

Подход к оценке цифровой зрелости промышленных предприятий на основе нечеткой логики

Fuzzy logic approach to assessing the industrial enterprises digital maturity

doi 10.26310/2071-3010.2020.264.10.009



А. К. Петрова,
старший преподаватель
✉ ak72p@yandex.ru

A. K. Petrova,
senior lecturer



Н. В. Лашманова,
д. т. н., профессор
✉ Natalasha2007@mail.ru

N. V. Lashmanova,
PhD, professor



А. Б. Жернаков,
старший преподаватель
✉ anton_j@mail.ru

A. B. Zhernakov,
senior lecturer

Кафедра инновационного менеджмента, Институт инновационного проектирования и технологического предпринимательства, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)
Department of innovative management, Institute of innovation design and technological entrepreneurship, Saint-Petersburg electrotechnical university «LETI» by Ulyanov (Lenin)

В статье обоснована необходимость разработки инструментов поддержки принятия решений в период цифровой трансформации промышленного предприятия, предложен ресурсный метод оценки цифровой зрелости в качестве одного из таких инструментов, рассмотрен подход к оценке уровня цифровой зрелости промышленных предприятий с применением аппарата нечеткой логики.

The article substantiates the need to develop decision support tools for industrial enterprise digital transformation, proposes a resource method for assessing digital maturity as one of such tools, considers an approach to assessing the level of industrial enterprises digital maturity using a fuzzy logic apparatus.

Ключевые слова: цифровая трансформация, ресурсы промышленного предприятия, цифровая зрелость, нечеткая логика.

Keywords: digital transformation, industrial enterprise resources, digital maturity, fuzzy logic.

Базовыми направлениями программы «Цифровая экономика Российской Федерации», утвержденной распоряжением Правительства РФ № 1632-р от 28 июля 2017 г., являются нормативное регулирование, кадры и образование, формирование исследовательских компетенций и основных инфраструктурных элементов цифровой экономики, создание экосистемы цифровой экономики страны и условий для высокотехнологических отраслей и повышения конкурентоспособности как этих отраслей, так и экономики в целом [1].

Цифровая трансформация может быть определена следующим образом:

- Технологическое изменение на всех уровнях организации, которое включает как использование цифровых технологий для улучшения существующих процессов, так и исследование цифровых инноваций [2, 3].
- Процесс интеграции цифровых технологий во все аспекты деятельности, требующий внесения коренных изменений в технологии, культуру, операции и принципы создания новых продуктов и услуг с целью повышения производительности кадров, повышения качества продукции и усиления конкурентоспособности предприятия [4, 5].
- Цифровая инновация, которая определяется как сочетание цифровых технологий и физических

компонентов для создания инновационных продуктов, может рассматриваться и как факторы, потенциально угрожающие организации [2].

При этом, эффективность процессов цифровизации предприятий зачастую не отвечает поставленным целям и задачам. Исследование компаний Google и VCG показало, что лишь 2% компаний находятся в стадии «цифровой зрелости» и применяют полный спектр цифровых возможностей, несмотря на то, что цифровая трансформация дает безусловное конкурентное преимущество и может увеличить доходы компании на 20% и уменьшить расходы на 30% [3].

Понятно, что в процессе разработки стратегии цифровой трансформации руководители нуждаются в инструменте поддержки принятия решений для эффективных преобразований, таким инструментом может служить модель цифровой зрелости инновационных предприятий.

Понятие зрелости появилось в области управления качеством в 1930-х гг., чтобы описать развитие организации по аналогии с развитием человека и общества. С тех пор разработано большое разнообразие моделей зрелости, для оказания поддержки руководителям в определении текущего уровня и эффективного продвижения предприятия на пути цифровой трансформации.

В данной статье используется понятие цифровой зрелости предприятия, ниже приведены некоторые определения этого понятия.

1. Цифровая зрелость — это состояние, в котором цифровые достижения предприятия достигают предела [2, 3].
2. Согласно работам Ханиаса и Гесса [4] цифровая зрелость предприятий имеет две интерпретации:
 - технологическая интерпретация: степень, в которой задачи компании выполняются и информация (потоки) обрабатываются при помощи информационных технологий;
 - организационная интерпретация: статус цифровой трансформации компании, описывающий то, чего компания уже достигла с точки зрения выполнения усилий по цифровой трансформации (интеграция подразделений, вовлеченность и развитие человеческого капитала и т. д.).
3. Модель зрелости по Бергхаусу [5] состоит из системы показателей и их оценок, которые позволят определить этап зрелости, на котором находится предприятие, указывая путь развития к желаемому целевому состоянию.
4. Берхольд [2] определяет модель зрелости, как инструмент, который используется для измерения, сравнения, описания или определения пути, или дорожной карты цифровой трансформации предприятия. Обычно модель используется, когда инструментов для измерения других показателей эффективности цифровой трансформации предприятия недостаточно, контексты измерения сложны и не могут быть измерены числами. Модель цифровой зрелости предприятия основана на таком критерии оценки, как его «состояние завершенности, совершенства или готовности» к инновационным преобразованиям.

В источнике [2] описано два типа моделей зрелости: одномерной зрелости (SMM, single maturity model) и многомерной зрелости (MMM, multiple maturity model). Базовыми компонентами для обоих типов являются какая-либо характеристика предприятия и уровень зрелости, как функция от нее. Модель одномерной зрелости основывается на оценке одного показателя. Модель многомерной зрелости, напротив, может использоваться для оценки, сравнения и описания нескольких показателей, определяющих направления цифровой трансформации.

В многомерных моделях возникает проблема подсчета общего показателя уровня цифровой зрелости; для этого существуют два подхода. Обобщенный показатель зрелости предприятия может определяться как на основе аддитивной, так и мультипликативной (произведение значений показателей) свертки. Линейная модель (аддитивная свертка показателей) применяется в случае, если агрегируемые показатели не являются взаимосвязанными и взаимозависимыми.

В результате анализа авторами 35 моделей цифровой зрелости предприятий [2-40] были выявлены следующие классификационные признаки моделей:

1. Отраслевая принадлежность.
2. Размерность (одномерные, двумерные, многомерные модели).

3. Направленность (стратегический, клиентоориентированный, технологический, организационный, продуктовый, процессный, функциональный, интегральный подход).
4. Подход к оценке (усреднение, сумма взвешенных оценок, усреднение взвешенных оценок, нечеткая логика).
5. Инструментарий и методы, применяемые для анализа (опросник, литературные источники).
6. Кто разработал (консалтинговые компании, индивидуальные исследователи).

Критерии оценки уровней зрелости можно условно разделить на следующие обобщенные группы:

1. Внутренние:
 - организационные (стратегия, видение/руководство, бизнес-модель, организационная культура, структура, инфраструктура, персонал, задачи);
 - технологические (технологии/производство, автоматизирование и инжиниринг, действия с данными, операции);
 - функциональные (управление качеством, логистика, финансы, инновации).
2. Внешние (потребители, лидерство, обслуживание, глобальное взаимодействие, устойчивость).
3. Смешанные или комплексные (интеграция внутренних и внешних процессов, вертикальная и горизонтальная интеграция).

Далее приведены примеры моделей цифровой зрелости, предназначенные для оценивания процессов основной деятельности промышленных предприятий.

1. Цифровое пианино (Digitization Piano) [6] разработано созданным по инициативе компаний IMD и Cisco Глобальным центром трансформации цифрового бизнеса (Global Center for Digital Business Transformation). Аналогично 7 нотам, выделяются 7 категорий (Transformation Category): бизнес-модель (Business Model), организационная структура (Structure), сотрудники (People), процессы (Processes), ИТ-возможности (IT Capability), предложения (Offerings), модель взаимодействия (Engagement Model). При помощи модели можно определить разрыв между текущим и требуемым уровнями по каждому направлению, и разработать рекомендации по одновременному преобразованию нескольких элементов системы (аналогично созданию музыкальных аккордов).
2. Российская компания Команда-А (KMDA) [7], консультирующая предприятия в области цифровой трансформации, выделяет 6 ключевых направлений стратегических преобразований в процессе цифровой трансформации: клиентоцентричность, омниканальность, коллаборации предприятия как экосистемы, данные как основа для принятия решений, инновационная культура, ценностные предложения, цифровая компетентность персонала.
3. В модели DREAMY [8] процессы производственной компании были сгруппированы в стратегические для цифровой трансформации направления: проектирование и инжиниринг; управление производством; управление качеством; управление



Рис. 1. Ресурсная модель оценки уровня цифровой зрелости промышленного предприятия

техническим обслуживанием; управление логистикой. Каждое направление может рассматриваться как автономный модуль. Уровни зрелости этой модели: исходный, успешный, определенный, интегрированный/межоперационный, digital-ориентированный — были основаны на принципах структуры CMMI Capability Maturity Model Integration [9, 10].

4. «Модель зрелости для обеспечения готовности и зрелости промышленных предприятий 4.0», опубликованная в 2016 г. [11], концентрируется на обрабатывающей промышленности. Представлены следующие категории: стратегия, лидерство, клиенты, продукты, операции, культура, персонал, управление и технологии. Эти измерения были затем разделены на подкатегории, называемые элементами зрелости. Уровни зрелости разделены на 5 уровней по шкале Лайкерта, где первый уровень представляет отсутствие каких-либо возможностей Industry 4.0, а пятый — полное внедрение возможностей Industry 4.0. Кроме того, каждой из категорий присвоен определенный вес, чтобы создать общую оценку зрелости.

Можно проследить взаимосвязь цифровой зрелости с уровнем готовности ресурсов промышленного предприятия, и для повышения эффективности цифровых преобразований разработать соответствующие модели управления всеми ресурсами предприятия. Таким образом, целесообразно рассмотреть модель цифровой зрелости, основанную на оценке ресурсов, т. е. «ресурсную» модель, благодаря которой оценка может быть осуществлена на системном уровне.

Система оценок цифровой зрелости основных ресурсов промышленного предприятия может выглядеть следующим образом: материально-технические (средства измерения, оборудование), информационные (математическое и методическое обеспечение), кадровые (цифровых компетенций обслуживающего персонала, уровня вовлеченности, уровня обеспеченности кадров информационно-техническими средствами), финансовые (экономическая эффективность предприятия, стоимость внедрения и обслуживания процессов цифровизации) ресурсы.

Для оценки готовности промышленного предприятия к цифровой трансформации, может быть использовано моделирование, базирующееся на пред-

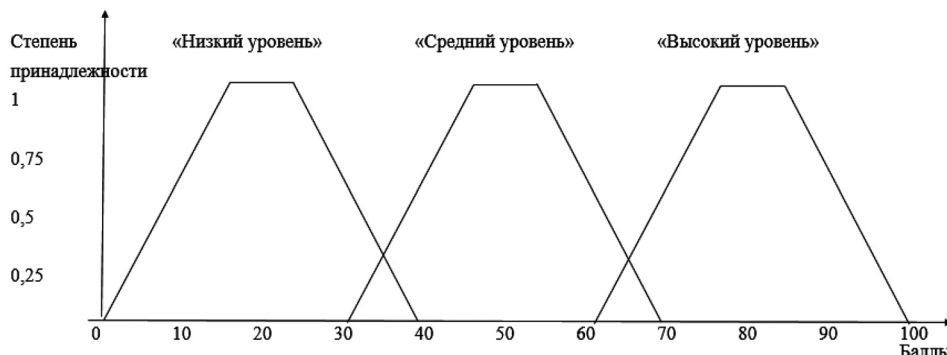


Рис. 2. Функции принадлежности термов переменной «Вовлеченность кадрового ресурса»

Таблица 1

Оценки готовности ресурсов

Ресурсы промышленного предприятия	Уровень готовности ресурсов к цифровой трансформации согласно экспертной оценке, баллы 1-100
F	55
HR	80
IT	80
MT	60

варительном описании системы в виде логической функции и перехода к нечетким оценкам [41].

Таким образом, на основе априорной оценки ресурсных факторов предложена модель оценки уровня цифровой зрелости промышленного предприятия. Модель представлена на рис. 1.

Для формализации зависимости уровня цифровой зрелости промышленных предприятий от ресурсных факторов был использован аппарат нечеткой логики, позволяющий получать оценки на основе «нечеткой» информации. Нечеткое множество — это математическое описание класса объектов или явлений с нечеткими границами [42]. В этом определении учитывается возможность постепенного перехода от принадлежности к непринадлежности некоторого элемента определенному множеству.

Кортеж для описания модели оценки уровня цифровой зрелости промышленных предприятий в таком случае может выглядеть так:

$$R = \langle P, X, Z, \mu(x), \mu(z), R, F, D, W \rangle,$$

где P — множество ресурсов (кадрового HR, финансового F, материально-технического MT, информационного IT ресурсов) $p_n \subset P: n \in \{1; N\}$; X, Z — нечеткие множества, где термы — нечеткие переменные, определяющие характеристики: X — ресурсов, $x_i \subset X: i \in \{1; N\}$; Z — значений выходной переменной, т. е. уровней цифровой зрелости промышленного предприятия (ПП), $z_i \subset Z: i \in \{1; L\}$; $\mu(x), \mu(z)$ — функции принадлежности, определяющие степень соответствия термов множеств входных факторов этим множествам X, Z ; предлагается взять форму трапециевидного типа, как наиболее удобную для задания неопределенностей исследуемого типа, коэффициенты которой определяются экспертами согласно правилам R_X, R_Z соответственно; R — база нечетких правил систем нечеткого вывода для формального представления эмпирических знаний экспертов; R_Z — определяемые экспертами нечеткие отношения, позволяющие со степенью принадлежности $\mu(z)$ отобразить отображение множества X на множество Z ;

Таблица 2

Сведения о ресурсах со значениями функций принадлежности

Функции принадлежности $\mu(X)_p$, $X \in \{F, HR, MT, IT\}$ — ресурсы предприятия, $i \in \{1; 3\}$ — уровни готовности ресурсов	Значения функций принадлежности ресурсов промышленного предприятия термам лингвистических переменных
$\mu(F)_1$	0
$\mu(F)_2$	1
$\mu(F)_3$	0
$\mu(HR)_1$	0
$\mu(HR)_2$	0
$\mu(HR)_3$	1
$\mu(MT)_1$	0
$\mu(MT)_2$	1
$\mu(MT)_3$	0
$\mu(IT)_1$	0
$\mu(IT)_2$	0
$\mu(IT)_3$	1

F — процедура фаззификации, установка соответствия между значением входной переменной системы нечеткого вывода и значением функции принадлежности соответствующего ей терма лингвистической переменной; D — процедура дефаззификации, переход от функции принадлежности выходной лингвистической переменной к ее четкому значению; W — блок нечеткого логического вывода.

Рассмотрим пример формализации нечетких требований. Обозначим через HR лингвистическую переменную «Кадровый ресурс». Согласно оценкам экспертов, наиболее значимыми кадровыми факторами цифровой трансформации являются вовлеченность HR (E) и уровень информационно-алгоритмического обеспечения кадровых процессов HR (J). Пусть вовлеченность находится в диапазоне от 1 до 100, тогда область определения переменной HR (E) = $[1; 100]$. Выделим категории переменной вовлеченности и опишем их соответствующими базовыми термами: HR (E) = {«Низкий уровень», «Средний уровень», «Высокий уровень»}.

Термы лингвистической переменной «Кадровый ресурс» и ее составляющих характеризуют неопределенность типа «скорее равно» и «расположен в интервале». Для описания подобной неопределенности целесообразно использовать кусочно-линейную,

Таблица 3

Результат нечеткой оценки уровня цифровой зрелости

Уровень готовности ресурсов предприятия к цифровой трансформации, баллы 1-100				Степени принадлежности ресурсов нечеткому множеству «уровень готовности»				Степень принадлежности промышленного предприятия к нечеткому множеству «уровень цифровой зрелости»		
F	HR	IT	MT	$\mu(F)_2$	$\mu(HR)_3$	$\mu(IT)_3$	$\mu(MT)_2$	$\mu(\Pi_3)_1$	$\mu(\Pi_3)_2$	$\mu(\Pi_3)_3$
55	80	80	60	1	1	1	1	0	1	0

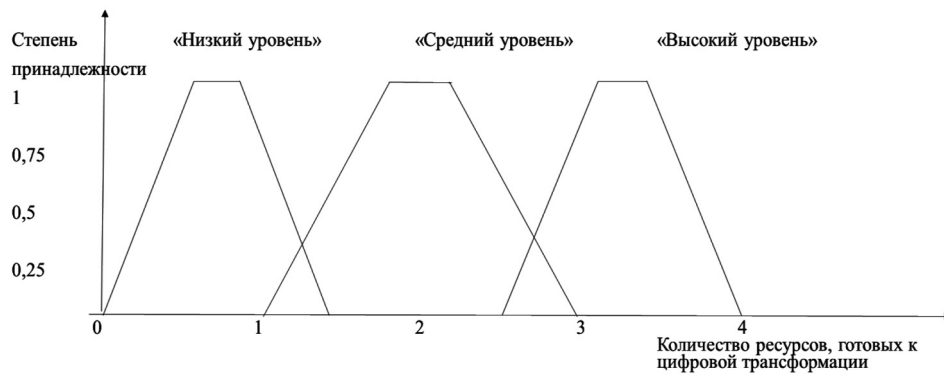


Рис. 3. Функции принадлежности термов результирующей переменной «Уровень цифровой зрелости промышленного предприятия»

например, трапециевидную функцию принадлежности [42]. График трапециевидной функции принадлежности, определяемой формулой (1), приведен на рис. 2.

Трапециевидные функции принадлежности термов задаются аналитически следующим выражением:

$$\mu(x, a, b, c, d) = \begin{cases} 1 - \frac{b-x}{b-a}, & a < x \leq b; \\ 1, & b < x \leq c; \\ 1 - \frac{x-c}{d-c}, & c < x \leq d; \\ 0, & \text{в остальных случаях,} \end{cases} \quad (1)$$

где a, b, c, d — некоторые числовые параметры, упорядоченные отношением $a \leq b \leq c \leq d$, например, функция принадлежности термина «Низкая вовлеченность» описывается параметрами [0-30].

Аналогично определяются и формализуются категории других лингвистических переменных, соответствующих ресурсам предприятия. Уровень цифровой зрелости также представляет собой выходную лингвистическую переменную Z и описывается таким же образом. Тогда система нечеткого вывода будет содержать конечное множество нечетких решений, согласно условию:

$$\text{If } \frac{\sum_{i=1}^I x_i}{\mu(x)} \text{ then } \frac{\sum_{i=1}^I z_i}{\mu(z)}.$$

То есть, при

$$\sum_{i=1}^I x_i \rightarrow \max, \text{ then } \frac{z_i}{\mu(z)} =$$

= «обеспеченность ресурсами на высоком уровне, уровень цифровой зрелости промышленного предприятия высокий».

При

$$\sum_{i=1}^I x_i \rightarrow \min, \text{ then } \frac{z_i}{\mu(z)} =$$

= «обеспеченность ресурсами на низком уровне, уровень цифровой зрелости промышленного предприятия минимальный».

При

$$\min \ll \sum_{i=1}^I x_i \ll \max, \text{ then } \frac{z_i}{\mu(z)} =$$

= «средний уровень цифровой зрелости промышленного предприятия».

Реализация нечетких запросов в интеллектуальной системе оценки уровня цифровой зрелости промышленного предприятия. Для примера было выбрано промышленное предприятие газотранспортной отрасли. В качестве входной информации, на основании экспертных оценок были определены уровни готовности ресурсных факторов к цифровой трансформации: F — финансовый ресурс, HR — кадровый ресурс, IT — информационно-технический ресурс, MT — материально-технический ресурс, ЦЗ ПП — уровень цифровой зрелости промышленного предприятия. При этом готовность материально-технических и финансовых ресурсов была оценена экспертами, как находящаяся на среднем уровне; а информационных и кадровых — на достаточно высоком (табл. 1).

Рассчитаем значения функций принадлежности μ ресурсов к каждому из приведенных нечетких множеств (табл. 2).

Результат нечеткой оценки показывает, что предприятие находится на среднем уровне цифровой зрелости (табл. 3, рис. 3).

Таким образом, согласно модели, рассмотренное предприятие находится на уровне цифровой зрелости, требующем дальнейшей проработки готовности материально-технического и финансового ресурсов.

Инновационные преобразования промышленного производства требуют развития инструментов оценки уровня цифровой зрелости общества и предприятий. В статье рассматриваются проблемы оценки уровня цифровой зрелости промышленных предприятий. Предложенная ресурсная модель может, в числе других, оценить соответствие уровня цифровой зрелости инновационных предприятий цифровой зрелости общества.

Список использованных источников

1. Программа «Цифровая экономика Российской Федерации, утв. распоряжением Правительства РФ № 1632-р от 28 июля 2017 г.
2. T. Bierhold. For a better understanding of Industry 4.0 – An Industry 4.0 maturity model. University Of Twente: сайт. Энсхеде, Нидерланды, 2018. https://essay.utwente.nl/75330/1/Bierhold_BA_BMS.pdf.

3. Что такое цифровая зрелость? Консалтинговая компания АМС: сайт. Россия, 2018. https://amc-pro.ru/en/materialy/finace4/chto_takoe_cifrovaya_zrelost.
4. S. Chanias, T. Hess. How digital are we? Maturity models for the assessment of a company's status in the digital transformation. Semantic Scholar: научная библиотека на основе искусственного интеллекта, 2018. https://pdfs.semanticscholar.org/591c/21d32fb98d52e887d50d0a8e204a284afdfa.pdf?_ga=2.240828682.846312219.1565178197-1159811431.1558176723.
5. S Berghaus, A. Back. Stages in Digital Business Transformation: Results of an Empirical Maturity Study//MCIS, 2016, Proceedings. 22. AIS Electronic Library (AISeL). <https://pdfs.semanticscholar.org/d416/aa50e0eb6abb3f5e6e5fa071931f9a494d28.pdf>.
6. Digital Business Transformation. A Conceptual Framework. Global Center for Digital Business Transformation, 2015. P. 16.
7. Цифровая трансформация в России: аналитический отчет на основе результатов опроса российских компаний. 2018. https://komanda-a.pro/blog/dtr_2018.
8. Gartner, Strategic Roadmap for Digital Business Transformation. Gartner Research, сайт. 2016. <https://www.gartner.com/en/documents/3479743/2016-strategic-roadmap-for-digital-business-transformati>.
9. L. Canetta, A. Barni, E. Montini. Development of a Digitalization Maturity Model for the Manufacturing Sector//IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC). IEEE, 2018. P. 1-7.
10. Г. Шу, Р. Андерл, Ю. Гауземайер, М. тен Хомпель и др. Индекс зрелости «индустрии 4.0» – управление цифровым преобразованием компаний. Мюнхен: Herbert Utz Verlag, 2017.
11. A. Schumacher, S. Erol, W. Sihn. A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises//Procedia CIRP, 52, 2016, 161-166.
12. Главные элементы digital-трансформации: как проанализировать свою компанию. Единый бизнес портал Google, сайт. США, 2018. <https://www.thinkwithgoogle.com/intl/ru-ru/insights-trends/user-insights/digital-transformation-factors>.
13. Digital Identities Genuine Security for a Connected Worldhttps. Threatmetrix сайт. США, 2018. <https://www.threatmetrix.com/wp-content/uploads/2018/04/white-paper-digital-identities-1525109453.pdf>.
14. The Digital Identity Maturity Model. The Definitive Guide to Digital Identity: сайт. <https://www.digitalidentityguide.com/the-digital-identity-maturity-model>.
15. G. C. Kane, D. Palmer, A. N. Phillips, D. Kiron, N. Buckley. Achieving Digital Maturity. Deloitte, исследовательский центр, сайт. 2018. https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/3678_achieving-digital-maturity/DUP_Achieving-digital-maturity.pdf.
16. Digital Maturity & Transformation Report 2016. Institut für Wirtschaftsinformatik, Universität St.Gallen Die Marken- und Verwertungsrechte liegen bei der Crosswalk AG, сайт. Германия, 2016 <https://www.digitaleschweiz.ch/wp-content/uploads/2016/06/digital-maturity-transformation-report-2016-mit-best-practices.pdf>.
17. Industry 4.0: Building the digital enterprise. 2016 Global Industry 4.0 Survey, сайт, 2018. <https://www.pwc.com/gx/en/industries/industries-4-0/landing-page/industry-4-0-building-your-digital-enterprise-april-2016.pdf>.
18. G. Remane, A. Hanelt, F. Wiesboeck, L. Ludwig-Maximilian-Kolbe. Digital Maturity In Traditional Industries – An Exploratory Analysis//Twenty-Fifth European Conference on Information Systems (ECIS), сайт. Guimarães, Portugal, 2017. Semantic Scholar: научная библиотека на основе искусственного интеллекта. <https://pdfs.semanticscholar.org/8296/848850c729e70e4d ac01198db7b8ae410f99.pdf>.
19. K. Lichtblau et al. Impuls. Industrie 4.0-Readiness. Фонд IMPULS, сайт. Германия, 2018. [http://www.impuls-stiftung.de/documents/3581372/4875835/Industrie+4.0+Re adiness+IMPULS+Studie+Oktober+2015.pdf/447a6187-9759-4f25-b186-b0f5eac69974](http://www.impuls-stiftung.de/documents/3581372/4875835/Industrie+4.0+Readiness+IMPULS+Studie+Oktober+2015.pdf/447a6187-9759-4f25-b186-b0f5eac69974).
20. Industry 4.0. How to navigate digitization of the manufacturing sector. McKinsey Digital, сайт. 2018. <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/industry-four-point-o-how-to-navigae-the-digitization-of-the-manufacturing-sector>.
21. Industry 4.0: Building the digital enterprise. 2016 Global Industry 4.0 Survey, сайт. 2018. <https://www.pwc.com/gx/en/industries/industries-4-0/landing-page/industry-4-0-building-your-digital-enterprise-april-2016.pdf>.
22. C. Leyh, K. Bley, T. Schäffer, S. Forstehäusler. SIMMI 4.0 – A Maturity Model for Classifying the Enterprise-wide IT and Software Landscape Focusing on Industry 4.0// Proceedings of the Federated Conference on Computer Science and Information Systems. ACSIS, Vol. 8. 2016. P. 1297-1302.
23. E. Gökalp, U. Şener, P. Erhan Eren. Development of an Assessment Model for Industry 4.0: Industry 4.0-MM. ResearchGate, научная сеть, сайт. США, 2018. https://www.researchgate.net/publication/319640255_Development_of_an_Assessment_Model_for_Industry_40_Industry_40-MM.
24. The Digital Advantage: How digital leaders outperform their peers in every industry. Capgemini Group, сайт. Париж, 2018. https://www.capgemini.com/wpcontent/uploads/2017/07/The_Digital_Advantage_How_Digital_Leaders_Outperform_their_Peers_in_Every_Industry.pdf.
25. G. Westerman, D. Bonnet, Andrew McAfee Leading digital: turning technology into business transformation. Harvard Business School Publishing, 2014. P. 303.
26. W. Dorst. Bitkom e.V.Implementation Strategy Industrie 4.0 Report on the results of the Industrie 4.0 Platform: Bitkom e.V.Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V., 2016. P. 104.
27. H. Kagemann et al. Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0. Final report of the Industrie 4.0 Working Group. Компания DIN, сайт. Германия, 2018. <https://www.din.de/blob/76902/e8cac883f42bf28536e7e8165993f1fd/recommendations-for-implementing-industry-4-0-data.pdf>.
28. Andreas Schmitz IDC Benchmark: Digital Maturity Check for Self-Assessment. Компания SAP, сайт. США, 2015. <https://news.sap.com/2015/12/idc-benchmark-digital-maturity-check-for-self-assessment>.
29. Are You Ready for Digital Transformation? Measuring Your Digital Business Aptitude. Компания KPMG, сайт. Нидерланды, 2018. <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/pdf/2016/04/measuring-digital-business-aptitude.pdf>.
30. Т. А. Гилева. Цифровая зрелость предприятия: методы оценки и управления//Science, education, economy. Series economy. № 1 (27), 2019.
31. C. Liebrecht, A. Jacoba, A. Kuhnlea, G. Lanzaa. Multi-Criteria Evaluation of Manufacturing Systems 4.0 under Uncertainty//The 50th CIRP Conference on Manufacturing Systems. Procedia CIRP, 63, 2017, 224-229.
32. 80% of firms face lagging digital transformation maturity. Consultancy, сайт. Великобритания, 2018. <https://www.consultancy.uk/news/3040/80-percent-of-firms-face-lagging-digital-transformation-maturity>.
33. TM Forum (2017). The Digital Maturity Model (DMM). TMForum, сайт. США, 2018. <https://www.tmforum.org/digital-maturity-model-metrics>.
34. N. Fenwick, M. Gill. Arbeitest du bei einem digitalen Dinosaurier? Oder ist dein Arbeitgeber ein digitaler Master? Svenruoss.ch, блог. Германия, 2018. <https://svenruoss.ch/2015/06/24/teil-10-arbeitest-du-bei-einem-digitalen-dinosaurier-oder-ist-dein-arbeitgeber-ein-digitaler-master>.
35. K. H. Land. Digital Transformation Report 2015. Neuland.digital, сайт. Германия, 2015. https://neuland.digital/DTA_Report_2015.pdf.
36. S. F. Berman, R. Bell. Digital transformation: Creating new business models where digital meets physical. IBM, сайт. США, 2011. <https://www.ibm.com/downloads/cas/B6Y8LY4Z>.
37. K. O'Hea. Digital Capability – How to Understand, Measure, Improve and Get Value from it. Mural.maynoothuniversity, электронная библиотека. Ирландия, 2011. http://mural.maynoothuniversity.ie/6396/1/IVIExecBriefing-DigitalCapabilityv1.0_1.pdf.
38. M. Mueller, T. Baer, C. Weber. The Digital Maturity Map – Motivation for an EDM-based digital validation method. Designociety, сайт конференции. Хорватия, 2006. <https://www.designsociety.org/publication/n/19146/the+digital+maturity+map++motivation+for+an+edm+based+validation+method>.
39. D. Kiron, G. Kane, D. Palmer, A. N. Phillips, N. Buckley. Aligning the Organization for its Digital Future. Mitsloan management review, электронный журнал. США, 2016. <https://sloanreview.mit.edu/projects/aligning-for-digital-future>.
40. O. Valdez-de-Leon. A Digital Maturity Model for Telecommunications Service Providers. Technology Innovation Management Review, электронный журнал. Канада, 2016. https://timreview.ca/sites/default/files/article_PDF/Valdez-de-Leon_TIMReview_August2016.pdf.
41. Н. В. Атапина, В. Н. Кононов. Сравнительный анализ подходов к имитационному моделированию рискованных ситуаций//Современные тенденции развития науки и технологий. № 1-5. 2015. С. 20-23.
42. Л. А. Заде. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976. 167 с.

References

1. The program «Digital Economy of the Russian Federation, Government Decree № 1632-р dated July 28, 2017. (In Russian.)
2. T. Bierhold. For a better understanding of Industry 4.0 – An Industry 4.0 maturity model. University Of Twente, 2018. https://essay.utwente.nl/75330/1/Bierhold_BA_BMS.pdf.
3. What is digital maturity? Consulting company АМС. Russia, 2018. https://amc-pro.ru/en/materialy/finace4/chto_takoe_cifrovaya_zrelost. (In Russian.)
4. S. Chanias, T. Hess. How digital are we? Maturity models for the assessment of a company's status in the digital transformation. Semantic Scholar, 2018. https://pdfs.semanticscholar.org/591c/21d32fb98d52e887d50d0a8e204a284afdfa.pdf?_ga=2.240828682.846312219.1565178197-1159811431.1558176723.
5. S Berghaus, A. Back. Stages in Digital Business Transformation: Results of an Empirical Maturity Study//MCIS, 2016, Proceedings. 22. AIS Electronic Library (AISeL). <https://pdfs.semanticscholar.org/d416/aa50e0eb6abb3f5e6e5fa071931f9a494d28.pdf>.
6. Digital Business Transformation. A Conceptual Framework. Global Center for Digital Business Transformation, 2015. P. 16.

7. Digital transformation in Russia: analytical report based on the results of a survey of Russian companies. 2018. https://komanda-a.pro/blog/dtr_2018.
8. Gartner, Strategic Roadmap for Digital Business Transformation. Gartner Research, сайт. 2016. <https://www.gartner.com/en/documents/3479743/2016-strategic-roadmap-for-digital-business-transformati>.
9. L. Canetta, A. Barni, E. Montini. Development of a Digitalization Maturity Model for the Manufacturing Sector//IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC). IEEE, 2018. P. 1-7.
10. G. Shu, R. Anderl, Yu. Gauzemayer, M. ten Hompel et al. Industry 4.0 Maturity Index — Digital Transformation Management of Companies. Munich: Herbert Utz Verlag 2017.
11. A. Schumacher, S. Erol, W. Sihm. A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises//Procedia CIRP, 52, 2016, 161-166.
12. Key elements of digital transformation: how to analyze your company. Google, 2018. <https://www.thinkwithgoogle.com/intl/ru-ru/insights-trends/user-insights/digital-transformation-factors>.
13. Digital Identities Genuine Security for a Connected Worldhttps. Threatmetrix, 2018. <https://www.threatmetrix.com/wp-content/uploads/2018/04/white-paper-digital-identities-1525109453.pdf>.
14. The Digital Identity Maturity Model. The Definitive Guide to Digital Identity. <https://www.digitalidentityguide.com/the-digital-identity-maturity-model>.
15. G. C. Kane, D. Palmer, A. N. Phillips, D. Kiron, N. Buckleyh. Achieving Digital Maturity. Deloitte, Research Center. 2018. https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/3678_achieving-digital-maturity/DUP_Achieving-digital-maturity.pdf.
16. Digital Maturity & Transformation Report 2016. Institut für Wirtschaftsinformatik, Universität St.Gallen Die Marken- und Verwertungsrechte liegen bei der Crosswalk AG, 2016. <https://www.digitaleschweiz.ch/wp-content/uploads/2016/06/digital-maturity-transformation-report-2016-mit-best-practices.pdf>.
17. Industry 4.0: Building the digital enterprise. 2016 Global Industry 4.0 Survey, 2018. <https://www.pwc.com/gx/en/industries/industries-4.0/landing-page/industry-4.0-building-your-digital-enterprise-april-2016.pdf>.
18. G. Remane, A. Hanelt, F. Wiesboeck, L. Ludwig-Maximilian-Kolbe. Digital Maturity In Traditional Industries – An Exploratory Analysis//Twenty-Fifth European Conference on Information Systems (ECIS). Guimarães, Portugal, 2017. Semantic Scholar. <https://pdfs.semanticscholar.org/8296/848850c729e70e4d ac01198db7b8ae410f99.pdf>.
19. K. Lichtblau et al. Impuls. Industrie 4.0-Readiness. Fund IMPULS. Germany, 2018. http://www.impuls-stiftung.de/documents/3581372_/4875835/Industrie+4.0+Readiness+IMPULS+Studie+Oktober+2015.pdf/447a6187-9759-4f25-b186-b0f5eac69974.
20. Industry 4.0. How to navigate digitization of the manufacturing sector. McKinsey Digital. 2018. <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/industry-four-point-o-how-to-navigae-the-digitization-of-the-manufacturing-sector>.
21. Industry 4.0: Building the digital enterprise. 2016 Global Industry 4.0 Survey. 2018. <https://www.pwc.com/gx/en/industries/industries-4.0/landing-page/industry-4.0-building-your-digital-enterprise-april-2016.pdf>.
22. C. Leyh, K. Bley, T. Schäffer, S. Forstehäusler. SIMMI 4.0 – A Maturity Model for Classifying the Enterprise-wide IT and Software Landscape Focusing on Industry 4.0//Proceedings of the Federated Conference on Computer Science and Information Systems. ACSIS, Vol. 8. 2016. P. 1297-1302.
23. E. Gökalp, U. Şener, P. Erhan Eren. Development of an Assessment Model for Industry 4.0: Industry 4.0-MM. ResearchGate. USA, 2018. https://www.researchgate.net/publication/319640255_Development_of_an_Assessment_Model_for_Industry_40_Industry_40-MM.
24. The Digital Advantage: How digital leaders outperform their peers in every industry. Capgemini Group. Paris, 2018. https://www.capgemini.com/wpcontent/uploads/2017/07/The_Digital_Advantage__How_Digital_Leaders_Outperform_their_Peers_in_Every_Industry.pdf.
25. G. Westerman, D. Bonnet, Andrew McAfee Leading digital: turning technology into business transformation. Harvard Business School Publishing, 2014. P. 303.
26. W. Dorst. Bitkom e.V.Implementation Strategy Industrie 4.0 Report on the results of the Industrie 4.0 Platform: Bitkom e.V.Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V., 2016. P. 104.
27. H. Kagemann et al. Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0. Final report of the Industrie 4.0 Working Group. DIN. 2018. <https://www.din.de/blob/76902/e8cac883f42bf28536e7e8165993f1fd/recommendations-for-implementing-industry-4-0-data.pdf>.
28. Andreas Schmitz IDC Benchmark: Digital Maturity Check for Self-Assessment. SAP. 2015. <https://news.sap.com/2015/12/idc-benchmark-digital-maturity-check-for-self-assessment>.
29. Are You Ready for Digital Transformation? Measuring Your Digital Business Aptitude. KPMG. 2018. <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/pdf/2016/04/measuring-digital-business-aptitude.pdf>.
30. T. A. Gileva. Digital maturity of the enterprise: methods of assessment and management//Science, education, economy. Series economy. № 1 (27), 2019.
31. C. Liebrecht, A. Jacoba, A. Kuhnlea, G. Lanzaa. Multi-Criteria Evaluation of Manufacturing Systems 4.0 under Uncertainty//The 50th CIRP Conference on Manufacturing Systems. Procedia CIRP, 63, 2017, 224-229.
32. 80% of firms face lagging digital transformation maturity. Consultancy, 2018. <https://www.consultancy .uk/news/3040/80-percent-of-firms-face-lagging-digital-transformation-maturity>.
33. TM Forum (2017). The Digital Maturity Model (DMM). TMForum. 2018. <https://www.tmforum.org/digital-maturity-model-metrics>.
34. N. Fenwick, M. Gill. Arbeitest du bei einem digitalen Dinosaurier? Oder ist dein Arbeitgeber ein digitaler Master? Svenruoss.ch, 2018. <https://svenruoss.ch/2015/06/24/teil-10-arbeitest-du-bei-einem-digitalen-dinosaurier-oder-ist-dein-arbeitgeber-ein-digitaler-master>.
35. K. H. Land. Digital Transformation Report 2015. Neuland.digital, 2015. https://neuland.digital/DTA_Report_2015.pdf.
36. S. F. Berman, R. Bell. Digital transformation: Creating new business models where digital meets physical. IBM, 2011. <https://www.ibm.com/downloads/cas/B6Y8LY4Z>.
37. K. O'Hea. Digital Capability – How to Understand, Measure, Improve and Get Value from it. Mural.maynoothuniversity, 2011. http://mural.maynoothuniversity.ie/6396/1/IVIExecBriefing-DigitalCapabilityv1.0_1.pdf.
38. M. Mueller, T. Baer, C. Weber. The Digital Maturity Map – Motivation for an EDM-based digital validation method. Designsociety, 2006. <https://www.designsociety.org/publicatio n/19146/the+digital+maturity+map+--+motivation+for+an+edm+based+validation+method>.
39. D. Kiron, G. Kane, D. Palmer, A. N. Phillips, N. Buckley. Aligning the Organization for its Digital Future. Mitsloan management review, 2016. <https://sloanreview.mit.edu/projects/aligning-for-digital-future>.
40. O. Valdez-de-Leon. A Digital Maturity Model for TelecommunicationsService Providers. Technology Innovation Management Review, 2016. https://timreview.ca/sites/default/files/article_PDF/Valdez-de-Leon_TIMReview_August2016.pdf.
41. N. V. Atapina, V. N. Kononov. Comparative analysis of approaches to the simulation of risk situations//Modern trends in the development of science and technology. № 1-5. 2015. P. 20-23.
42. L. A. Zadeh. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning. M.: Mir, 1976. 167 p.