количественным критериям рекомендуется использовать метод нечеткого математического ожидания, представленный в этой работе. Пошаговое описание алгоритма реализации этого метода имеет следующий вид:

Шаг 1. Определяем носитель  $D_0$  выпуклого нечеткого числа (отрезок).

Шаг 2. Каждому из  $N$  экспертов предлагается вопрос: “Какая часть  $D_0$  соответствует (совместна) названию нечеткого множества *<Рациональная альтернатива>* с заданной уверенностью ”.

Экспертом предлагается оценивать свою степень уверенности числами из единичного отрезка в соответствии со шкалой:  $\alpha = 1$  – абсолютно уверен;  $\alpha = 0,8$  – существенная уверенность;  $\alpha = 0,6$  – сильная уверенность;  $\alpha = 0,4$  – более или менее уверен;  $\alpha = 0,2$  – слабая уверенность.

В результате каждый  $i$ -й эксперт, при фиксированном значении истинности  $\alpha^*$ , сообщает значения левой и правой границы отрезка, которые обозначены как  $x_{Li}(\alpha^*)$ ,  $x_{Ri}(\alpha^*)$ .

Шаг 3. Для каждой фиксированной степени истинности вычислим среднее значение левой и правой границ интервала  $C_\alpha = [L_j(\alpha); R_j(\alpha)]$  по формулам

$$L_j(\alpha) = \sum_{i=1}^H \frac{x_{Li}(\alpha) \cdot n_i}{N}; R_j(\alpha) = \sum_{i=1}^H \frac{x_{Ri}(\alpha) \cdot m_i}{N},$$

где  $n_i$  и  $m_i$  – соответственно число экспертов, сообщивших значения левой и правой границ  $x_{Li}(\alpha)$ ,  $x_{Ri}(\alpha)$ .

Шаг 4. Строим функцию принадлежности по формуле

$$\mu_A(x) = \max\{ \alpha: x \in C_\alpha \}.$$

При графическом отображении результата “восстановления” искомой функции принадлежности по этой формуле каждый  $\alpha$ -срез откладывается на высоте по оси ординат. При необходимости аналитического описания функции принадлежности в общем случае следует использовать кусочно-линейное представление с использованием полученных  $\alpha$ -срезов. Значения степени принадлежности альтернатив к нечеткому множеству *<Рациональная альтернатива>* для четких значений количественных критериев целесообразно определять с использованием такого аналитического представления функции принадлежности.

Оценки по качественным частным критериям рекомендуется проводить экспертами с использованием шкалы Харрингтона, представленной в работе В. А. Глотова, В. В. Павельева [29]. Шкала Харрингтона приведена в таблице 1.

Таблица 1  
Вербально-числовая шкала Харрингтона

Шкала Харрингтона		
Интенсивность свойства в вербальной шкале	Интервалы оценок	Средняя оценка
Очень низкая	0-0,2	0,1
Низкая	0,2-0,37	0,28
Средняя	0,37-0,63	0,5
Высокая	0,63-0,8	0,71
Очень высокая	0,8-1	0,9

Источник: В. А. Глотова, В. В. Павельева [29].

Переход от первичной балльной шкалы оценок альтернатив по качественным критериям к степеням принадлежности нечеткому множеству *<Рациональная альтернатива>* проводится с использованием средних значений числовых интервалов шкалы Харрингтона.

Получение таких оценок альтернатив по качественным критериям возможно также с использованием матрицы попарных сравнений альтернатив по предпочтительности с использованием шкалы Саати на основе положений метода анализа иерархий, представленного в работе Т. Саати [30]. Этот подход к решению рассматриваемой задачи характеризуется большей экспертной трудоемкостью относительно подхода на основе шкалы Харрингтона.

Как следует из вышеизложенного, конечным результатом работы экспертной группы по оцениванию альтернатив является определение для каждой альтернативы степени принадлежности

нечеткому множеству <Рациональная альтернатива> для каждого частного критерия, представленного числом из промежутка  $[0, 1]$ . Полученные числа являются частными оценками альтернатив по каждому критерию, используемыми при вычислении дискретных нечетких интегралов Сугено.

Вычисление нечеткого интеграла требует идентификации нечеткой меры Сугено. Проводится она при следующем формальном описании соответствующей задачи. Пусть  $(\Gamma, \beta(\Gamma), g)$  – пространство показателей с нечеткой мерой  $g$ ,  $\Gamma = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  – множество изучаемых показателей проекта и  $\beta(\Gamma)$  – множество всех подмножеств  $\Gamma$ .

Нечеткой мерой называется функция множества  $g$ , заданная на множестве  $\beta(\Gamma)$  и удовлетворяющая следующим условиям, сформулированным М. Сугено [25], [26]: ограниченность, монотонность и непрерывность. Отметим, что с математической точки зрения нечеткая мера формально обобщает аддитивную вероятностную меру.

М. Сугено [25], [26] предложил следующую нечеткую меру объединения  $g(A \cup B)$ :

$$g(A \cup B) = g(A) + g(B) + \lambda g(A)g(B),$$

$$-1 < \lambda < \infty, \quad A \cap B = \emptyset.$$

Это выражение называется  $\lambda$ -правилом, а нечеткая мера  $\lambda$ -мерой Сугено  $g_\lambda$ .

В случае решения поставленной задачи в качестве  $\Gamma$  используется конечное множество мощности  $n$ . Нечеткая мера в этом случае строится с использованием нечеткой плотности  $\lambda$ -меры:  $g(x_i) = g_\lambda(\{x_i\})$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ .

Алгоритм приближенной экспериментальной оценки идентификации нечеткой меры Сугено представлен в работе С. Т. Верジョン [31] и состоит из следующих шагов:

Шаг 1. Сформировать экспертные кумулятивные оценки важности множеств показателей  $w(i) = w(\{x_1, x_2, \dots, x_i\})$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ .

Шаг 2. Выбрать подмножества показателей  $F_k \in \beta(\Gamma)$ ,  $k = 1, 2, \dots, m$  важные с точки зрения экспертов.

Шаг 3. Записать выражения для вычисления нечетких плотностей

$$g(x_i) = \frac{w(i) - w(i-1)}{1 + \lambda w(i-1)}.$$

Шаг 4. Найти  $\lambda$  из условия минимума критерия

$$Q = \sum_{k=1}^m (w(F_k) - g_\lambda(F_k))^2.$$

Шаг 5. Вычислить нечеткие  $\lambda$ -меры Сугено для всех выбранных подмножеств показателей  $g_\lambda(F_k) = \sum_{i=1}^k g_i + \lambda \sum_{i_1=1}^{k-1} \sum_{i_2=i_1+1}^k g_{i_1} g_{i_2} + \dots + \lambda^{k-1} g_1 g_2 \dots g_k$ .

Вычисленное значение параметра  $\lambda$  позволяет вычислить нечеткие меры всех подмножеств показателей из  $\beta(\Gamma)$ . Отметим также, что возможно построение групповой меры Сугено на основе информации, полученной от нескольких экспертов. Задача построения такой групповой нечеткой меры рассмотрена в работе Е. Д. Бычкова [32].

Алгоритм вычисления нечеткого интеграла Сугено для рассматриваемой альтернативы базируется на результатах реализации алгоритма построения функций принадлежности частных критериев. Эти частные оценки альтернатив по каждому критерию должны быть упорядочены следующим образом:  $h(x_1) \leq \dots \leq h(x_n)$ . Пошаговое описание алгоритма имеет следующий вид:

Шаг 1. Сформировать множества  $E_i = \{x_i, \dots, x_n\}$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ .

Шаг 2. Рассчитать значения мер Сугено  $g_\lambda(E_i)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ .

Шаг 3. Вычислить  $h(x_i) \wedge g(E_i)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ .

Шаг 4. Вычислить интеграл Сугено  $S = \bigvee_{i=1}^n (h(i) \wedge g(E_i))$ .

Полученное значение интеграла Сугено является интегральной оценкой рассматриваемой альтернативы по выбранной совокупности критериев. Применяя рассмотренные вычислительные процедуры, можно найти интегральные оценки остальных альтернатив. С использованием значений интегралов Сугено всех анализируемых альтернатив можно сформировать вектор их интегральных оценок  $\{S_1, \dots, S_n\}$ . С использованием этого вектора можно провести ранжировку альтернатив по предпочтительности. Максимальное значение элемента вектора интегральных оценок позволяет выбрать лучшую альтернативу (цифровой инвестиционный проект) для реализации.

При решении рассмотренных задач, связанных с выбором цифровых инвестиционных проектов, возникает ряд задач прогнозирования показателей их эффективности в условиях значительной неопределенности. В этих условиях целесообразно решение прогнозных задач вести методом нечеткого прогнозирования И. И. Исмагилова, Р. В. Бичурина [33], базирующегося на процедуре групповой экспертизы. Метод позволяет получить прогнозы в виде нечетких чисел (прогнозы типа “приблизительно равно К”). Метод ориентирован на получение группового прогнозного решения. Отметим, что при необходимости полученные нечеткие прогнозы типа “приблизительно равно К” с использованием соответствующих  $\alpha$ -срезов функций принадлежности могут быть приведены

к прогнозам, описываемыми треугольными и трапецидальными нечеткими числами.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В современных условиях развития и становления цифровой экономики инвестиции играют ключевую роль в процессах цифровой трансформации экономической деятельности компаний. В связи с этим возрастают актуальность проблемы разработки и реализации цифровых инвестиционных проектов.

Поиск подходов к совершенствованию оценки эффективности цифровых инвестиционных проектов в условиях становления цифровой экономики следует проводить в направлении комплексных методик, учитывающих специфику таких проектов и решающих задачи оценки в много-критериальной постановке. При этом с учетом того, что задачи оценки эффективности цифровых инвестиционных проектов решаются в условиях значительной информационной неопределенность при разработке таких методик, надо опираться на нечетко-множественный подход.

В работе предложена методика многокритериальной оценки эффективности цифровых

инвестиционных проектов на основе нечетких мер и нечеткого интеграла Сугено. Представлены пошаговые описания алгоритмов решения основных задач этапов реализации методики в нечетких постановках. Методика обеспечивает комплексную оценку эффективности проектов, при этом предусмотрена возможность использования специфических показателей, учитывающих особенности цифровых инвестиционных проектов. При этом эти показатели могут носить как количественный, так и качественный характер. Методика позволяет провести ранжировку вариантов цифрового инвестиционного проекта по предпочтительности, которая обеспечивает выбор лучшего проекта для практической реализации. Перспективным направлением для дальнейших исследований в данной области является разработка методик решения задач формирования рационального портфеля цифровых инвестиционных проектов на основе нечетких мер и нечетких интегралов для использования при выработке стратегических решений по цифровой трансформации экономической деятельности компаний.

## Список литературы

- Пашенко, И. Ю. Современный этап развития информационного общества в Российской Федерации: цифровая информация, информационные технологии и государственное управление // NB: Административное право и практика администрирования. – 2022. – № 3. – С. 58-68.
- Дон, Тэпскотт. Цифровая экономика: перспективы и опасности в век сетевого интеллекта. – Макгроу-Хилл, 1994. – 368 с.
- Исмагилов, И. И. Алсаиед, Г. Цифровая экономика: компонентный анализ определений понятия // Дискуссия. – 2023. – № 4(19). – С. 6-16.
- Гаврилова, Э. Н. Национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации» как механизм поддержки российской отрасли информационных технологий // Вестник университета. – 2022. – № 12. – С. 110-118.
- Исмагилов, И. И., Алсаиед Г. Оценка влияния факторов цифровой трансформации на региональный экономический рост на основе регрессионного анализа // Креативная экономика. – 2025. – Т. 19, № 5. – С. 1131-1146. – DOI 10.18334/ce.19.5.123184.
- Миролюбова, Т. В., Радионова, М. В. Оценка влияния факторов цифровой трансформации на региональный экономический рост // Регионология. – 2021. – Т. 29, № 3. – С. 486-510. – DOI 10.15507/2413-1407.116.029.202103.486-510.
- Хуонг, М. Ву. ИКТ как источник экономического роста в информационную эпоху: эмпирические данные за период 1996-2005 гг. // Телекоммуникационная политика. – 2011. – Т. 35, № 4. – С. 357-372.
- Головенчик, М. Г., Головенчик, Г. Г. Особенности функционирования цифровых рынков // Цифровая трансформация. – 2023. – № 29 (2). – С. 13-23.
- Кузнецов, Н. В., Лизяева, В. В. Управление проектами цифровизации: методологический, организационный и финансовый аспекты // Фундаментальные исследования. – 2020. – № 2. – С. 32-37.
- Любименко, Д. А., Вайсман, Е. Д. Методический подход к оценке эффективности цифровых инвестиционных проектов // Экономика. Информатика. – 2020. – Т. 47, № 4. – С. 718-728. – DOI 10.18413/2687-0932-2020-47-4-718-728.
- Марков, С. Н., Полуэктова, И. А. Подходы к оценке инвестиционных проектов в цифровой экономике // Вестник Алтайской академии экономики и права. – 2023. – № 4-1. – С. 109-114.
- Виленский, П. Л., Лившиц, В. Н., Смоляк, С. А. Оценка эффективности инвестиционных проектов: Теория и практика: Учебное пособие. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Поли Принт Сервис, 2015. – 1300 с.
- Лукашов, Н. В., Корбут, Е. С. Уточнение механизма экономической оценки цифровых проектов // Инновации и инвестиции. – 2020. – № 3. – С. 18-20.
- Москаленко, А. П., Ревунов, Р. В., Вильдяева, Н. И. Инвестиционное проектирование: основы теории и практики: учебное пособие для вузов. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2023. – 376 с.
- Аншин, В. М., Демкин, И. В., Царьков, И. Н., Никонов, И. М. Применение теории нечетких множеств к задаче формирования портфеля проектов // Проблемы анализа риска. – 2008. – Т. 5, № 5. – С. 8-21.
- Батыршин, И. З., Недосекин, А. О., Стецко, А. А., Тарасов, В. Б., Язенин А. В., Ярушкина Н. Г. Нечеткие гибридные системы. Теория и практика / под ред. Ярушкиной Н. Г. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 208 с.

17. Недосекин, А. О. Нечетко-множественный анализ риска фондовых инвестиций. – СПб.: Сезам, 2002. – 181 с.
18. Лесина, Т. В. Методические принципы обоснования эффективности инвестиционных проектов при выборе информационной системы управления // Креативная экономика. – 2010. – Т. 4, № 12. – С. 16-21.
19. Братарчук, Т. В., Рагулина, Ю. В., Яремчук, Н. В. Особенности формирования методологических подходов к оценке инвестиционных проектов по созданию научноемкой продукции // Креативная экономика. – 2023. – Т. 17, № 5. – С. 1619-1636. – DOI 10.18334/ce.17.5.117795.
20. Дилигенский, Н. В., Дымова, Л. Г., Севастьянов, П. В. Нечеткое моделирование и многокритериальная оптимизация производственных систем в условиях неопределенности: технология, экономика, экология. – М.: Машиностроение, 2004. – 397 с.
21. Исмагилов, И. И. Стратегическое управление развитием предприятия в условиях становления сетевой экономики // Казанский экономический вестник. – 2012. – № 1(1). – С. 16-18.
22. Ведерников, В. В. Нечетко-множественное моделирование в анализе и прогнозировании экономических явлений и процессов: исторический аспект // Проблемы современной экономики. – 2006. – № 1-2(17-18). – С. 446-449.
23. Волкова, Е. С., Гисин, В. Б. Нечеткие множества и мягкие вычисления в экономике и финансах: учебное пособие. – М.: КноРус, 2024. – 156 с.
24. Лебедева, М. Е. Нечеткая логика в экономике – формирование нового направления // Идеи и идеалы. – 2019. – Т. 11, № 1, ч. 1. – С. 197-212.
25. Сугено, М. Нечеткая мера и нечеткие интегралы // Пер. с англ. SISE. – Т. 8, № 2, 1972. – С. 95-102.
26. Сугено, М. Нечеткие меры и нечеткие интегралы: обзор // Нечеткие автоматы и процессы принятия решений / под ред. М. М. Гупты, Г. Н. Саридса. – Амстердам, Северо-Голландская издательская компания, 1977. – С. 89-102.
27. Примова, Х. А. Принятие слабоструктурированных решений в задачах селекции на основе нечеткого интеграла // Проблемы вычислительной и прикладной математики. – 2016. – № 3(5). – С. 80-87.
28. Исмагилов, И. И., Салахутдинов Р. З., Катасев, А. С., Катасев, Д. В. Нечеткие множества: основы теории и приложения к моделированию решений: учебное пособие. – Казань, Изд-во КНИТУ-КАИ, 2025. – 180 с.
29. Глотов, В. А., Павельев, В. В. Векторная стратификация. – М.: Наука, 1984. – 132 с.
30. Саати, Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с.
31. Вежчон, С. Т. Алгоритм идентификации нечеткой меры / С. Т. Вежчон // Нечеткие множества и системы. – 1983. – Т.9, № 1. – С. 69-78.
32. Бычков, Е. Д. Математические модели управления состояниями цифровой телекоммуникационной сети с использованием теории нечетких множеств. – Омск: Изд-во ОМГТУ, 2010. – 236 с.
33. Исмагилов, И. И., Бичурин, Р. В. Нечеткие прогнозы: классификация и метод их разработки на основе процедуры групповой экспертизы // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 11. – С. 1240-1247.

## References

1. Paschenko, I. Y. The modern stage of the information society development in the Russian Federation: digital information, information technologies and public administration // NB: Administrative law and practice of administration. – 2022. – № 3. – Pp. 58-68.
2. Don, Tapscott. Digital economy: prospects and dangers in the age of network intelligence. – McGraw-Hill, 1994. – 368 p.
3. Ismagilov, I. I. Alsayed, G. Digital economy: a component analysis of definitions of the concept // Discussion. – 2023. – № 4(119). – Pp. 6-16.
4. Gavrilova, E. N. The National program «Digital Economy of the Russian Federation» as a mechanism for supporting the Russian information technology industry // Bulletin of the University. – 2022. – № 12. – Pp. 110-118.
5. Ismagilov, I. I., Alsayed G. Assessment of the influence of digital transformation factors on regional economic growth based on regression analysis // Creative Economy. – 2025. – Vol. 19, № 5. – Pp. 1131-1146. – DOI 10.18334/ce.19.5.123184.
6. Mirolyubova, T. V., Radionova, M. V. Assessment of the influence of digital transformation factors on regional economic growth // Regionology. – 2021. – Vol. 29, № 3. – Pp. 486-510. – DOI 10.15507/2413-1407.116.029.202103.486-510.
7. Huong, M. Wu. ICT as a source of economic growth in the information age: empirical data for the period 1996-2005 // Telecommunication Policy. – 2011. – Vol. 35, № 4. – Pp. 357-372.
8. Golovenchik, M. G., Golovenchik, G. G. Features of the functioning of digital markets // Digital transformation. – 2023. – № 29 (2). – Pp. 13-23.
9. Kuznetsov, N. V., Lizyaeva, V. V. Project management of digitalization: methodological, organizational and financial aspects // Fundamental research. – 2020. – № 2. – Pp. 32-37.
10. Lyubimenko, D. A., Vaisman, E. D. A methodological approach to evaluating the effectiveness of digital investment projects // Economy. Computer science. – 2020. – Vol. 47, № 4. – Pp. 718-728. – DOI 10.18413/2687-0932-2020-47-4-718-728.
11. Markov, S. N., Poluektova, I. A. Approaches to the evaluation of investment projects in the digital economy // Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law. – 2023. – № 4-1. – Pp. 109-114.
12. Vilensky, P. L., Livshits, V. N., Smolyak, S. A. Evaluation of the effectiveness of investment projects: Theory and practice: A textbook. – 5th ed., revised and additional – M.: Poly Print Service, 2015. – 1300 p.
13. Lukashov, N. V., Korbut, E. S. Clarifying the mechanism of economic assessment of digital projects // Innovations and investments. – 2020. – № 3. – Pp. 18-20.
14. Moskalenko, A. P., Revunov, R. V., Vildyaeva, N. I. Investment design: fundamentals of theory and practice: a textbook for universities. 2nd ed., ster. – St. Petersburg: Lan, 2023. – 376 p.
15. Anshin, V. M., Demkin, I. V., Tsarkov, I. N., Nikonov, I. M. Application of fuzzy set theory to the task of forming a project portfolio // Problems of risk analysis. – 2008. – Vol. 5, № 5. – Pp. 8-21.
16. Batyrshin, I. Z., Nedosekin, A. O., Stetsko, A. A., Tarasov, V. B., Yazenin A. V., Yarushkina N. G. Fuzzy hybrid systems. Theory and Practice / ed. Yarushkina N. G. – Moscow: FIZMATLIT, 2007. – 208 p.
17. Nedosekin, A. O. Fuzzy multiple risk analysis of stock investments. – St. Petersburg: Sesame, 2002. – 181 p.
18. Lesina, T. V. Methodological principles of substantiating the effectiveness of investment projects when choosing an information management system // Creative Economics. – 2010. – Vol. 4, № 12. – Pp. 16-21.
19. Bratarchuk, T. V., Ragulina, Yu. V., Yaremchuk, N. V. Features of the formation of methodological approaches to the assessment of investment projects for the creation of high-tech products // Creative Economy. – 2023. – Vol. 17, № 5. – Pp. 1619-1636. – DOI 10.18334/ce.17.5.117795.
20. Diligenskiy, N. V., Dymova, L. G., Sevastyanov, P. V. Fuzzy modeling and multicriteria optimization of production systems

- in conditions of uncertainty: technology, economics, ecology. – Moscow: Mashinostroenie, 2004. – 397 p.
21. *Ismagilov, I. I. Strategic management of enterprise development in the context of the formation of a network economy // Kazan Economic Bulletin. – 2012. – № 1(1). – Pp. 16-18.*
  22. *Vedernikov, V. V. Fuzzy multiple modeling in the analysis and forecasting of economic phenomena and processes: a historical aspect // Problems of modern economics. – 2006. – № 1-2(17-18). – Pp. 446-449.*
  23. *Volkova, E. S., Gisin, V. B. Fuzzy sets and soft computing in economics and finance: a textbook. – Moscow: KnoRus, 2024. – 156 p.*
  24. *Lebedeva, M. E. Fuzzy logic in economics – the formation of a new direction // Ideas and ideals. – 2019. – Vol. 11, № 1, part 1. – Pp. 197-212.*
  25. *Sugeno, M. Fuzzy measure and fuzzy integrals // Translated from English by SISE. – Vol. 8, № 2, 1972. – Pp. 95-102.*
  26. *Sugeno, M. Fuzzy measures and fuzzy integrals: a review // Fuzzy automata and decision-making processes / edited by M. M. Gupta, G. N. Saridis. – Amsterdam, North Dutch Publishing Company, 1977. – Pp. 89-102.*
  27. *Primova, H. A. Adoption of weakly structured solutions in selection problems based on a fuzzy integral // Problems of computational and applied Mathematics. – 2016. – № 3(5). – Pp. 80-87.*
  28. *Ismagilov, I. I., Salakhutdinov, R. Z., Kataev, A. S., Kataev, D. V. Fuzzy sets: fundamentals of theory and applications to decision modeling: a textbook. – Kazan, Publishing house of KNRTU-KAI, 2025. – 180 p.*
  29. *Glotov, V. A., Paveliev, V. V. Vector stratification. – Moscow: Nauka Publ., 1984. – 132 p.*
  30. *Saatii, T. Decision-making. Hierarchy analysis method. – Moscow: Radio and Communications, 1993. – 278 p.*
  31. *Vezhchon, S. T. Algorithm for identifying a fuzzy measure / S. T. Vezhchon // Fuzzy sets and systems. – 1983. – Vol. 9, № 1. – Pp. 69-78.*
  32. *Bychkov, E. D. Mathematical models of digital telecommunication network state management using fuzzy set theory. – Omsk: Publishing House of OmSTU, 2010. – 236 p.*
  33. *Ismagilov, I. I., Bichurin, R. V. Fuzzy forecasts: classification and method of their development based on the group examination procedure // Fundamental research. – 2014. – № 11. – Pp. 1240-1247.*

## Информация об авторах

**Исмагилов И.И.**, доктор технических наук, профессор кафедры экономической теории и эконометрики Института управления, экономики и финансов Казанского (Приволжского) федерального университета. ORCID: 0000-0002-0446-8204 (г. Казань, Российской Федерации).

**Бодров О.Г.**, кандидат экономических наук, доцент кафедры экономической теории и эконометрики Института управления, экономики и финансов Казанского (Приволжского) федерального университета. ORCID: 0000-0003-4322-6053 (г. Казань, Российской Федерации).

**Гоцуляк И.Ф.**, кандидат экономических наук, доцент кафедры экономической теории и эконометрики Института управления, экономики и финансов Казанского (Приволжского) федерального университета. ORCID: 0000-0003-0366-1384 (г. Казань, Российской Федерации).

## Information about the authors

**Ismagilov I.I.**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Economic Theory and Econometrics at the Institute of Management, Economics and Finance of Kazan (Volga Region) Federal University. ORCID: 0000-0002-0446-8204 (Kazan, Russian Federation).

**Bodrov O.G.**, Ph.D. in Economics, Associate Professor of the Department of Economic Theory and Econometrics at the Institute of Management, Economics and Finance of Kazan (Volga Region) Federal University. ORCID: 0000-0002-0446-8204 (Kazan, Russian Federation).

**Goculyak I.F.**, Ph.D. in Economics, Associate Professor of the Department of Economic Theory and Econometrics at the Institute of Management, Economics and Finance of Kazan (Volga Region) Federal University. ORCID: 0000-0003-0366-1384 (Kazan, Russian Federation).