

Экономика и менеджмент предприятий и комплексов

Economy and management of enterprise and complexes

Научная статья

УДК 338

DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.18108>

EDN: <https://elibrary/UBWBGM>



ОЦЕНКА УРОВНЯ ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ МЕТОДА НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

А.В. Веретёхин  

Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского,
Симферополь, Российская Федерация

 v_a_v_crimea@mail.ru

Аннотация. В современных турбулентных условиях формирования цифровой экосистемы важно оперативно принимать обоснованные управленческие решения по развитию промышленного предприятия. Предприятию для поддержания конкурентоспособности необходимо следовать тренду на цифровые преобразования. При этом использование ESG-подхода позволяет руководителю принимать стратегически обоснованные решения в вопросах цифровых изменений. В контексте широко признаваемой научно-экспертным сообществом важности оценки в процессе управления к настоящему моменту разработано множество разнообразных и разноплановых методов и моделей оценивания цифровых преобразований предприятий. Учеными и практиками используются различные наборы показателей и методики оценки. Однако, несмотря на многочисленность предложений, вопросам самооценки цифрового развития предприятия с учетом его ESG-устойчивости уделяется недостаточное внимание. *Цель настоящей работы* заключается в разработке достаточно универсального, применимого на практике инструментария оценки уровня цифрового развития промышленного предприятия. Основными методами исследования являются анализ и синтез, а также используются методы экспертных оценок и нечеткой логики, применяется теория нечетких множеств. *Основные результаты данного исследования:* определены требования, которым должна отвечать оценка уровня цифрового развития и ее информационно-аналитический инструментарий для пригодности в практическом использовании предприятиями; разработан соответствующий информационно-аналитический инструментарий оценки уровня цифрового развития предприятия; выполнена апробация инструментария оценки уровня цифрового развития. Надежность предложенного информационно-аналитического инструментария обеспечивается следующим: данное исследование базируется на научном и практическом опыте, накопленном в сфере оценивания уровня цифрового развития промышленного предприятия; в процессе оценки применяется количественно ограниченный набор легко определяемых показателей, основанных на открытых данных; в исследовании используются детально разработанные, апробированные и хорошо зарекомендовавшие себя на практике методы иерархии показателей и нечеткой логики; оригинальный программный продукт DigInfoLogicTool верифицирован на данных промышленных предприятий крымского региона. Применение этой авторской разработки позволит менеджменту оперативно принимать обоснованные решения по цифровому развитию, учитывая при этом ESG-показатели предприятия. Будущие исследования, нацеленные на разработку методических рекомендаций по выбору направления осуществления цифрового развития и по проведению цифровых преобразований промышленными предприятиями, могут основываться на результатах данной работы.

Ключевые слова: менеджмент организации, промышленное предприятие, цифровое развитие, цифровая трансформация, цифровизация, нечеткая логика, ESG

Для цитирования: Веретёхин А.В. (2025) Оценка уровня цифрового развития промышленного предприятия на основе метода нечеткой логики. *П-Экономика*, 18 (1), 139–159. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.18108>

Research article

DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.18108>



ASSESSMENT OF THE INDUSTRIAL ENTERPRISE DIGITAL DEVELOPMENT LEVEL BASED ON FUZZY LOGIC METHOD

A.V. Veretyokhin ✉ 

V.I. Vernadsky Crimean Federal University,
Simferopol, Russian Federation

✉ v_a_v_crimea@mail.ru

Abstract. In modern turbulent conditions of digital ecosystem formation, it is important to promptly make informed managerial decisions on the development of an industrial enterprise. To maintain competitiveness, an enterprise must follow the trend towards digital transformation. In doing so, the use of ESG approach allows the manager to make strategically informed decisions on digital change. In the context of the importance of assessment in the management process, widely recognized by the scientific and expert community, scholars have so far developed many diverse and varied methods and models for assessing the digital transformation of enterprises. Scientists and practitioners use different sets of indicators and assessment methodologies. However, despite the numerous proposals, scholars have paid insufficient attention to the self-assessment of the digital development of an enterprise, taking into account its ESG sustainability. *The purpose of this paper* is to develop a universal toolkit for assessing the level of digital development of an industrial enterprise that is applicable in practice. The main research methods are analysis and synthesis, as well as methods of expert assessments and fuzzy logic, and the theory of fuzzy sets. *The main results of the study* are as follows: the requirements that the assessment of the level of digital development and its information and analytical tools must meet for suitability for practical use by enterprises are determined; a corresponding information and analytical tool for assessing the level of digital development; the testing of the tool for assessment of the level of digital development. The reliability of the proposed information and analytical tool is ensured by the following: this study is based on scientific and practical experience accumulated in the field of assessing the level of digital development of an industrial enterprise; the assessment uses a quantitatively limited set of easily definable indicators based on open data; the assessment uses detailed, tested and well-proven methods of hierarchy of indicators and fuzzy logic; the original software product DigInfoLogicTool has been verified on the data of industrial enterprises of the Crimean region. The use of this proprietary development will allow management to promptly make informed decisions on digital development, taking into account the ESG indicators of the enterprise. The results of this work can be the basis for future research aimed at developing methodological recommendations for selecting the direction of digital development and industrial enterprise digital transformation.

Keywords: management of organization, industrial enterprise, digital development, digital transformation, digitalization, fuzzy logic, ESG

Citation: Veretyokhin A.V. (2025) Assessment of the industrial enterprise digital development level based on fuzzy logic method. *П-Экономика*, 18 (1), 139–159. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.18108>

Введение

Актуальность исследования

Цифровое развитие, как, впрочем, и устойчивое развитие, промышленных предприятий является актуальным трендом эволюции производств, что отмечается зарубежными и российскими авторами [1–3]. Быстрое расширение цифровой экономики, особенно за счет внедрения



искусственного интеллекта и технологии блокчейн, уже стало новым драйвером национального экономического роста для многих государств [4]. В настоящее время практически все высокоразвитые и большинство развивающихся стран мира имеют государственные программы, способствующие цифровому и устойчивому развитию своей экономики и международной экономической кооперации [5]. В РФ национальными целями развития до 2036 г. среди прочего определены цифровая трансформация экономики и «устойчивая и динамичная экономика»¹.

По мнению многих экспертов, на сегодняшний день цифровые преобразования компаний представляют собой не только объективную реальность. Они для предприятий являются необходимым условием выживания в активно формирующейся цифровой экосистеме [6]. При этом устойчивое ESG-ориентированное развитие промышленных предприятий как обеспечивает будущее самим предприятиям, так и вносит существенный вклад в поддержание сравнительно благоприятного состояния среды обитания [7]. В цифровом развитии промышленного предприятия учеными и практиками отмечается важность принятия взвешенного управленческого решения и обоснования процесса его реализации, решающую роль в котором играет соответствующая оценка (оценивание) [8]. Особенно это проявляется в современных высоко турбулентных условиях.

Литературный обзор

Актуальность цифрового развития и процедур его оценки как элемента управления процессом цифрового преобразования на промышленном предприятии способствовала созданию многочисленных методик и методов соответствующей оценки, а также публикации работ по их обзору и обобщению. Подходы к оценке цифрового развития рассматриваются и анализируются во многих научных статьях российских и иностранных ученых, при этом особое внимание уделяется наиболее распространенным моделям оценки. Среди них, например, Е.В. Орлова выделяет следующие модели оценки: цифровой зрелости Национальной академией наук и техники Германии (Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina), трансформации бизнеса (компания Deloitte), индекса цифровой трансформации аналитического агентства Arthur D. Little и др. [9]. А.А. Чурсин и Т.В. Кокуйцева, помимо прочих, отмечают модели оценки цифровой зрелости Forrester 4.0 и компании KMDA, а также оценки цифровых способностей KPMG [10]. Это позволило авторам предложить свою модель оценки цифровой зрелости с учетом регионального аспекта. Она представляет собой свертку двух показателей, т.е. оценок уровня внутренней и внешней цифровой зрелости предприятия. Последняя вычисляется по показателям, которые являются важными как для самого предприятия, так и для региона его местонахождения. В оценке внутренней цифровой зрелости используются две группы факторов (научно-технические и производственные), а во внешней – четыре (кадры, финансы, потребители, инфраструктура). Всего рассчитываются два субиндекса и семь входных показателей. Инструментарий оценки верифицирован на данных российских промышленных наукоемких предприятий.

Один из наиболее представительных обзоров работ, опубликованных до 2023 г. по тематике настоящего исследования и проиндексированных в базах WOS и Scopus, выполнен авторами А. Арас и Г. Бююкозкан. Он содержит анализ 60 оригинальных моделей оценки цифрового развития (38 академических и 22 от консалтинговых компаний) [11]. Основываясь на систематическом анализе релевантной литературы, эти исследователи предлагают «целостную модель цифровой зрелости», не зависящую от сферы деятельности и размера компании. Оценка является интегральной и включает шесть групп показателей. Всего используются 24 параметра. Модель оценки отличается высокой теоретизованностью и, как результат, сложностью определения показателей на практике.

¹ О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года: Указ Президента Российской Федерации от 7 мая 2024 г. № 309 (2024) *Президент России*. [online] Available at: <http://kremlin.ru/events/president/news/73986> [Accessed 02.09.2024]. (in Russian).

В РФ особое место занимает оценка индекса цифровизации², включенная в цифровой паспорт промышленного предприятия, который администрирует (т.е. формирует и ведет соответствующий реестр) государственная информационная система промышленности (ГИСП) Минпромторга России. Указанная оценка является интегральной, она рассчитывается как среднее арифметическое трех компонент – уровней цифровизации основных (1) и вспомогательных (2) бизнес-процессов, а также уровня развития информационных технологий на предприятии (3). Основу методики составляет анкетирование. Анкета заполняется предприятием самостоятельно. Вопросы анкеты сгруппированы и охватывают несколько процессов, а именно: девять групп и 36 процессов (по основным бизнес-процессам), десять групп и 59 процессов (по вспомогательным/обеспечивающим бизнес-процессам), а также семь групп и 34 процесса (по развитию информационных технологий). Методика интенсивно совершенствуется. Ее основные концепты и практическая апробация подробно рассмотрены, например, в научной работе Е.В. Шкарупета. В настоящее время оценка индекса цифровизации проводится по 27 направлениям и 123 поднаправлениям [12].

Отметим, что, несмотря на важность устойчивого развития для функционирования промышленного предприятия, на практике сравнительно нечасто в оценивании цифрового развития присутствуют ESG-факторы. Как исключение, в этом смысле выделим работу авторов Е.А. Кулиной и К.И. Дементьева. Предложенная ими процедура оценки ESdiGital-трансформации предназначена для предприятий нефтегазовой промышленности России [13]. Результат оценки является сверткой двух показателей: ESG-трансформации (ESG-уровень) и Digital-трансформации (Digital-уровень). В данном случае оценка ESG-трансформации нефтегазовой компании соответствует рейтингу RAEX Europe. Оценка Digital-трансформации совпадает с индексом применения цифровых технологий в нефтегазовой компании на этапе поиска и освоения новых месторождений (индекс предложен и апробирован Р.Х. Азиевой [14]). Указанный индекс вычисляется по следующим показателям: удельный вес цифровых активов в структуре активов компании; удельный вес сотрудников с цифровыми компетенциями; соотношение капитальных затрат на цифровизацию деятельности к чистой прибыли компании; удельный вес новых освоенных месторождений с применением цифровых технологий; коэффициент рентабельности применения цифровых технологий.

В качестве одной из работ, наиболее полно учитывающих взаимосвязь уровней цифровой зрелости и устойчивого развития, выделим научный труд А.В. Бабкина, В.В. Глухова и Е.В. Шкарупета. Учеными предложена методика оценки цифровой зрелости отраслевых промышленных экосистем [15]. В ней предлагается проводить оценку по четырем проекциям: экологической (*E*), социальной (*S*), управленческой (*G*) и цифровой (*D*). Ранги по отраслям рассчитываются как среднее значение рангов компаний, входящих в каждую из отраслей. Авторами для определения оценки по проекциям *E*, *S* и *G* используется ESG-рэнкинг предприятия, предоставляемый компанией ООО «РАЭК-Аналитика». Данные по проекции *D* взяты из обследования предприятий РФ, выполненного компаниями SAP, Deloitte и iR & D Club по методике корпорации Deloitte (сведения получены в результате опроса предприятий и его обработки по пяти группам факторов: клиент, стратегия, технологии, операционная деятельность, организация).

Анализ работ демонстрирует многочисленность, многообразие и разнородность предлагаемых подходов к оцениванию уровня цифрового развития промышленного предприятия. В исследованиях в стремлении подчеркнуть определенную направленность применяемой методики нередко используются для оценки авторские названия. Среди них можно выделить оценки: цифровой зрелости, цифровой готовности, индекса цифровизации, уровня цифровой трансформации и др. [16].

² Минпромторг России. Основные принципы по оценке уровня цифровой зрелости, реализованные в рамках модуля ГИСП «Цифровой паспорт промышленных предприятий»: презентация. [online] Available at: https://finval.ru/news_images/present.pdf [Accessed 02.12.2024]. (in Russian).

Отметим, что дискуссионность отдельных понятий сферы цифровой экономики проявляется в методиках оценки цифрового развития промышленного предприятия. Показательным в этом смысле является толкование «цифровой зрелости» и «цифровой готовности». Многочисленные исследования демонстрируют разнородность точек зрения как на их содержание, так и на целесообразность их соотношения в методиках. Подробный анализ толкований цифровой зрелости выполнен, например, в работе Е.В. Попова и его коллег [17]. Ряд авторов (например, Е.В. Шкарупета) настаивает на принципиальном отличии «цифровой зрелости» и «цифровой готовности» и недопустимости их отождествления в оценках [12]. И.Н. Краковская, Ю.В. Корокошко и Ю.Ю. Слушкина, признавая взаимосвязь этих понятий, считают целесообразным разделять их при оценке [18]. Авторы делают свои выводы на основе анализа научно-практического опыта в оценке цифровой зрелости и цифровой готовности промышленных предприятий. Встречаются методики оценки, в которых рассматриваемые термины синонимичны или не разделяются. Это характерно для универсальных методик оценки цифрового развития предприятия, практически не зависящих от стадии цифровой трансформации/цифровизации организации. Примером универсальной оценки может служить оценка индекса цифровизации³, вычисляемая по анкетам цифрового паспорта в сервисе ГИСП.

Часть методик оценивания учитывает особенности и/или сферу деятельности предприятий (например, нефтехимических предприятий [19], нефтегазовых компаний [13] и др.). Авторы фокусируются на оценке стадии цифровизации/трансформации отдельных организаций или их функциональных элементов, подразделений, процессов [19, 20]. Такая детализация позволяет, с одной стороны, более полно учесть специфику объекта цифрового развития, а с другой стороны, существенно снижает возможность применения методики на других предприятиях. Последнее ограничение препятствует использованию такой методики оценки, например, в сравнительном анализе промышленных предприятий (например, в бенчмаркинге).

Многие исследователи отмечают в применяемых оценках преобладание качественных показателей, получаемых в результате анкетирования сотрудников предприятий или опроса экспертов в соответствующих областях [16, 21]. В этом случае можно учесть важные, но сложно определяемые факторы. Однако такой подход нельзя считать оптимальным из-за присутствия в нем некоторой субъективности. В классических работах Р.С. Каплана и Д.П. Нортон, а также их последователей показано, что оценка может быть эффективным инструментом стратегического контроля при соблюдении баланса между ее показателями, в частности, финансовыми и нефинансовыми, количественными и качественными, вычисляемыми и экспертными [22, 23].

Следует отметить, что часть методик (преимущественно от консалтинговых компаний) дает схематичное представление об используемых методах либо применяет достаточно сложные для неподготовленного пользователя методы. Последнее, как правило, характерно для академических работ. Например, используются методы машинного обучения, эмпирического и квалитетрического оценивания, сравнения, а также индикативный, вероятностно-статистический, логический и другой специальный инструментарий [9, 10, 24, 25]. Это затрудняет проведение предлагаемых оценок предприятиями самостоятельно.

В то же время менеджменту предприятий при принятии решений необходимо руководствоваться результатами соответствующей оценки, например, по каждому этапу цифровой трансформации или другого вида цифрового развития [26]. Внедрение предприятием цифровых технологий – достаточно сложный, дорогостоящий и подчас слабо программируемый процесс из-за высокой турбулентности внешней среды [27]. Как следствие, менеджмент предприятия заинтересован в оперативной и хорошо обоснованной информации, но в заранее непредсказуемые или в плохо прогнозируемые/определяемые периоды времени. Оперативную оценку можно обеспечить только, выполняя оценку самостоятельно.

³ Там же.

Относительно используемых в оценивании факторов отметим их количественное и качественное многообразие. В то же время детальный анализ методик позволил ряду авторов прийти к выводу о преобладании определенных групп факторов. Так, Т.А. Гилева выделяет пять укрупненных направлений оценки цифровой зрелости: стратегия и бизнес-модель; потребители; организационная культура и персонал; операционные процессы; информационные технологии [8], а М.Л. Кричевский, Ю.А. Мартынова и С.В. Дмитриева – четыре: корпоративная культура (отношение организации к цифровым инновациям); технологии (применяемые компанией информационно-коммуникативные технологии); организация (сформулированная и реализуемая стратегия в части цифровой трансформации); инсайты (способ использования данных о внутренних бизнес-процессах при принятии решений) [25]. В работе О.П. Овчинниковой и М.М. Харламова оценка выполняется по четырем укрупненным процессам, затрагивающим цифровую трансформацию предприятия: организационные (организационная структура и система управления, система управления данными, инфраструктура и т.п.); производственные (производство и жизненный цикл продукции, продукты и сервисы, менеджмент качества и т.п.); кадровые (система управления знаниями и уникальными компетенциями, корпоративная культура, развитие человеческого капитала и т. п.); внешние факторы (система взаимодействия с внешней средой, степень открытости организации и т.п.) [24]. По мнению И.Н. Краковской, Ю.В. Корошко и Ю.Ю. Слушкиной, наиболее обоснованным и перспективным подходом из используемых в оценках цифровой готовности является комбинированный подход, в котором интегрированы технологические, компетентностные и процессные критерии оценки [18].

Множественность и вариативность предложений по методам оценки цифровых изменений свидетельствует как о важности, так и о сложности выполнения этой оценки. Приведенный краткий литературный обзор показывает отсутствие одной доминирующей точки зрения в этом вопросе и наличие разрывов в формирующемся соответствующем научном пространстве. Непосредственно самооценке, учитывающей ESG-деятельность промышленного предприятия, уделяется недостаточно внимания. В такой ситуации сложно не согласиться с мнением ряда ученых (например, И.Ю. Мерзлова, С. Найк, М. Сони, А.И. Шинкевича и др.) о том, что несмотря на многочисленность научных и практических работ по цифровому преобразованию предприятий и его оцениванию необходимость в разработке инструментария оценки текущего уровня цифрового развития остается актуальной [19, 21, 26].

Целью настоящей работы является разработка универсального, применимого на практике инструментария оценки уровня цифрового развития промышленного предприятия.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- определить требования, которым должна отвечать оценка и ее информационно-аналитический инструментарий;
- разработать информационно-аналитический инструментарий оценки;
- апробировать информационно-аналитический инструментарий оценки в тестовом режиме и провести оценивание на данных промышленных предприятий.

Методы и материалы

В настоящем исследовании сочетаются различные научные методы. В работе с информацией, взятой из открытых академических и прикладных источников (эвристические и эмпирические научные изыскания, экспертные суждения, данные промышленных предприятий), используются методы анализа и синтеза, обобщения, группировки, сравнения. Разработка информационно-аналитического инструментария осуществляется на основе теории нечетких множеств и методов нечеткой логики, достаточно основательно разработанных и представленных в научной литературе (например, в монографии А.В. Леоненкова [28], а также в статьях В. Бартвал, В.Р. Диведи, В.Р. Сиссодия и др. [29]). Выбор такого подхода обусловлен тем, что нечеткие модели оценки

различных объектов и явлений хорошо зарекомендовали себя на практике и используются в научных исследованиях, в том числе экономической направленности [30].

В разработке качественных входных показателей оценки и модели нечеткого вывода применен, среди прочих, метод экспертных оценок. В исследовании использовано мнение семи экспертов – менеджеров ведущих промышленных предприятий крымского региона и представителей научного сообщества (в лице сотрудников Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского, задействованных в соответствующих научных изысканиях). Такой количественный и качественный состав экспертной группы соответствует теоретическим положениям метода экспертных оценок и сложившейся практике в решении подобных задач [31].

Каждый раз, применяя метод экспертных оценок, осуществлялась проверка согласованности мнений экспертов. Данная процедура составляла первый этап обработки соответствующих опросных листов. При этом использовался известный, хорошо апробированный подход, включающий вычисления по классическим формулам коэффициента вариации (KR) и коэффициента ранговой корреляции Кендалла (коэффициента конкордации, KK) [32]. Если результаты расчетов показывали, что экспертным суждениям можно доверять (т.е. $KR < 0,25$ и $KK > 0,75$), то по методу нахождения среднего арифметического с округлением до целых значений вычислялась величина, принимаемая в дальнейших рассуждениях как обобщенная экспертная оценка. В случае отсутствия согласованности в оценках использовалась процедура обработки консолидированного решения. Она заключалась в том, что экспертам, оценки которых значительно (на 25% и более) отличались от величины среднего арифметического оценок всех принявших в опросе респондентов, доводили результаты опроса для обсуждения и, возможно, для изменения суждения или его уточнения. При необходимости, когда достичь приемлемого результата в согласованности не представлялось возможным, предполагалась замена первоначального состава экспертов. Однако на практике она не проводилась.

Автоматизация вычисления оценки уровня цифрового развития промышленного предприятия выполнена с использованием инструментальных средств проектирования систем нечеткой логики в среде Fuzzy Logic системы автоматизированного проектирования MathCad.

В работе использовались результаты научных исследований российских и зарубежных авторов, опубликованные в высокорейтинговых изданиях, а также данные Росстата и промышленных предприятий.

Результаты и обсуждение

Требования, которым должна отвечать оценка и ее информационно-аналитический инструментарий

Выполненный литературный обзор показал целесообразность разработки такого инструментария оценки уровня цифрового развития, который промышленное предприятие могло бы применять самостоятельно. Следовательно, оценка должна включать только те входные данные, которые доступны предприятию или достаточно легко могут быть получены/определены. Количественно-качественный состав входных показателей оценки надлежит формировать из соображений разумной достаточности. Иными словами, их количество должно быть ограниченным, но при этом обеспечивать всесторонность и полноту рассмотрения оцениваемого объекта. Набор показателей должен включать расчетные/количественные и качественные входные данные. Обеспечение баланса между ними позволяет избежать абстрактизации и неточностей, а также достичь приемлемого уровня партикуляризации. Кроме того, необходимо, чтобы показатели оценки были информативными и значимыми для менеджмента, т.е. применимыми в обосновании управленческого решения по цифровому развитию в современных высоко турбулентных условиях. При этом самооценка должна помогать менеджменту оперативно контролировать не только наличествующую ситуацию по цифровому развитию предприятия, но и соответствие

этого развития ESG-факторам. Инструментарий оценки должен быть универсальным, т.е. независимым от отраслевой принадлежности промышленного предприятия.

Достижению вышеуказанных характеристик способствует автоматизация процесса вычисления величины оценки и значений ее показателей при выполнении определенных условий. В частности, должны отсутствовать трудновыполнимые требования к программно-аппаратному обеспечению оценки и его эксплуатации, а также к знаниям и навыкам пользователей. Турбулентность внешней среды может вызывать изменения на предприятии и трансформацию его экономических связей. Именно поэтому автоматизирующее оценку программное обеспечение (ПО) должно быть гибким, т.е. легко модернизироваться и настраиваться под новые нужды предприятия. Основные требования к оценке уровня цифрового развития промышленных предприятий, ее информационно-аналитическому инструментарию и обусловленные их выполнением атрибуты представлены в табл. 1.

Таблица 1. Основные требования к оценке уровня цифрового развития промышленных предприятий (ПП), ее информационно-аналитическому инструментарию и обусловленные ими атрибуты

Table 1. Basic requirements for the assessment of the digital development level of industrial enterprises (IE) and its information and analytical tools and the attributes determined by them

№ п/п	Требование к оценке и информационно-аналитическому инструментарию	Атрибут оценки
1	Возможность получить количественную и качественную величину уровня цифрового развития ПП	Измеримость
2	Независимость от отрасли принадлежности ПП	Универсальность
3	Возможность оценивания по мере необходимости	Самооценка
4	Обеспечение всесторонности и полноты рассмотрения оцениваемого ПП, включая его ESG-деятельность	Комплексность
5	Использование только легкодоступных для ПП данных	Достижимость
6	Использование количественно ограниченного набора показателей	Реалистичность
7	Использование только необходимых/обоснованных показателей	Необходимость
8	Использование только достаточно легко определяемых показателей	Своевременность
9	Возможность учесть финансовые и нефинансовые, а также количественные и качественные данные ПП	Сбалансированность
10	Возможность учесть изменения внешней и внутренней среды	Гибкость
11	Надежность информационно-аналитического аппарата оценки	Результативность
12	Нет необходимости в наличии у ПП специального ПО и оборудования, а также знаний и навыков у пользователей	Простота в использовании

Источник: составлено автором.

Требованиями табл. 1 будем руководствоваться при разработке информационно-аналитического инструментария оценки уровня цифрового развития промышленных предприятий и при валидации ПО, разработанного для этой оценки.

Разработка информационно-аналитического инструментария оценки уровня цифрового развития промышленных предприятий

Для обеспечения измеримости, комплексности и необходимости/обоснованности оценки (табл. 1) будем использовать интегральную оценку (R), которая определяется как свертка

составляющих ее интегральных оценок. В оценке учтем, что любое развитие предприятия (в том числе и цифровое) не должно вступать в конфронтацию с его ESG-устойчивостью [4]. Поскольку устойчивое развитие предприятия важно не только для самого предприятия, но и в глобальном масштабе [7], введем показатель V_1 «Внешнее цифровое развитие» для оценки цифровых преобразований предприятия в контексте ESG-устойчивого развития. Оценка V_1 определяется факторами по направлениям E (Y_1 – окружающая среда), S (Y_2 – социальная ответственность предприятия перед сотрудниками и обществом в целом) и G (Y_3 – ответственное управление, которое предполагает достижение предприятием устойчивых экономических показателей и качественного (открытого, прозрачного) управления).

Цифровое развитие промышленного предприятия априори осуществляется на основе цифровых технологий. Исходя из этого вторую составляющую R (т.е. V_2 – «Внутреннее цифровое развитие») введем для оценки степени использования предприятием цифровых технологий. Ее будем определять по группам факторов, соответствующим функциональным подсистемам предприятия: производство (Y_4), маркетинг (Y_5), финансы (Y_6), кадры (Y_7), организационно-управленческая подсистема (Y_8). Учет перечисленных подсистем обусловлен организационной структурой многих российских промышленных предприятий. Такой подход, соответственно, способствует сравнительно простому определению величин входных данных, т.е. достижимости оценки (табл. 1). Кроме того, в научных трудах (например, у А.А. Алабугина и его коллег) показано, что именно эти подсистемы являются основными, поскольку именно они наиболее существенно влияют на развитие предприятия [33].

Такой выбор направлений для V_1 и групп факторов для V_2 обеспечивает полноту рассмотрения оцениваемых объектов, поскольку, как выше указано, соответствует общепринятому перечню составляющих их подсистем. В принятии решения по включению в систему входных показателей оценки R мы руководствовались накопленным опытом в международной и российской практике релевантных оценок [3, 7, 8, 18, 24]. Такой подход аргументируется и нередко применяется в исследованиях [24]. Он позволяет из числа часто встречающихся в соответствующей литературе показателей сформировать количественно ограниченный, обоснованный, легко определяемый набор показателей, использующих только доступные для промышленного предприятия данные, что обеспечивает соответствие требованиям, принятым в настоящем исследовании (табл. 1). По направлениям и группам факторов Y_i , $i = 1, \dots, 8$ был составлен набор показателей X_i , $i = 1, \dots, 29$ (рис. 1). Полученный набор содержит только легко определяемые для предприятия показатели. Из них расчетных – 16 (т.е. X_i , $i = 1, 4, 5, 9–12, 14–17, 19, 20, 22, 24, 25$), а экспертных – 13 (т.е. X_i , $i = 2, 3, 6–8, 13, 18, 21, 23, 26–29$). Такое соотношение количества расчетных и экспертных входных показателей с точки зрения практики применения можно считать приемлемым и сбалансированным.

В системе нечеткого вывода используются только упорядоченные данные. В связи с этим величины входных показателей оценки необходимо определять таким образом, чтобы они были безразмерными, принадлежали отрезку $[0; 1]$ и при этом выполнялось утверждение: «Большее значение показателя оказывает большее положительное влияние на оценку». Отметим, что экспертами сразу задавались упорядоченные на отрезке $[0; 1]$ значения входных показателей X_i , $i = 2, 3, 6–8, 13, 18, 21, 23, 26–29$. Что касается расчетных показателей, то они определяются конкретными данными, имеющими различные как размерность, так и единицы измерения. В этой связи из соображений разумной достаточности для упорядочивания к ним применялся один из допустимых аналитических подходов. Так, там, где это возможно, для показателей вычислялись значения, демонстрирующие отношение части к целому. Результаты этих расчетов равны доли от числа, т.е. принадлежат отрезку $[0; 1]$. Такой подход использован для показателей X_i , $i = 11, 12, 14–17, 19, 20, 22, 24, 25$. Следовательно, они являются безразмерными и упорядоченными по определению. В качестве примера приведем формулу для показателя X_{11} (Цифровое производство):

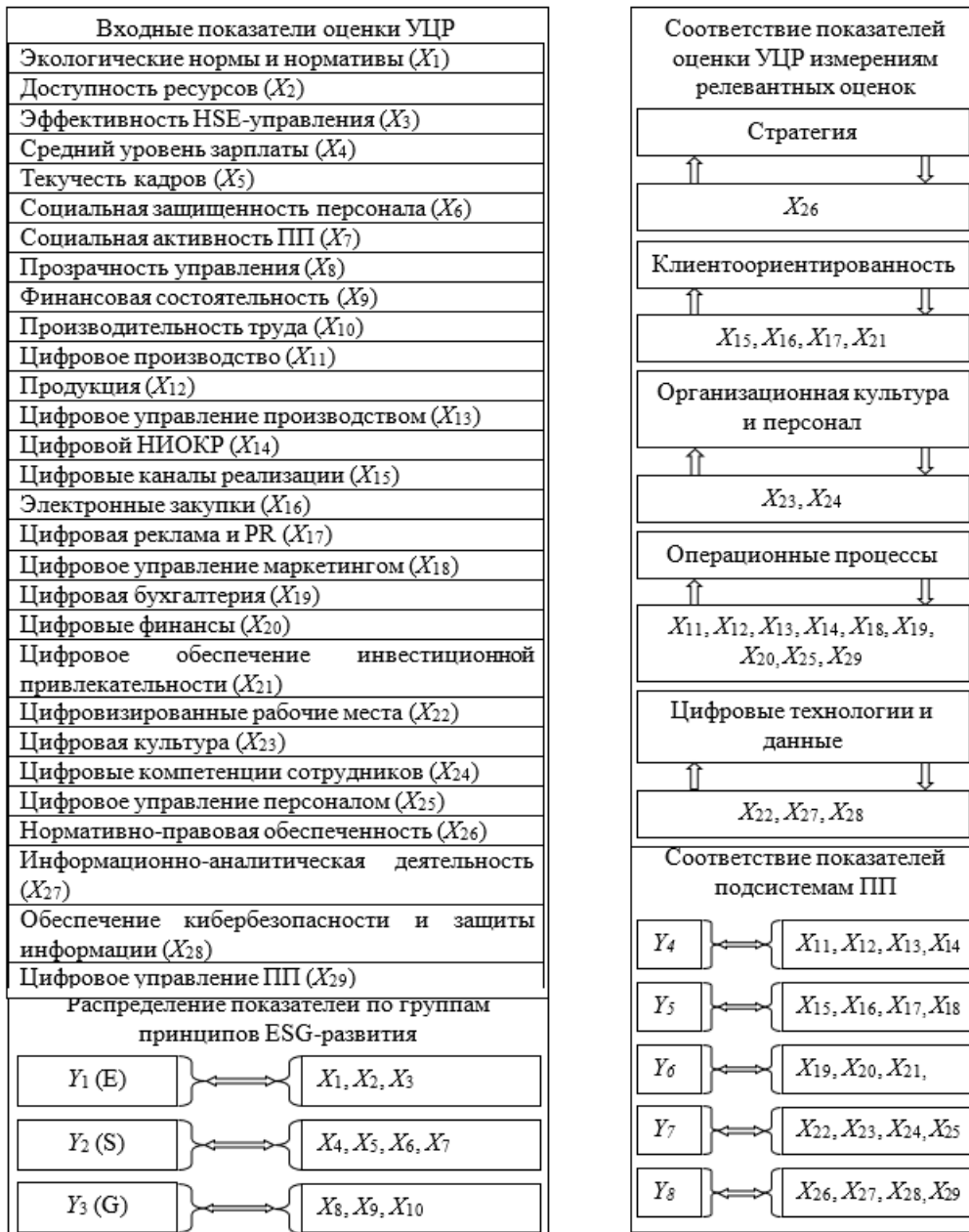


Рис. 1. Входные показатели оценки уровня цифрового развития (УЦР), их соответствие измерениям релевантных оценок, подсистемам ПП и принципам ESG-развития

Fig. 1. Input indicators for assessing the level of digital development (LDD), their compliance with the measurements of relevant assessments, IE subsystems and ESG development principles

Источник: составлено автором.

$$X_{11} = X_{11, np_цт} / X_{11, np_общ}$$

где $X_{11, np_цт}$ – количество производственных технологий, с использованием цифровых технологий, шт.; $X_{11, np_общ}$ – общее количество производственных технологий, шт.

Показатель определяет долю производственных технологий, использующих цифровые инструменты, в общем количестве производственных технологий промышленного предприятия. Он является безразмерным и стремится к 1.

Для показателей X_i , $i = 1, 4, 5, 9, 10$ с целью их упорядочивания будем применять функцию нормирования $F(s)$, построенную специальным образом. Она ($F(s)$) должна отображать все неотрицательные действительные числа на отрезок $[0; 1]$ таким образом, чтобы большее значение показателя оказывало большее влияние на результат; нулевое значение показателя соответствует отсутствию влияния на результат (т.е. $F(0) = 0$); заданное значение показателя (s_0) преобразуется точно в число $0,5$. Последнее правило позволяет в качестве показателей X_i , $i = 1, 4, 5, 9, 10$ применять относительные показатели, индикаторами которых являются соответствующие нормативные или среднеотраслевые величины (s_0). Следовательно, $F(s)$ должна быть непрерывной и удовлетворять следующим свойствам⁴:

1. Если $s_1 > s_2$, то $F(s_1) > F(s_2)$ для всех значений переменной из интервала определения, т.е. $F(s)$ – непрерывная, монотонно возрастающая функция (ее первая производная является положительной величиной: $F'(s) > 0$);

2. Значение функции $F(s)$ в точке $s = 0$ равно нулю ($F(0) = 0$);

3. Для определенного значения переменной $s = s_0$ справедливы утверждения: если $s < s_0$, то $0 < F(s) < 0,5$; $F(s_0) = 0,5$ и если $s > s_0$, то $0,5 < F(s) < 1$.

В качестве функции нормирования $F(s)$ выберем следующую функцию:

$$F(s) = \begin{cases} \frac{1}{2} \frac{s}{s_0}, & 0 \leq s < s_0 \\ 1 - \frac{1}{2} \frac{s_0}{s}, & s \geq s_0 \end{cases}.$$

Как пример применения функции нормирования $F(s)$ приведем формулы расчета показателя X_{10} (Производительность труда):

$$X_{10} = \begin{cases} \frac{1}{2} \frac{X_{10,P}}{X_{10,O}}, & X_{10,P} < X_{10,O} \\ 1 - \frac{1}{2} \frac{X_{10,O}}{X_{10,P}}, & X_{10,P} \geq X_{10,O} \end{cases},$$

где $X_{10,П} = X_{10,П,t} / X_{10,П,t-1} * 100\%$; $X_{10,П,t} = \Theta_t / T_t$; $X_{10,П,t-1} = \Theta_{t-1} / T_{t-1}$; $X_{10,П}$ – индекс производительности труда на предприятии; $X_{10,О}$ – индекс производительности труда в отрасли; $X_{10,П,t}$ и $X_{10,П,t-1}$ – производительность труда на предприятии, соответственно, в период t и предыдущий год ($t - 1$); Θ_t и Θ_{t-1} – добавленная стоимость за соответствующие периоды t и $t - 1$; T_t и T_{t-1} – среднегодовая численность сотрудников на предприятии, соответственно в год оценки t и предыдущий год ($t - 1$).

В вычислении X_{10} использован индекс производительности труда⁵ на предприятии, поскольку его отраслевое значение есть в открытом доступе на сайте Росстата.

Иерархия системы показателей оценки R представлена на рис. 2. Все V_1, V_2 и $Y_i, i = 1, \dots, 8$ являются интегральными показателями.

Сформируем систему нечеткого вывода. Введем в рассмотрение лингвистические переменные, наименование и содержание которых отвечают показателям оценки уровня цифрового развития

⁴ Разработано автором с использованием материалов [34].

⁵ Расчетные формулы составлены согласно: Приказ Минэкономразвития России от 28.12.2018 N 748 (ред. от 02.05.2023) «Об утверждении Методики расчета показателей производительности труда предприятия, отрасли, субъекта Российской Федерации и Методики расчета отдельных показателей национального проекта «Производительность труда и поддержка занятости» (2024) КонсультантПлюс [online] Available at: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_315668/ [Accessed 02.12.2024]. (in Russian).

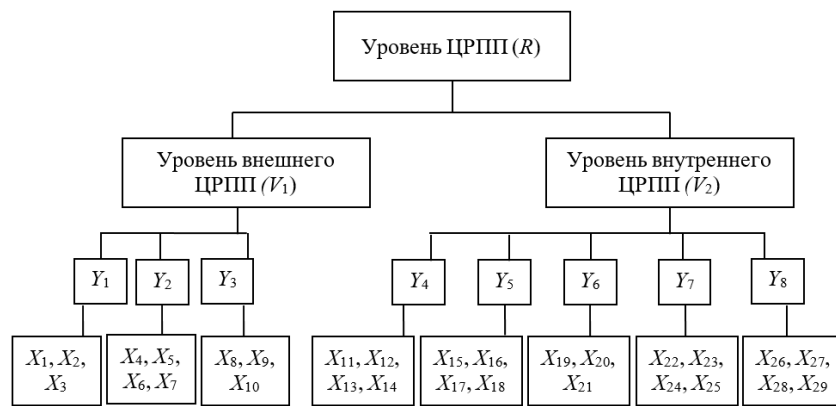


Рис. 2. Иерархия системы показателей УЦРПП
 Fig. 2. Hierarchy of the system of indicators for the LDD of an IE
 Источник: составлено автором.

промышленного предприятия: $X_i, i = 1, \dots, 29$; $Y_i, i = 1, \dots, 8$; V_1, V_2 ; R . Базовые терм-множества определим следующим образом:

$$T_R = \{\text{«низкий»}, \text{«ниже среднего»}, \text{«средний»}, \text{«выше среднего»}, \text{«высокий»}\}, R = \{R\};$$

$$T_A = \{\text{«низкий»}, \text{«средний»}, \text{«высокий»}\}, A = \{X_i, i = 1, \dots, 29; Y_i, i = 1, \dots, 8; V_i, i = 1, 2\}.$$

Функции принадлежности выбраны трапецевидные, так как они сравнительно легко конструируются, часто используются на практике и имеются данные о близком к линейному поведению объектов управления на небольших промежутках значений входных и выходных переменных [35]. Функции принадлежности (MF) сформированы методом экспертных оценок с последующей корректировкой на основе анализа поверхности нечеткого вывода. Такая корректировка понадобилась только для MF лингвистических переменных $V_i, i = 1, 2$. Результаты представлены в табл. 2.

В оценивании цифровой зрелости предприятия для интерпретации результата используются в основном шкалы Харрингтона или группировка по равным интервалам. Будем применять последнюю как наиболее простую и обоснованную [10]. Следовательно, четкое значение длины интервала равно 0,2 (для R) и 0,33 (для входных переменных).

В построении системы нечеткого вывода будем руководствоваться иерархией системы показателей (рис. 2), рассматривая ее блоки ($Y_i, i = 1, \dots, 8$; V_1 ; V_2 ; R) как узлы нечеткого вывода. Система содержит 11 таких узлов. Причем каждый узел представляет собой тоже систему нечеткого вывода, входными нечеткими переменными которой являются соответствующие выходные переменные предыдущего уровня иерархии.

В каждом из 11 узлов используется классическая схема принятия решения на основе нечеткой логики [28–30]. Применяется алгоритм Мамдани. Схема состоит из трех основных блоков: Фаззификатор (ФЗ (англ. Fuzzifier), преобразователь входных четких величин в нечеткие), Механизм Вывода (МВ, англ. Inference Engine) и Дефаззификатор (ДФЗ (англ. Defuzzifier), преобразователь выходных нечетких величин в четкие) (рис. 3). Как видно из рисунка, Фаззификатор основывается на функциях принадлежности, которые в нашем случае имеют вид трапеций. Механизм Вывода включает операции: Агрегирование подусловий, Активизация (или композиция) подзаключений и Аккумуляция заключений в нечетких правилах продукций. В агрегировании используется нечеткая операция «И», а в активизации и аккумуляции – методы, соответственно, min-активизации и max-объединения [28]. В Дефаззификаторе реализован метод центра тяжести.

База знаний состоит из нечетких продукционных правил, например, для узла наивысшего уровня иерархии: IF (V_1, V_2) THEN (R). В нашем случае для каждого узла (т.е. системы нечеткого

вывода) выходная переменная – одна, а количество входных переменных (i) может быть 2, 3, 4 или 5 (рис. 2). Поэтому размерность соответствующей базы знаний системы нечеткого вывода равна 9 ($i = 2$), 27 ($i = 3$), 81 ($i = 4$) или 243 ($i = 5$). База знаний для узла наивысшего уровня иерархии представлена в табл. 3.

Таблица 2. Значения лингвистических переменных оценки УЦР в соответствии со степенью уверенности экспертов
Table 2. Values of the linguistic variables for assessing of the DDL according to the degree of confidence of experts

Лингвистические переменные	Нечеткие значения	Интервалы значений		
		Степень уверенности экспертов (q)		
		$q = 1$	$0 < q < 1$	$q = 0$
$X_i, i = 1-29;$ $Y_i, i = 1-8$	Низкий	[0; 0,2)	[0,2; 0,4)	[0,4; 1,0]
	Средний	[0,4; 0,6)	[0,2; 0,4); [0,6; 0,8)	[0; 0,2); (0,8; 1,0]
	Высокий	[0,8; 1,0]	[0,6; 0,8)	[0; 0,6)
$V_i, i = 1, 2$	Низкий	[0; 0,2)	[0,2; 0,499)	[0,499; 1,0]
	Средний	[0,499; 0,501)	[0,2; 0,499); [0,501; 0,8)	[0; 0,2); (0,8; 1,0]
	Высокий	[0,8; 1,0]	[0,501; 0,8)	[0; 0,501)
R	Низкий	[0; 0,15)	[0,15; 0,25)	[0,25; 1,0]
	Ниже среднего	[0,25; 0,35)	[0,15; 0,25); [0,35; 0,45)	[0; 0,15); [0,45; 1,0]
	Средний	[0,45; 0,55)	[0,35; 0,45); [0,55; 0,65)	[0; 0,35); [0,65; 1,0]
	Выше среднего	[0,65; 0,75)	[0,55; 0,65); [0,75; 0,85)	[0; 0,55); [0,85; 1,0]
	Высокий	[0,85; 1,0]	[0,75; 0,85)	[0; 0,75)

Источник: составлено автором на основе экспертных оценок и расчетов поверхности нечеткого вывода в авторской программе DigInfoLogicTool (на базе MathCad).

Процесс оценивания уровня цифрового развития промышленного предприятия автоматизирован. Авторская программа DigInfoLogicTool разработана в среде Fuzzy Logic системы автоматизированного проектирования MathCad (на базе десктопной версии). Для придания оценке таких необходимых атрибутов, как «Гибкость», «Результативность» и «Простота в использовании» (табл. 1), DigInfoLogicTool создана с соблюдением принципов открытого кода и модульности. Эта программа не требует специальных, труднодоступных, дорогих оборудования и ПО, а также особых знаний и уникальных навыков у пользователей. Для ее эксплуатации достаточно иметь персональный компьютер, среду Fuzzy Logic (инженерно-математическое ПО MathCad) и минимальный опыт работы с текстами.

Апробация предложенного инструментария оценки уровня цифрового развития промышленного предприятия

Апробация предложенного инструментария осуществлялась как в тестовом режиме, так и на реальных данных промышленных предприятий. По мнению экспертов, тесты продемонстрировали приемлемую реакцию результирующего показателя (R) на возмущения всех остальных показателей оценки.

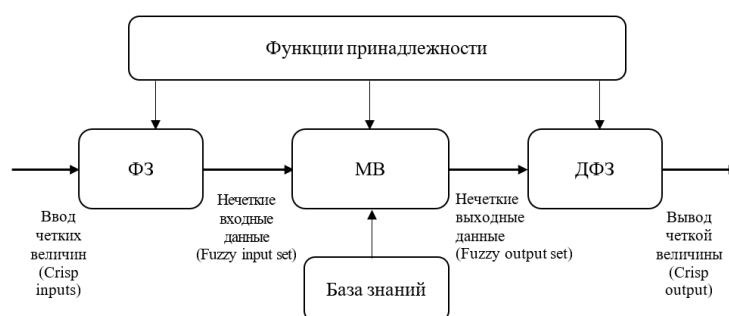


Рис. 3. Схема системы принятия решений на основе нечеткой логики (ФФ – фаззификатор; МВ – Механизм Вывода; ДФФ – Дефаззификатор)

Fig. 3. Scheme of decision-making system based on fuzzy logic (ФФ – Fuzzifier; МВ – Inference Engine; ДФФ – Defuzzifier)

Источник: адаптировано автором по [29, 30].

Таблица 3. База знаний наивысшего уровня иерархии
Table 3. Knowledge base of the highest hierarchy level

№ правила	Значения лингвистических переменных		
	входных		выходной (R)
	V_1	V_2	
1	низкий	низкий	низкий
2	низкий	средний	ниже среднего
3	средний	низкий	ниже среднего
4	средний	средний	средний
5	высокий	средний	выше среднего
6	средний	высокий	выше среднего
7	высокий	высокий	высокий
8	низкий	высокий	средний
9	высокий	низкий	ниже среднего

Источник: составлено автором на основе экспертных оценок и расчетов в авторской программе DigInfoLogic-Tool (на базе MathCad).

Программный продукт DigInfoLogicTool верифицирован на данных промышленных предприятий крымского региона. Результаты расчетов удовлетворили экспертов и менеджмент обследуемых предприятий. Дополнительно выполнено сравнение оценки использования цифровых технологий (V_2) и индекса цифровизации (I_c) по цифровому паспорту предприятия. Процент отклонения оказался менее 6%, что с точки зрения практики является приемлемым. Например, для АО «Завод „Фиолент“» абсолютное ($D_{абс.}$) и относительное ($D_{отн.}$) отклонения составили:

$$D_{абс.} = (V_2 - I_c) * 100\% = (0,68 - 0,6398) * 100\% = 4,02\%;$$

$$D_{отн.} = ((V_2 - I_c) / V_2) * 100\% = ((0,68 - 0,6398) / 0,68) * 100\% = 5,91\%.$$

Отметим, что для крымской экономики промышленность достаточно важна. Согласно оперативным данным Правительства Республики Крым по итогам 2024 г. промышленный комплекс региона демонстрирует стабильный рост⁶. Индекс промышленного производства в 2024 г. составил 102%. В регионе работают более 1000 промышленных предприятий, из них 967 – в сфере обрабатывающей промышленности. За 2024 г. промышленный комплекс региона обеспечил 1/3 поступлений в консолидированный бюджет республики.

Приведем результаты, полученные с помощью DigInfoLogicTool для машиностроительных предприятий Крыма: АО «Завод „Фиолент“» (№ 1), АО «Симферопольсельмаш» (№ 2), АО «Пневматика» (№ 3) (рис. 4). В вычислениях использованы данные, представленные в табл. 4.

Таблица 4. Входные данные в вычислениях оценки УЦР ПП (№ 1–3)
Table 4. Input data in calculations of the DDL assessment of IE (No. 1–3)

X_i , $i = 1, \dots, 15$	Предприятия			X_i , $i = 16, \dots, 29$	Предприятия		
	№ 1	№ 2	№ 3		№ 1	№ 2	№ 3
X_1	0,62	0,51	0,50	X_{16}	0,70	0,40	0,35
X_2	0,58	0,56	0,46	X_{17}	0,60	0,42	0,28
X_3	0,79	0,51	0,45	X_{18}	0,55	0,43	0,35
X_4	0,39	0,48	0,73	X_{19}	0,65	0,54	0,5
X_5	0,65	0,44	0,55	X_{20}	0,56	0,5	0,5
X_6	0,8	0,57	0,46	X_{21}	0,8	0,5	0,35
X_7	0,79	0,45	0,26	X_{22}	0,48	0,33	0,31
X_8	0,75	0,6	0,45	X_{23}	0,79	0,41	0,3
X_9	0,72	0,56	0,50	X_{24}	0,45	0,4	0,38
X_{10}	0,63	0,51	0,5	X_{25}	0,72	0,55	0,51
X_{11}	0,45	0,32	0,4	X_{26}	0,75	0,52	0,48
X_{12}	0,89	0,35	0,4	X_{27}	0,85	0,59	0,35
X_{13}	0,76	0,35	0,38	X_{28}	0,84	0,58	0,42
X_{14}	0,89	0,41	0,32	X_{29}	0,71	0,45	0,38
X_{15}	0,60	0,38	0,29	–	–	–	–

Источник: составлено автором по данным предприятий и экспертных оценок.

Отметим, что проведенные для отдельных крымских машиностроительных предприятий вычисления позволили определить уровни их цифрового развития: АО «Завод „Фиолент“» – «выше среднего»; АО «Симферопольсельмаш» и АО «Пневматика» – «среднее». Более детальный анализ показателей оценки выявил в обследуемых предприятиях основные проблемы и направления их преодоления. Так, у АО «Завод „Фиолент“» наибольшие трудности связаны с отсутствием в достаточном количестве необходимого (по знаниям, умениям и квалификации) персонала. Эта проблема во многом связана со структурными особенностями региональных трудовых ресурсов (X_2). В то же время на этом предприятии самый низкий уровень средней заработной платы из всех обследуемых заводов (X_4 , табл. 4). Два других предприятия имеют

⁶ Что ждет промышленность Крыма в ближайшие годы: планы и возможности (2025) *Лента новостей Крыма*. [online] Available at: <https://crimea-news.com/society/2025/01/14/1565839.html> [Accessed 02.12.2024]. (in Russian).

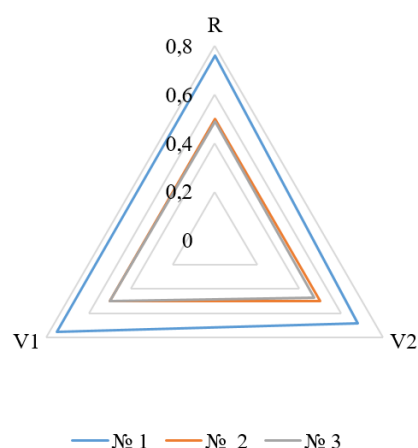


Рис. 4. Оценка уровня цифрового развития (R) и ее составляющих V_1 и V_2 для машиностроительных предприятий № 1–3
 Fig. 4. Assessment of the digital development level (R) and its components V_1 and V_2 for machine-building enterprises Nos. 1–3

Источник: расчеты выполнены по данным предприятий и экспертных оценок
 (применен оригинальный программный продукт DigInfoLogicTool).

сравнительно близкие результаты (R и ее составляющих V_1 и V_2 , рис. 4). Однако АО «Симферопольсельмаш» выделяется слабым использованием цифровых технологий в производстве (Y_4), а АО «Пневматика» – в маркетинге (Y_5). Значения соответствующих входных показателей даны в табл. 4. Следовательно, руководство предприятий должно обратить внимание на цифровое развитие выявленных с помощью оценивания наиболее проблематичных функциональных подсистем предприятий.

Заключение

Глобальный тренд на цифровизацию предприятий и важность обоснования управленческого решения в этой сфере побудили ученых и практиков к разработке методов и моделей оценки цифрового развития промышленного предприятия. Однако, несмотря на многочисленность и разноплановость подобных предложений, можно отметить, что вопросам самооценки цифрового развития предприятия с учетом его ESG-устойчивости уделяется недостаточное внимание. В то же время именно самооценка предоставляет менеджменту оперативную информацию. При этом использование ESG-подхода позволяет руководителю принимать стратегически обоснованные решения. Это очень важно не только для цифровых преобразований, но и для функционирования предприятия как в настоящем, так и в будущем.

Выполненное исследование позволило получить следующие результаты:

- определены требования, которым должна отвечать оценка уровня цифрового развития и ее информационно-аналитический инструментарий для их использования предприятиями на практике;
- разработан информационно-аналитический инструментарий оценки уровня цифрового развития, отвечающий требованиям, необходимым для его применения на практике;
- выполнена апробация информационно-аналитического инструментария оценки уровня цифрового развития (в тестовом режиме и на данных промышленных предприятий крымского региона).

Надежность предложенного информационно-аналитического инструментария обеспечивается следующими причинами:

- 1) он базируется на накопленном опыте в сфере оценивания уровня цифрового развития промышленного предприятия;

2) в определении оценки применяется количественно ограниченный набор легко определяемых показателей, основанных на открытых данных;

3) в нем используются хорошо разработанные и апробированные на практике методы иерархии показателей и нечеткой логики;

4) авторский программный продукт DigInfoLogicTool верифицирован на реальных данных промышленных предприятий.

Применение авторской разработки позволит менеджменту оперативно принимать обоснованные решения по цифровому развитию, учитывая при этом ESG-показатели предприятия.

Направления дальнейших исследований

Будущие исследования, нацеленные на разработку методических рекомендаций по выбору направления осуществления цифрового развития и проведению цифровых преобразований промышленными предприятиями, могут основываться на результатах данной работы.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Кузин Д.В. (2019) Проблемы цифровой зрелости в современном бизнесе. *Мир новой экономики*, 3, 89–99. DOI: <https://doi.org/10.26794/2220-6469-2019-13-3-89-99>

2. Долганова О.И., Деева Е.А. (2019) Готовность компании к цифровым преобразованиям: проблемы и диагностика. *Бизнес-информатика*, 13 (2), 59–72. DOI: <https://doi.org/10.17323/1998-0663.2019.2.59.72>

3. Zimek M., Baumgartner R.J. (2024) Systemic sustainability assessment: Analyzing environmental and social impacts of actions on sustainable development. *Cleaner Production Letters*, 7, art. no. 100064. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clpl.2024.100064>

4. Pang S.L., Liu H., Hua G.H. (2024) How does digital finance drive the green economic growth? New discoveries of spatial threshold effect and attenuation possibility boundary. *International Review of Economics & Finance*, 89 (A), 561–581. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.iref.2023.07.014>

5. Liang S., Tan Q. (2024) Can the digital economy accelerates China's export technology upgrading? Based on the perspective of export technology complexity. *Technological Forecasting and Social Change*, 199, art. no. 123052. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.123052>

6. Китова О.В., Брускин С.Н. (2017) Цифровая трансформация бизнеса. *Цифровая экономика*, 1 (1), 20–25. DOI: <https://doi.org/10.34706/DE-2018-01-02>

7. Ahmad H., Yaqub M., Lee S.H. (2024) Environmental-, social-, and governance-related factors for business investment and sustainability: a scientometric review of global trends. *Environment, Development and Sustainability*, 26, 2965–2987. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10668-023-02921-x>

8. Гилева Т.А. (2019) Цифровая зрелость предприятия: методы оценки и управления. *Вестник УГНТУ. Наука, образование, экономика. Серия: Экономика*, 1, 38–52. DOI: <https://doi.org/10.17122/2541-8904-2019-1-27-38-52>

9. Орлова Е.В. (2023) Акселерация процессов цифровой трансформации предприятия на основе двухуровневой модели оценки его цифровой зрелости. *Экономика промышленности*, 16 (4), 456–467. DOI: <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2023-4-1229>

10. Чурсин А.А., Кокуйцева Т.В. (2022) Развитие методов оценки цифровой зрелости организации с учетом регионального аспекта. *Экономика региона*, 18 (2), 450–463. DOI: <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2022-2-11>

11. Aras A., Büyüközkan G. (2023) Digital Transformation Journey Guidance: A Holistic Digital Maturity Model Based on a Systematic Literature Review. *Systems*, 11 (4), art. no. 213. DOI: <https://doi.org/10.3390/systems11040213>

12. Шкарупета Е.В. (2023) Практические аспекты оценки цифровой зрелости промышленных предприятий в условиях пилотирования инноваций в цифровых сервисах ГИСП. *Информатизация в цифровой экономике*, 4 (1), 9–22. DOI: <https://doi.org/10.18334/ide.4.1.117048>

13. Куклина Е.А., Дементьев К.И. (2023) ESdiGital-трансформация российских нефтегазовых компаний: риски и оценки. *Управленческое консультирование*, 7, 53–71. DOI: <https://doi.org/10.22394/1726-1139-2023-7-53-71>

14. Азиева Р.Х. (2021) Поиск и освоение новых месторождений: методологический подход экономической оценки применения цифровых технологий в нефтегазовой отрасли. *Вестник УГНТУ. Наука, образование, экономика. Серия: Экономика*, 3 (37), 53–66. DOI: <https://doi.org/10.17122/2541-8904-2021-3-37-53-66>
15. Бабкин А.В., Глухов В.В., Шкарупета Е.В. (2022) Методика оценки цифровой зрелости отраслевых промышленных экосистем. *Организатор производства*, 30 (3), 7–20.
16. Веретёхин А.В., Киселев Р.О. (2023) Оценка цифровой трансформации: виды и применение в управлении организацией. *Актуальные проблемы экономики и менеджмента*, 2 (38), 107–115.
17. Попов Е.В., Симонова В.Л., Черепанов В.В. (2021) Уровни цифровой зрелости промышленного предприятия. *Journal of New Economy*, 22 (2), 88–109. DOI: <https://doi.org/10.29141/2658-5081-2021-22-2-5>
18. Краковская И.Н., Корокошко Ю.В., Слушкина Ю.Ю. (2024) Цифровая зрелость промышленных предприятий: опыт оценки. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика*, 40 (3), 433–459. DOI: <https://doi.org/10.21638/spbu05.2024.305>
19. Шинкевич А.И., Надеждина М.Е. (2021) Методика оценки эффективности цифровизации производственных процессов нефтехимического предприятия. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия: Машиностроение*, 2 (137), 72–84. DOI: <https://doi.org/10.18698/0236-3941-2021-2-72-84>
20. Мустафин И.Р., Надеждина М.Е., Шинкевич М.В. (2022) Диагностика развития цифрового производства ОАО «Эксмаш». *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*, 24 (4), 42–48. DOI: <https://doi.org/10.37313/1990-5378-2022-24-4-42-48>
21. Мерзлов И.Ю. (2022) Методы оценки цифровой зрелости: обзор международной практики. *Креативная экономика*, 16 (2), 503–520. DOI: <https://doi.org/10.18334/ce.16.2.114163>
22. Kaplan R.S., Norton D.P. (1992) The Balanced Scorecard—Measures that Drive Performance. *Harvard Business Review*, January–February.
23. Taufik D.A., Purba H.N., Hasbullah H. (2021) Balanced scorecard: Literature review and implementation in organization. *Operations Excellence: Journal of Applied Industrial Engineering*, 13 (1), 111–123. DOI: <https://doi.org/10.22441/oe.2021.v13.i1.012>
24. Овчинникова О.П., Харламов М.М. (2022). Цифровая зрелость градообразующего предприятия: оценка и влияние на развитие территории. *Экономика региона*, 18 (4), 1249–1262. DOI: <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2022-4-20>
25. Кричевский М.Л., Мартынова Ю.А., Дмитриева С.В. (2022) Оценка цифровой зрелости предприятия. *Вопросы инновационной экономики*, 12 (4), 2545–2560. DOI: <https://doi.org/10.18334/vines.12.4.116786>
26. Sony M., Naik S. (2020) Key ingredients for evaluating Industry 4.0 readiness for organizations: a literature review. *Benchmarking: An International Journal*, 27 (7), 2213–2232. DOI: <https://doi.org/10.1108/BIJ-09-2018-0284>
27. Ferreira D.V., de Gusmão A.P.H., de Almeida J.A. (2024) A multicriteria model for assessing maturity in industry 4.0 context. *Journal of Industrial Information Integration*, 38, art. no. 100579. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jii.2024.100579>
28. Леоненков А.В. (2005) *Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH*, монография, СПб.: БХВ Петербург.
29. Sissodia R., Rauthan M.S., Barthwal V., Dwivedi V. (2025). Fuzzy Logic. In: *Recent Theories and Applications for Multi-Criteria Decision-Making* (eds. S. Aouadni, I. Aouadni), IGI Global Scientific Publishing, 279–310. DOI: <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-6502-1.ch010>
30. Farahani M.Y.J., Saberi S., Rostam T.B. (2024) Recognizing Behavior Patterns in Financial Markets based on Candlestick Charts and Fuzzy Logic. *Journal of Electrical Systems*, 20 (3), 6628–6640. DOI: <https://doi.org/10.52783/jes.6982>
31. Omol E.J. (2023) Organizational digital transformation: from evolution to future trends. *Digital Transformation and Society*, 3 (3), 240–256. DOI: <https://doi.org/10.1108/DTS-08-2023-0061>
32. Salkind N.J. (2010) *Encyclopedia of Research Design*, monograph, SAGE Publications Inc. DOI: <https://doi.org/10.4135/9781412961288>
33. Алабугин А.А., Орешкина Н.С. (2019) Концептуальное представление структуры подсистем предприятия в процессах перехода к экономике постиндустриального типа. *Вестник Челябинского государственного университета*, 9 (431), 175–181. DOI: <https://doi.org/10.24411/1994-2796-2019-10919>
34. Peterson J.K. (2020) *Basic Analysis I: Functions of a Real Variable*, monograph, New York: Chapman and Hall/CRC. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781315166254>

35. Терелянский П.В., Костикова А.В. (2013) Разработка методики построения динамических нечетких моделей для оценки качества жизни населения. *Аудит и финансовый анализ*, 4, 449–460.

REFERENCES

1. Kuzin D.V. (2019) Problems of Digital Maturity in Modern Business. *The World of New Economy*, 3, 89–99. DOI: <https://doi.org/10.26794/2220-6469-2019-13-3-89-99>
2. Dolganova O.I., Deeva E.A. (2019) Company readiness for digital transformations: problems and diagnosis. *Business Informatics*, 13 (2), 59–72. DOI: <https://doi.org/10.17323/1998-0663.2019.2.59.72>
3. Zimek M., Baumgartner R.J. (2024) Systemic sustainability assessment: Analyzing environmental and social impacts of actions on sustainable development. *Cleaner Production Letters*, 7, art. no. 100064. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clpl.2024.100064>
4. Pang S.L., Liu H., Hua G.H. (2024) How does digital finance drive the green economic growth? New discoveries of spatial threshold effect and attenuation possibility boundary. *International Review of Economics & Finance*, 89 (A), 561–581. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.iref.2023.07.014>
5. Liang S., Tan Q. (2024) Can the digital economy accelerates China's export technology upgrading? Based on the perspective of export technology complexity. *Technological Forecasting and Social Change*, 199, art. no. 123052. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.123052>
6. Kitova O.V., Bruskin S.N. (2017) Digital Transformation of Business. *Digital Economy*, 1 (1), 20–25. DOI: <https://doi.org/10.34706/DE-2018-01-02>
7. Ahmad H., Yaqub M., Lee S.H. (2024) Environmental-, social-, and governance-related factors for business investment and sustainability: a scientometric review of global trends. *Environment, Development and Sustainability*, 26, 2965–2987. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10668-023-02921-x>
8. Gileva T.A. (2019) Digital maturity of the enterprise: methods of assessment and management. *Bulletin USPTU. Science, Education, Economy. Series Economy*, 1, 38–52. DOI: <https://doi.org/10.17122/2541-8904-2019-1-27-38-52>
9. Orlova E.V. (2023) Acceleration of enterprise digital transformation processes based on the two-level digital maturity assessment model. *Russian Journal of Industrial Economics*, 16 (4), 456–467. DOI: <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2023-4-1229>
10. Chursin A.A., Kokuytseva T.V. (2022) Development of methods for assessing the digital maturity of organisations considering the regional aspect. *Economy of Region*, 18 (2), 450–463. DOI: <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2022-2-11>
11. Aras A., Büyüközkan G. (2023) Digital transformation journey guidance: A holistic digital maturity model based on a systematic literature review. *Systems*, 11 (4), art. no. 213. DOI: <https://doi.org/10.3390/systems11040213>
12. Shkarupeta E.V. (2023) Practical aspects of assessing the digital maturity of industrial companies in the context of piloting innovation in digital services of the State Industry Information System. *Informatization in the Digital Economy*, 4 (1), 9–22. DOI: <https://doi.org/10.18334/ide.4.1.117048>
13. Kuklina E.A., Dementiev K.I. (2023) ESdiGital-transformation of Russian oil and gas companies: Risks and assessments. *Administrative Consulting*, 7, 53–71. DOI: <https://doi.org/10.22394/1726-1139-2023-7-53-71>
14. Azieva R.Kh. (2021) Search and development of new deposits: Methodological approach to economic assessment of application in the oil and gas industry digital technologies. *Bulletin USPTU. Science, education, economy. Series economy*, 3 (37), 53–66. DOI: <https://doi.org/10.17122/2541-8904-2021-3-37-53-66>
15. Babkin A.V., Glukhov V.V., Shkarupeta E.V. (2022) Methodology of assessing the digital maturity of industrial ecosystems. *Organizer of Production*, 30 (3), 7–20.
16. Veretyokhin A.V., Kiselev R.O. (2023) Assessing digital transformation: types and application in management of an organisation. *Actual Problems of Economics and Management*, 2 (38), 107–115.
17. Popov E.V., Simonova V.L., Cherepanov V.V. (2021) Digital maturity levels of an industrial enterprise. *Journal of New Economy*, 22 (2), 88–109. DOI: <https://doi.org/10.29141/2658-5081-2021-22-2-5>
18. Krakovskaya I., Korokoshko J., Slushkina Y. (2024) Digital maturity of industrial enterprises: Evaluation experience. *St. Petersburg University Journal of Economic Studies*, 40 (3), 433–459. DOI: <https://doi.org/10.21638/spbu05.2024.305>

19. Shinkevich A.I., Nadezhdina M.E. (2021) Methodology for assessing the efficiency of digitalization of production processes of a petrochemical enterprise. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series Mechanical Engineering*, 2 (137), 72–84. DOI: <https://doi.org/10.18698/0236-3941-2021-2-72-84>
20. Mustafin I.R., Nadezhdina M.E., Shinkevich M.V. (2022) Diagnostics of digital production development OJSC “EKSMASH”. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 24 (4), 42–48. DOI: <https://doi.org/10.37313/1990-5378-2022-24-4-42-48>
21. Merzlov I.Y. (2022) Methods for assessing digital maturity: an overview of international practice. *Creative Economy*, 16 (2), 503–520. DOI: <https://doi.org/10.18334/ce.16.2.114163>
22. Kaplan R.S., Norton D.P. (1992) The Balanced Scorecard—Measures that Drive Performance. *Harvard Business Review*, January–February.
23. Taufik D.A., Purba H.H., Hasbullah H. (2021) Balanced scorecard: Literature review and implementation in organization. *Operations Excellence: Journal of Applied Industrial Engineering*, 13 (1), 111–123. DOI: <https://doi.org/10.22441/oe.2021.v13.i1.012>
24. Ovchinnikova O.P., Kharlamov M.M. (2022) Digital maturity of core enterprises: Assessment and impact on territorial development. *Economy of regions*, 18 (4), 1249–1262. DOI: <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2022-4-20>
25. Krichevskiy M.L., Martynova Y.A., Dmitrieva S.V. (2022) Assessment of the enterprise's digital maturity. *Russian Journal of Innovation Economics*, 12 (4), 2545–2560. DOI: <https://doi.org/10.18334/vinec.12.4.116786>
26. Sony M., Naik S. (2020) Key ingredients for evaluating Industry 4.0 readiness for organizations: a literature review. *Benchmarking: An International Journal*, 27 (7), 2213–2232. DOI: <https://doi.org/10.1108/BIJ-09-2018-0284>
27. Ferreira D.V., de Gusmão A.P.H., de Almeida J.A. (2024) A multicriteria model for assessing maturity in industry 4.0 context. *Journal of Industrial Information Integration*, 38, art. no. 100579. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jii.2024.100579>
28. Leonenkov A.V. (2005) *Nechetkoe modelirovanie v srede MATLAB i fuzzyTECH [Fuzzy Modeling in MATLAB and fuzzyTECH]*, monograph, St. Petersburg: BKHV Peterburg.
29. Sissodia R., Rauthan M.S., Barthwal V., Dwivedi V. (2025). Fuzzy Logic. In: *Recent Theories and Applications for Multi-Criteria Decision-Making* (eds. S. Aouadni, I. Aouadni), IGI Global Scientific Publishing, 279–310. DOI: <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-6502-1.ch010>
30. Farahani M.Y.J., Saberi S., Rostam T.B. (2024) Recognizing behavior patterns in financial markets based on candlestick charts and fuzzy logic. *Journal of Electrical Systems*, 20 (3), 6628–6640. DOI: <https://doi.org/10.52783/jes.6982>
31. Omol E.J. (2023) Organizational digital transformation: from evolution to future trends. *Digital Transformation and Society*, 3 (3), 240–256. DOI: <https://doi.org/10.1108/DTS-08-2023-0061>
32. Salkind N.J. (2010) *Encyclopedia of Research Design*, monograph, SAGE Publications Inc. DOI: <https://doi.org/10.4135/9781412961288>
33. Alabugin A.A., Oreshkina N.S. (2019) A conceptual representation of the structure of enterprise subsystems and an assessment of the degree of their relationship in the processes of transition. *Bulletin of Chelyabinsk State University*, 9 (431), 175–181. DOI: <https://doi.org/10.24411/1994-2796-2019-10919>
34. Peterson J.K. (2020) *Basic Analysis I: Functions of a Real Variable*, monograph, New York: Chapman and Hall/CRC. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781315166254>
35. Tereliansky P.V., Kostikova A.V. (2013) Development method of fuzzy dynamic models construction for life quality evaluation. *Audit and financial analysis*, 4, 449–460.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT AUTHOR

ВЕРЕТЁХИН Андрей Васильевич

E-mail: v_a_v_crimea@mail.ru

Andrey V. VERETYOKHIN

E-mail: v_a_v_crimea@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6287-4091>

Поступила: 29.01.2025; Одобрена: 20.02.2025; Принята: 20.02.2025.

Submitted: 29.01.2025; Approved: 20.02.2025; Accepted: 20.02.2025.