

Модель оценки цифровой зрелости промышленного предприятия

Виктор Валентинович Курлов^{1, 2✉}, Мария Александровна Косухина³,
Алексей Викторович Курлов⁴

¹ Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Россия

² Санкт-Петербургский университет технологий управления и экономики, Санкт-Петербург, Россия, vitek345@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0463-5578>

³ Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет имени В. И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург, Россия, masha.kossukhina@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6440-3218>

⁴ Северо-Западный институт управления — филиал РАНХиГС при Президенте РФ, Санкт-Петербург, Россия, alexeikurlov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3089-7288>

Аннотация

Цель. Разработать количественную модель оценки цифровой зрелости промышленного предприятия.

Задачи. Определить понятие цифровой зрелости промышленного предприятия; систематизировать существующие подходы к оценке цифровой зрелости промышленного предприятия; провести критический анализ существующих подходов в аспекте учета требований уровней корпоративной архитектуры *TOGAF*, требований достоверности результатов оценки; предложить количественную модель оценки цифровой зрелости промышленного предприятия.

Методология. К инструментам исследования, примененным в настоящей статье, относятся методы системного анализа и синтеза, методы экономического анализа для систематизации существующих подходов к оценке степени цифровой зрелости промышленного предприятия, а также методы математической статистики, эконометрического анализа для разработки многофакторной регрессионной модели оценки цифровой зрелости промышленного предприятия с учетом требований процессного подхода.

Результаты. Предложена классификация моделей оценки цифровой зрелости, которая помогает выделить основные подходы к последней и рассмотреть направления деятельности предприятия для оценки уровня его цифровой зрелости, шкалы оценки, методы, используемые при оценке, и область применения моделей, а также применимость таких моделей к комплексной оценке по уровням архитектуры предприятия. Разработана многофакторная регрессионная модель оценки цифровой зрелости предприятия, позволяющая оценить степень влияния каждого направления этой оценки на цифровую зрелость предприятия и дать рекомендации по управлению цифровой зрелостью, которые могут быть использованы при формировании стратегии цифровой трансформации предприятия.

Выводы. В результате систематизации подходов к оценке цифровой зрелости промышленных предприятий выявлено, что в настоящее время применяемые модели преимущественно основаны на экспертных оценках, что приводит к субъективности. В этих моделях используются номинальные и порядковые шкалы, что затрудняет применение аппарата эконометрического анализа. Описанные модели не учитывают соотношение переменных, определяющих цифровую зрелость предприятия и уровней его архитектуры по методике *TOGAF*, что приводит к «лоскутному» характеру рассмотрения бизнес-процессов промышленного предприятия и, как следствие, отсутствию всесторонней оценки цифровой зрелости. Очевидны, по мнению авторов, неполнота и субъективность существующих моделей оценки, необходимость их модернизации. Авторами предложена модель оценки цифровой зрелости промышленного предприятия, позволяющая решить изложенные проблемы. Коэффициент детерминации построенной модели ($R^2 = 0,845$) свидетельствует о том, что доля общего разброса

относительно выборочной средней интегрального показателя оценки цифровой зрелости на 84,5 % объяснена построенной регрессионной моделью. Коэффициент множественной корреляции (*Multiple R* = 0.919) говорит о силе взаимосвязи между результативной и независимыми переменными. Значение критерия Фишера ($F = 102$) указывает на высокую значимость построенной многофакторной регрессионной модели. Согласно результатам расчета, к значимым стандартизованным коэффициентам регрессионного уравнения относятся $X_1 \text{ beta}$, $X_3 \text{ beta}$, $X_4 \text{ beta}$, $X_5 \text{ beta}$, что позволяет сделать вывод о наиболее сильном влиянии вариации X_i на вариацию результативного признака Y при отвлечении от сопутствующего влияния вариаций других факторов, входящих в уравнение регрессии.

Ключевые слова: цифровая трансформация, цифровая зрелость, процессный подход, регрессионная модель, процессы создания ценности, процессы добавления стоимости

Для цитирования: Курлов В. В., Косухина М. А., Курлов А. В. Модель оценки цифровой зрелости промышленного предприятия // *Экономика и управление*. 2022. Т. 28. № 5. С. 439–451. <http://doi.org/10.35854/1998-1627-2022-5-439-451>

Model for assessing the digital maturity of an industrial enterprise

Viktor V. Kurlov^{1, 2✉}, Mariya A. Kosukhina³, Aleksey V. Kurlov⁴

¹ St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg, Russia

² St. Petersburg University of Management Technologies and Economics, St. Petersburg, Russia, vitek345@rambler.ru ✉, <https://orcid.org/0000-0002-0463-5578>

³ St. Petersburg Electrotechnical University “LETI”, St. Petersburg, Russia, masha.kossukhina@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6440-3218>

⁴ North-West Institute of Management of the Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration (NWIM RANEPА), St. Petersburg, Russia, alexeikurlov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3089-7288>

Abstract

Aim. The work aimed to develop a quantitative model for assessing the digital maturity of an industrial enterprise.

Tasks. The work was performed to define the concept of digital maturity of an industrial enterprise; systematize existing approaches to assessing the digital maturity of an industrial enterprise; conduct a critical analysis of existing approaches in terms of taking into account the requirements of the *TOGAF* corporate architecture levels, the requirements for the reliability of the assessment results; and propose a quantitative model for assessing the digital maturity of an industrial enterprise.

Methods. The research tools used in this article include methods of system analysis and synthesis, methods of economic analysis for systematization of existing approaches to assessing the degree of digital maturity of an industrial enterprise, as well as methods of mathematical statistics, econometric analysis for developing a multivariate regression model for assessing the digital maturity of an industrial enterprise taking into account the requirements of the process approach.

Results. A classification of models for assessing digital maturity is proposed, which is used to highlight the main approaches to the latter and consider the fields of enterprise activity to assess the level of its digital maturity, assessment scales, methods used in the assessment, and the scope of the models application, as well as the applicability of such models to a comprehensive assessment by levels of the enterprise architecture. A multifactorial regression model for assessing the digital maturity of an enterprise has been developed, which enables to assess the degree of influence of each direction of this assessment on the digital maturity of an enterprise and give recommendations for managing digital maturity, which can be used in the formation of an enterprise digital transformation strategy.

Conclusions. The systematization of approaches to assessing the digital maturity of industrial enterprises revealed that the models currently used are mainly based on expert assessments, which leads to subjectivity. These models use nominal and ordinal scales, which makes it difficult to apply the apparatus of econometric analysis. The models described do not take into account the ratio of variables that determine the digital maturity of an enterprise and the levels of its architecture according to the *TOGAF* method, which results in a “patchwork” nature of considering the business processes of an industrial enterprise and, as a result, the lack

of a comprehensive assessment of digital maturity. According to the authors, the incompleteness and subjectivity of the existing evaluation models, as well as the need for their modernization, are obvious. The authors propose a model for assessing the digital maturity of an industrial enterprise, which enables to solve the above problems. The coefficient of determination of the constructed model ($R^2 = 0.845$) indicates that the share of the total scatter relative to the sample average of the integral indicator of digital maturity assessment is 84.5% explained by the constructed regression model. The multiple correlation coefficient ($Multiple R = 0.919$) indicates the strength of the relationship between the resulting and independent variables. The value of the Fisher criterion ($F = 102$) indicates the high significance of the constructed multivariate regression model. According to the calculation results, the significant standardized coefficients of the regression equation include X_1 beta, X_3 beta, X_4 beta, X_5 beta, therefore we can conclude that the variation of X_i has the strongest influence on the variation of the resulting attribute Y , when abstracted from the concomitant influence of variations of other factors included in the equation regression.

Keywords: digital transformation, digital maturity, process approach, regression model, value creation processes, value adding processes

For citation: Kurlov V.V., Kosukhina M.A., Kurlov A.V. Model for assessing the digital maturity of an industrial enterprise. *Ekonomika i upravlenie = Economics and Management*. 2022;28(5):439-451. (In Russ.). <http://doi.org/10.35854/1998-1627-2022-5-439-451>

Введение

Результаты исследований одного из лидеров международного рынка консалтинговых услуг компании *McKinsey* [1] и сетевого издания *Harvard Business Review* [2] показали, что до 70 % проектов в области бизнес-трансформации и цифровой трансформации заканчиваются с неудовлетворительными результатами. Причины этого заключаются в однонаправленных стратегиях цифровой трансформации, покрывающих не все области деятельности предприятия, которые участвуют в цифровой трансформации. Актуальность темы исследования обусловлена значимостью оценки цифровой зрелости бизнес-процессов предприятия для обеспечения разработки комплексной стратегии цифровой трансформации. В настоящей статье предлагаем рассмотреть цифровую зрелость предприятия как степень готовности сети бизнес-процессов предприятия к внедрению цифровых технологий для достижения стратегических целей предприятия. Оценка цифровой зрелости экономического объекта представляет собой многоуровневое исследование, позволяющее оценить перспективы развития и роста экономического объекта, разработать индивидуальную стратегию цифровой трансформации [3].

Исследованию оценки цифровой зрелости предприятия посвящены труды таких ученых, как Е. Мюлле, Х. Хопф, Р. Тейхерт, А. Россманн, Л. Иванчич, К. Купилас, О. В. Евграфова, Г. А. Хачатрян, И. А. Брусакова, В. В. Боровков, В. С. Варнавский,

Е. С. Волкова и др. Основные теоретические и прикладные вопросы управления архитектурой предприятия представлены в трудах М. Виссоцки, А. Зонненбергер, В. Каллагана, Тико Ияму, П. Грабе, Х. Триболе, И. В. Ильина, Т. А. Макареня, А. В. Затеса, Г. Г. Банчук, Л. В. Коптелова, А. В. Меркулова, И. А. Брусаковой и ряда других.

По итогам анализа научных публикаций следует вывод о нацеленности существующих методик оценки цифровой зрелости на совершенствование совокупности направлений, описывающих деятельность организации (финансовых, кадровых, инфраструктурных, коммуникационных и т. д.). Однако данные методики не учитывают необходимость рассмотрения понятия цифровой зрелости с позиции уровней (слоев) архитектуры предприятия, что приводит к неточным оценкам, разработке однонаправленной стратегии цифровой трансформации и, как следствие, увеличению рисков получения неудовлетворительных результатов при реализации цифровой трансформации на промышленном предприятии.

Таким образом, для обеспечения устойчивого развития экономики России на основе осуществления цифровых трансформаций промышленных предприятий возникает необходимость совершенствования научно-методического аппарата в направлении учета подхода к построению архитектуры предприятия, что подтверждает актуальность и значимость темы исследования.

Классификация моделей оценки цифровой зрелости предприятия

В настоящее время существует множество методик оценки цифровой зрелости предприятий. Но методы оценки, используемые в указанных методиках, и алгоритмы оценки представлены не вполне детально. Авторами предложена классификация моделей оценки цифровой зрелости, отраженная в таблице 1, которая позволяет выделить главные подходы к этой оценке с учетом их применимости к предприятиям определенных направлений деятельности, согласно общероссийскому классификатору видов экономической деятельности (ОКВЭД) шкал оценки, методов, используемых при оценке, и области применения, а также применимости методик к комплексной оценке по уровням архитектуры предприятия. В представленную классификацию входят как отечественные, так и западные модели оценки. В случае применения модели оценки цифровой зрелости для последующей разработки стратегии цифровой трансформации, поддержки организационных преобразований и обеспечения согласованности различных элементов предприятия как киберфизической системы [4] следует учитывать применимость методик ко всем уровням архитектуры предприятия. Наиболее известная методология описания архитектуры предприятия *TOGAF* предлагает рассматривать его архитектуру в соответствии с такими уровнями (слоями), как бизнес-слой, технологический слой, слой данных и слой приложений.

К наиболее распространенной группе моделей оценки цифровой зрелости, включая *Deloitte* [5], *Boston Consulting Group* [6], *PWC* [7], относится группа «моделей экспертной оценки». Эта группа основана на экспертной оценке цифровой зрелости с учетом балльной шкалы по различным направлениям деятельности предприятия: кадровому обеспечению, инфраструктуре и инструментам, внутренним бизнес-процессам, бизнес-моделям, клиентам, бизнес-стратегиям и т. д. Еще одна значимая группа моделей оценки цифровой зрелости — это группа моделей, основанных на методе анкетирования сотрудников и последующем анализе данных, собранных в номинальных, порядковых шкалах и шкалах отношений, включая модель *System Integration Maturity Model Industry 4.0 (SIMMI 4.0)*

[8], модель центра подготовки *CDTO* [9]. Выделим в отдельную группу модели оценки цифровой зрелости, построенные на оценке направлений цифровизации предприятия с использованием математических методов принятия решений, в частности метода анализа иерархий (МАИ), которые позволяют избежать субъективности в экспертной оценке. Среди них — модель Варнавского, Волковой и др. [10], модель *Luiz Felipe Pierin Ramos* [11].

Как видно из приведенной классификации, в моделях преимущественно используются номинальные и порядковые шкалы, что затрудняет применение аппарата эконометрического анализа. Кроме того, большинство моделей базируется на экспертной оценке, что приводит к ее субъективности. Исследуемые модели оценки цифровой зрелости предприятия носят «лоскутный» характер, поскольку не рассматривают направления, связанные с описанием цифровизации слоя данных, слоя приложений и частично технологического слоя корпоративной архитектуры по методологии *TOGAF*. Поэтому можно сделать вывод о неполноте моделей оценки и необходимости их модернизации.

Многофакторная регрессионная модель оценки цифровой зрелости предприятия

В настоящей статье для оценки цифровой зрелости предприятия предлагаем использовать аппарат регрессионного анализа. Нами проведено исследование значительного набора признаков, которые, согласно нулевой гипотезе, описывают уровни архитектуры предприятия, влияющие на цифровую зрелость. Факторы меньшей значимости исключены из рассмотрения. В результате получены следующие направления оценки, обеспечивающие возможность комплексной оценки по всем уровням архитектуры предприятия, согласно методике *TOGAF*: бизнес-процессы (X_1), кастомизация (X_2), юридические аспекты цифровизации (X_3), кадры (X_4) и ИКТ-инфраструктура (X_5).

Мы не подвергаем критике существующие модели, основанные на декомпозиции организации по направлениям деятельности, а лишь обращаем внимание на необходимость их рассмотрения с применением подходов к построению архитектуры предприятия. Например, с нашей точки зрения, целесообразно использовать методику сба-

Таблица 1

Классификация моделей оценки цифровой зрелости

Table 1. Classification of digital maturity assessment models

Группа моделей оценки	Модель	Направления оценки	Шкала	Область применения	Слой архитектуры предприятия	Методы оценки
Модели на основе экспертной оценки	<i>Boston Consulting Group</i>	<p>Четыре направления:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Цифровой маркетинг или персонализация. 2. Цифровые платформы для цифровой доставки. 3. Люди и организационные аспекты. 4. Цифровые пути клиентов и персонализация предложений 	Порядковая	Промышленность, сельское хозяйство, строительство, транспорт и логистика, финансовые услуги, здравоохранение, образование и наука, государственное управление	Бизнес-слой, слой приложений	Экспертная оценка
	<i>Deloitte</i>	<p>Пять основных направлений деятельности:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Клиент. 2. Технологий. 3. Стратегия. 4. Операции. 5. Организация и культура 	Порядковая	Промышленность, сельское хозяйство, строительство, транспорт и логистика, финансовые услуги, здравоохранение, образование и наука, государственное управление	Бизнес-слой, слой приложений	Экспертная оценка
	<i>PWC</i>	<p>Семь направлений:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Цифровые бизнес-модели и доступ клиентов. 2. Оцифровка продуктов и услуг. 3. Оцифровка и интеграция вертикальных и горизонтальных цепочек создания стоимости. 4. Данные и аналитика как основные возможности. 5. Гибкая IT-архитектура. 6. Соблюдение нормативных требований, безопасность, юриспруденция и налогообложение. 7. Организация, сотрудники и цифровая культура 	Порядковая	Промышленность, сельское хозяйство, строительство, транспорт и логистика, финансовые услуги, здравоохранение, образование и наука, государственное управление	Бизнес-слой, слой приложений, технологический слой	Экспертная оценка
Модели на основе анкетирования	<i>SIMMI 4.0</i>	<p>Четыре измерения:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Вертикальная интеграция. 2. Горизонтальная интеграция. 3. Разработка цифровых продуктов. 4. Критерии кросс-секционных технологий 	Порядковая, относительная, номинальная	Промышленность, сельское хозяйство, развитие городской среды, транспорт и логистика, энергетическая инфраструктура, финансовые услуги, здравоохранение, образование и наука, государственное управление	Бизнес-слой, слой приложений, технологический слой	Экспертная оценка

КУРЛОВ В. В., КОСУХИНА М. А., КУРЛОВ А. В. Модель оценки цифровой зрелости промышленного предприятия

Окончание табл. 1

Группа моделей оценки	Модель	Направления оценки	Шкала	Область применения	Слой архитектуры предприятия	Методы оценки
	<i>CDTO</i>	Шесть направлений: 1. Инфраструктура и инструменты. 2. Процессы и продукты. 3. Данные. 4. Модели. 5. Кадры. 6. Культура	Порядковая, относительная, номинальная	Промышленность, сельское хозяйство, строительство, развитие городской среды, транспорт и логистика, энергетическая инфраструктура, финансовые услуги, здравоохранение, образование и наука, государственное управление	Бизнес-слой, слой приложений, слой данных	Экспертная оценка
	Приказ Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций РФ (Минцифры России) от 18 ноября 2020 г. № 600 (в ред. от 14.01.2021) «Об утверждении методик расчета целевых показателей национальной цели развития Российской Федерации “Цифровая трансформация”»	Достижение цифровой зрелости отраслей экономики и социальной сферы	Относительная	Промышленность, сельское хозяйство, строительство, транспорт и логистика, финансовые услуги, здравоохранение, образование и наука, государственное управление	Бизнес-слой, слой приложений, технологический слой	Коллективные методы оценки
Модели на основе МАИ	Модель Варнавского, Волковой и др.	Пять направлений: 1. Образовательная деятельность. 2. Научная и академическая деятельность. 3. Сопровождение цифровых операций. 4. Корпоративная культура и опыт сотрудников. 5. Контроль и отчетность	Порядковая, относительная, номинальная	Промышленность, сельское хозяйство, строительство, развитие городской среды, транспорт и логистика, энергетическая инфраструктура, финансовые услуги, здравоохранение, образование и наука, государственное управление	Бизнес-слой, слой приложений, технологический слой	Экспертная оценка
	<i>Luiz Felipe Pierin Ramos</i>		Порядковая, относительная, номинальная	Промышленность, сельское хозяйство, строительство, транспорт и логистика, финансовые услуги, здравоохранение, образование и наука, государственное управление	Бизнес-слой, слой приложений, технологический слой	Экспертная оценка

Показатели цифровой зрелости

Table 2. Digital maturity indicators

Направление оценки	Показатель	Формула расчета показателя, где w_i — вес i -го показателя
Бизнес-процессы, X_1	Цифровые процессы (на базе либо с использованием «сквозных» технологий) от общего числа основных бизнес-процессов, X_{11}	$X_1 = \sum_{i=1}^3 w_i \times x_{1i}$ при $\sum_{i=1}^3 w_i = 1$
	Цифровые процессы (на базе либо с использованием «сквозных» технологий) от общего числа вспомогательных бизнес-процессов, X_{12}	
	Цифровые процессы (на базе либо с использованием «сквозных» технологий) от общего числа организационных бизнес-процессов, X_{13}	
Кастомизация, X_2	Использование Интернета в организациях для связи с потребителями, X_{21}	$X_2 = \sum_{i=1}^4 w_i \times x_{2i}$ при $\sum_{i=1}^4 w_i = 1$
	Продукты/услуги, доступные клиентам — юридическим лицам через дистанционные каналы, X_{22}	
	Продукты/услуги, доступные клиентам — физическим лицам через дистанционные каналы, X_{23}	
	Кастомизированные продукты/услуги, X_{24}	
Юридические аспекты цифровизации, X_3	Внедрение/использование юридически значимого электронного документооборота, X_{31}	$X_3 = \sum_{i=1}^3 w_i \times x_{3i}$ при $\sum_{i=1}^3 w_i = 1$
	Обеспечение информационной безопасности предприятия, X_{32}	
	Количество регламентированных процессов цифровой трансформации в организации, X_{33}	
Кадры, X_4	Специалисты в области ИКТ младше 35 лет, X_{41}	$X_4 = \sum_{i=1}^3 w_i \times x_{4i}$ при $\sum_{i=1}^3 w_i = 1$
	Специалисты, прошедшие дополнительное обучение, переподготовку в области ИКТ, X_{42}	
	Специалисты, обладающие цифровыми компетенциями, X_{43}	
ИКТ-инфраструктура, X_5	Оснащенность аппаратными средствами, X_{51}	$X_5 = \sum_{i=1}^4 w_i \times x_{5i}$ при $\sum_{i=1}^4 w_i = 1$
	Оснащенность программными средствами (использование CRM-, ERP-, SCM-систем), X_{52}	
	Частота обновления/модернизации элементов ИКТ-инфраструктуры, X_{53}	
	Интенсивность использования цифровых технологий, X_{54}	

лансированной системы показателей в качестве основы для выбора направлений, которые следует рассматривать в аспекте архитектурного подхода. Представленные направления оценки состоят из показателей, приведенных в таблице 2.

Для расчета показателя оценки цифровой зрелости (Y) разработана следующая модель:

$$Y = \sum_{i=1}^5 w_i X_i, \quad (1)$$

где w_i — вес показателя цифровой зрелости по i -й позиции;

X_i — значение показателя цифровой зрелости по i -й позиции.

Разработанная модель имеет ограничения в виде

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^5 w_i = 1 \\ \sum_{i=1}^5 X_i > 0. \end{cases} \quad (2)$$

Для разработки множественной регрессионной модели зависимости оценки цифровой зрелости (Y) от направлений оценки необходимо провести нормирование выборки данных. Одним из чаще всего применяемых подходов к нормированию выборочных данных служит регистрационный подход, который заключается в использовании дан-

	1	2	3	4	5	6
	Y	X_2	X_3	X_4	X_5	X_1
1	145	233	150	58,974	113,667	261
2	130	250	187	50,776	31,000	154
3	130	204	172	65,185	14,333	298
4	120	236	178	75,948	14,333	1 444
5	120	354	163	71,653	15,000	1 856
6	140	192	148	47,883	17,667	1 656
7	140	294	153	44,571	15,000	2 123
8	120	263	173	59,643	14,667	1 873
9	172	199	162	69,995	15,667	1 613
10	150	168	174	74,886	13,333	1 331
11	140	239	160	44,467	15,333	2 027
12	130	275	139	50,304	13,667	1 794
13	130	266	171	54,906	12,000	1 808
14	110	211	144	75,877	14,000	1 745
15	150	283	162	44,685	14,667	2 134
16	120	219	158	59,384	13,667	1 756
17	120	340	172	54,659	13,667	2 157
18	150	226	114	65,344	14,333	1 908
19	150	247	171	49,542	12,333	1 939
20	140	239	151	53,720	17,000	1 686
21	135	234	161	64,561	12,667	1 886
22	130	233	179	37,735	13,667	2 233
23	140	226	178	43,807	15,000	1 866
24	150	243	137	64,698	15,333	1 899
25	140	199	178	69,391	14,333	2 055
26	160	302	162	48,642	13,000	1 999
27	150	212	157	62,148	13,667	1 909
28	110	175	123	47,021	11,667	1 839
29	140	417	157	60,434	12,667	2 822
30	130	195	152	51,629	15,667	1 452
31	105	198	168	87,360	13,000	2 048
32	120	177	140	64,758	13,667	1 328
33	130	219	188	74,872	14,000	808
34	125	273	152	66,413	15,000	1 848
35	125	213	125	61,460	14,000	1 278
36	142	177	160	70,320	13,667	153
37	135	304	170	46,742	14,667	122
38	150	232	165	76,413	16,667	279
39	155	269	148	43,846	13,000	167
40	160	360	151	57,294	13,333	158
41	140	308	142	25,479	14,333	152
42	130	245	180	77,168	15,667	152
43	103	208	148	58,969	12,333	200
44	130	264	143	64,829	13,000	217
45	140	321	182	72,683	16,000	144
46	120	325	172	55,620	17,000	179
47	140	235	180	37,625	13,000	171

Рис. 1. Выборка для построения многофакторной регрессионной модели

Fig. 1. Sample for constructing a multifactorial regression model

<i>Multiple regression results</i>	
<i>Dependent</i>	Y
<i>No. of cases</i>	100
<i>Standard Error of estimate</i>	318,84961265
<i>Multiple R</i>	0,91923515
R^2	0,84499327
<i>Adjusted R²</i>	0,83674823
<i>F</i>	102,4851
<i>df</i>	5,94
<i>Std. Error</i>	135,7536
<i>Intercept</i>	545,05098316
X_1 beta	0,527
X_2 beta	-0,15
X_3 beta	0,52
X_4 beta	-0,22
X_5 beta	0,346
Alpha for highlighting effects	0,05

Рис. 2. Результаты расчетов основных характеристик множественной регрессии
 Fig. 2. Results of calculations of the main characteristics of multiple regression

ных, получаемых с помощью подсчета числа событий, предметов или затрат, измеряющих качественную характеристику объекта [10]. Таким образом, выборка данных для регрессионной модели зависимости Y от X_i имеет вид, показанный на рисунке 1.

Общий вид множественной регрессионной модели имеет следующий вид:

$$Y = \sum_{i=1}^5 b_i X_i \quad (3)$$

где Y — показатель оценки цифровой зрелости;

b_i — регрессионные коэффициенты (B -коэффициенты) i -го фактора;

X_i — значение i -го фактора регрессии.

$$Y = b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_4 X_4 + b_5 X_5 + b_0 + \varepsilon, \quad (4)$$

где $b_1 — b_5$ — весовой коэффициент регрессии.

Построение множественной регрессии выполнено в статистическом пакете анализа данных *Statistica* [11; 12; 13]. Результаты расчетов основных характеристик множественной регрессии приведены на рисунке 2.

Доля вариации результативного признака — показателя оценки цифровой зрелости (Y), объясняемая построенной регрессионной моделью, в общей вариации (дисперсии) Y составляет 84,5 % ($R^2 = 0,845$). Теснота связи между зависимыми переменными и предиктором составляет 0,9 ($Multiple R = 0.919$), что свидетельствует о силе взаимо-

связи между Y и независимыми переменными модели. Критерий Фишера ($F = 102,48$) говорит о высокой значимости построенной множественной регрессионной модели. Согласно полученным результатам, X_1 beta, X_3 beta, X_4 beta, X_5 beta являются значимыми стандартизованными коэффициентами уравнения регрессии.

Итоговые результаты оценивания множественной регрессионной модели представлены на рисунке 3.

Оценка качества коэффициентов регрессии осуществляется с помощью t -статистики при уровне значимости (p -level), который характеризуется вероятностью отвергнуть правильную гипотезу. Уровень значимости факторов X_1, X_3, X_4, X_5 в построенной модели говорит об их высокой значимости. При этом наименьшую значимость в модели имеет фактор X_2 , как показано на рисунке 3.

Критерий Дарбина-Уотсона (DW) также позволяет оценить качество полученной регрессионной модели. Он характеризует наличие автокорреляции в остатках. Область допустимых значений критерия описывается отрезком $[0; 4]$. Если $DW \in [1,5; 2,5]$, автокорреляция в остатках отсутствует и модель считается пригодной для использования. Для разработанной модели критерий $DW = 1,78$, что свидетельствует о достоверности полученной модели, как видно на рисунке 4.

Следовательно, модель многофакторной регрессии имеет вид (3).

Regression Summary for Dependent variable: Y						
R = 0,91923515 R ² = 0,84499327 Adjusted R ² = 0,83674823						
F (5,94) = 102,49 Std. Error of estimate: 318,85						
N = 100	Beta	Std. Err of Beta	B	Std. Err. of B	t (94)	p-level
Intercept			545,0510	135,7536	4,01500	0,000120
X ₁	0,526542	0,083549	7,5832	1,2033	6,30216	0,000000
X ₂	0,051826	0,053393	0,3910	0,4028	0,97066	0,334210
X ₃	0,345753	0,090346	4,0584	1,0605	3,82700	0,000234
X ₄	-0,151796	0,045373	-6,0765	1,8163	-3,34552	0,001181
X ₅	-0,223791	0,041413	-17,3046	3,2023	-5,40386	0,000000

Рис. 3. Итоговые результаты оценивания множественной регрессионной модели

Fig. 3. Final results of estimation of the multiple regression model

Durbin-Watson d (New data. sta) and serial correlation of residuals		
	Durbin-Watson d	Serial Corr.
Estimate	1,781870	0,108334

Рис. 4. Критерий Дарбина-Уотсона

Fig. 4. Durbin-Watson test

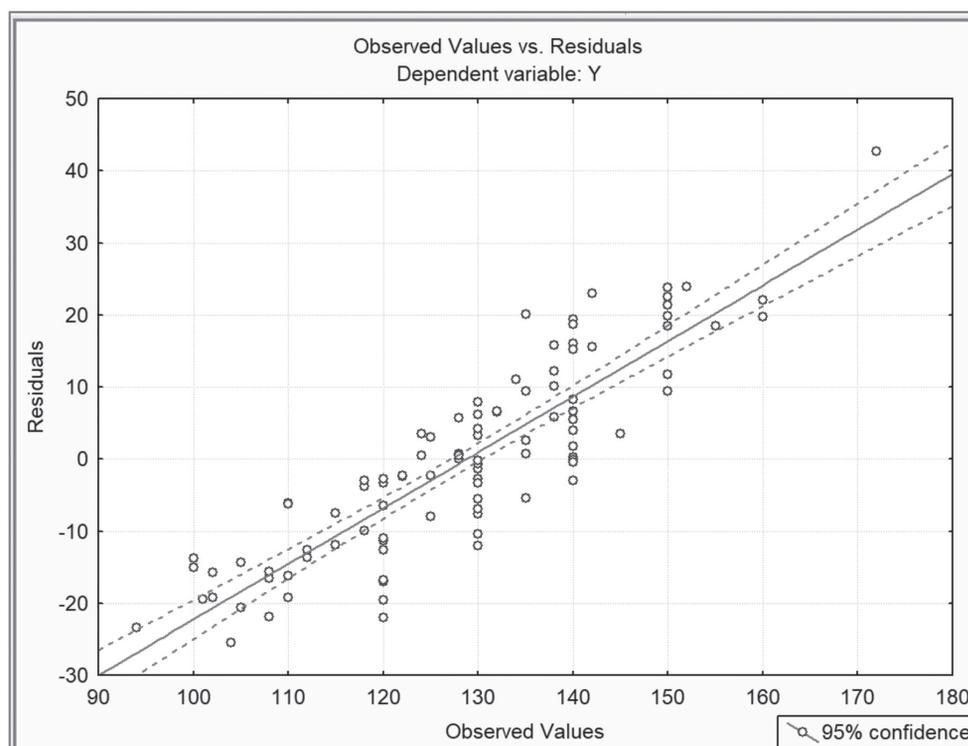


Рис. 5. Наблюдаемые переменные/остатки

Fig. 5. Variables/residuals detected

$$Y = 0,52X_1 + 0,05X_2 + 0,35X_3 - 0,15X_4 - 0,22X_5 + 545,05 + \varepsilon, \quad (5)$$

где X_1 — X_5 — значения факторов регрессионной модели;

ε — ненаблюдаемые случайные величины.

В соответствии с графиком зависимости наблюдаемых переменных и остатков, показанном на рисунке 5, можно сделать вывод о достаточной адекватности построенной модели.

Таким образом, построенная многофакторная регрессионная модель зависимости

показателя оценки цифровой зрелости Y от направлений оценки статистически значима. Направления бизнес-процессов (X_1), юридических аспектов цифровизации (X_3), кадров (X_4) и ИКТ-инфраструктуры (X_5) являются группами показателей с наибольшей значимостью в построенной модели.

Выводы

1. В процессе исследования предложена классификация моделей оценки цифровой зрелости, которая помогает выделить основные подходы к оценке цифровой зрелости

и рассмотреть направления деятельности предприятия для оценки уровня его цифровой зрелости, шкалы оценки, методы, используемые при оценке, и область применения моделей, а также применимость последних к комплексной оценке по уровням архитектуры предприятия.

2. Разработана многофакторная регрессионная модель оценки цифровой зрелости предприятия, позволяющая оценить степень влияния каждого направления оценки цифровой зрелости на цифровую зрелость предприятия и дать рекомендации по управлению цифровой зрелостью.

Список источников

1. The Secrets to Transformation Success // McKinsey. URL: <https://www.mckinsey.com/featured-insights/Mckinsey-live/webinars/the-secrets-to-transformation-success> (дата обращения: 20.03.2022).
2. *Ashkenas R.* Change Management Needs to Change // Harvard Business Review. 2013. April 16. URL: <https://hbr.org/2013/04/change-management-needs-to-cha> (дата обращения: 20.03.2022).
3. Модель оценки цифровой зрелости центра подготовки CDTO. CDTOWiki: знания и термины цифровой трансформации // Cdto.wiki. URL: <https://cdto.wiki> (дата обращения: 20.03.2022).
4. Брусакова И. А. Информационный менеджмент в условиях цифровых трансформаций // Системный анализ в проектировании и управлении: сборник науч. тр. XXIV Междунар. науч. и учеб.-практ. конф. / под общ. ред. Г. В. Гореловой, А. В. Логиновой. СПб.: Политех-Пресс, 2020. С. 115–122. DOI: 10.18720/SPBPU/2/id20-203
5. Digital Maturity Model: Achieving Digital Maturity to drive Growth. London: Deloitte, 2018. 24 p. URL: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Documents/Technology-Media-Telecommunications/deloitte-digital-maturity-model.pdf> (дата обращения: 20.03.2022).
6. The digital maturity model: how digitizing information helps you achieve your goals // Kodak Alaris. URL: <https://www.alarisworld.com/en-gb/insights/articles/digital-maturity-model#section%201> (дата обращения: 20.03.2022).
7. *Geissbauer R., Vedso J., Schrauf S.* Industry 4.0: Building the digital enterprise. London: PWC, 2016. 36 p. URL: <https://www.pwc.com/gx/en/industries/industries-4.0/landing-page/industry-4.0-building-your-digital-enterprise-april-2016.pdf> (дата обращения: 20.03.2022).
8. *Leyh C., Bley K., Schäffer T., Bay L.* The Application of the Maturity Model SIMMI 4.0 in Selected Enterprises / 23rd Americas Conference on Information Systems (AMCIS 2017). (Boston, MA, Aug. 10–12, 2017). Atlanta, GA: Association for Information Systems, 2017. P. 1–10. URL: https://www.researchgate.net/publication/317505970_The_Application_of_the_Maturity_Model_SIMMI_40_in_Selected_Enterprises (дата обращения: 20.03.2022).
9. *Варнавский А. В., Волкова Е. С., Бурякова А. О., Климова Е. А.* Модель оценки цифрового лидерства организации // Вестник Университета (Государственный университет управления). 2020. № 4. С. 23–32. DOI: 10.26425/1816-4277-2020-4-23-32
10. *Ramos L. F., Loures E. R., Deschamps F.* An Analysis of Maturity Models and Current State Assessment of Organizations for Industry 4.0 Implementation // Procedia Manufacturing. 2020. Vol. 51. P. 1098–1105. DOI: 10.1016/j.promfg.2020.10.154
11. *Марчук А. А.* Учет качественных параметров в регрессионном анализе // Русская служба оценки. URL <http://www.rusvs.ru/data/files/articles/dummyvar.pdf> (дата обращения: 20.03.2022).
12. *Боровиков В. П.* Популярное введение в программу Statistica. М.: Альпина Бизнес-Букс, 2003. 321 с.
13. *Боровиков В. П., Ивченко Г. И.* Прогнозирование в системе Statistica в среде Windows. Основы теории и интенсивная практика на компьютере. СПб.: Финансы и статистика, 2000. 384 с.

References

1. The secrets to transformation success. McKinsey. URL: <https://www.mckinsey.com/featured-insights/Mckinsey-live/webinars/the-secrets-to-transformation-success> (accessed on 20.03.2022).
2. Ashkenas R. Change management needs to change. Harvard Business Review. Apr. 16, 2013. URL: <https://hbr.org/2013/04/change-management-needs-to-cha> (accessed on 20.03.2022).
3. Model for evaluating the digital maturity of the CDTO preparation center. CDTOwiki: Digital transformation knowledge and terms. CDTOwiki. URL: <https://cdto.wiki> (accessed on 20.03.2022). (In Russ.).
4. Brusakova I.A. Information management in the context of digital transformations. In: System analysis in design and management. Proc. 24th Int. sci. and educ.-pract. conf. St. Petersburg: Politekh-Press; 2020:115-122. (In Russ.). DOI: 10.18720/SPBPU/2/id20-203
5. Digital maturity model: Achieving digital maturity to drive growth. London: Deloitte; 2018. 24 p. URL: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Documents/Technology-Media-Telecommunications/deloitte-digital-maturity-model.pdf> (accessed on 20.03.2022).
6. The digital maturity model: How digitizing information helps you achieve your goals. Kodak Alaris. URL: <https://www.alarisworld.com/en-gb/insights/articles/digital-maturity-model#section%201> (accessed on 20.03.2022).
7. Geissbauer R., Vedso J., Schrauf S. Industry 4.0: Building the digital enterprise. London: PWC; 2016. 36 p. URL: <https://www.pwc.com/gx/en/industries/industries-4.0/landing-page/industry-4.0-building-your-digital-enterprise-april-2016.pdf> (accessed on 20.03.2022).
8. Leyh C., Bley K., Schäffer T., Bay L. The application of the maturity model SIMMI 4.0 in selected enterprises. In: Proc. 23rd Americas conf. on information systems (AMCIS 2017). (Boston, MA, Aug. 10-12, 2017). Atlanta, GA: Association for Information Systems; 2017: 1-10. URL: https://www.researchgate.net/publication/317505970_The_Application_of_the_Maturity_Model_SIMMI_4.0_in_Selected_Enterprises (accessed on 20.03.2022).
9. Varnavskiy V., Volkova E.S., Buryakova A.O., Klimova E.A. Model for assessing digital maturity of organizations. *Vestnik Universiteta (Gosudarstvennyi universitet upravleniya)*. 2020;(4):23-32. (In Russ.). DOI: 10.26425/1816-4277-2020-4-23-32
10. Ramos L.F.P., Loures E.F.R., Deschamps F. An analysis of maturity models and current state assessment of organizations for Industry 4.0 implementation. *Procedia Manufacturing*. 2020;51:1098-1105. DOI: 10.1016/j.promfg.2020.10.154
11. Marchuk A.A. Accounting for qualitative parameters in regression analysis. Russian Assessment Service. URL <http://www.rusvs.ru/data/files/articles/dummyvar.pdf> (accessed on 20.03.2022). (In Russ.).
12. Borovikov V.P. Popular introduction to Statistica. Moscow: Alpina Business Books; 2003. 321 p. (In Russ.).
13. Borovikov V.P., Ivchenko G.I. Forecasting in the Statistica system in the Windows environment: Fundamentals of theory and intensive practice on the computer. St. Petersburg: Finansy i statistika; 2000. 384 p. (In Russ.).

Сведения об авторах

Виктор Валентинович Курлов

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры инноватики
и интегрированных систем качества¹,
доцент кафедры информационных технологий
и математики²

¹ Санкт-Петербургский государственный
университет аэрокосмического приборостроения
190000, Санкт-Петербург, Большая Морская ул.,
д. 67а

² Санкт-Петербургский университет технологий
управления и экономики
190103, Санкт-Петербург, Лермонтовский пр.,
д. 44а

Information about Authors

Viktor V. Kurlov

PhD in Technology, Associate Professor, Associate
Professor of the Department of Innovation
and Integrated Quality Systems¹, Associate
Professor of the Department of Information
Technology and Mathematics²

¹ St. Petersburg State University of Aerospace
Instrumentation
67 Bolshaya Morskaya str., St. Petersburg
190000, Russia

² St. Petersburg University of Management
Technologies and Economics

44A Lermontovskiy Ave., St. Petersburg 190103,
Russia

Мария Александровна Косухина

кандидат экономических наук, доцент,
доцент кафедры инновационного
менеджмента

Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет «ЛЭТИ»
имени В. И. Ульянова (Ленина)

197022, Санкт-Петербург, ул. Профессора
Попова, д. 5

Алексей Викторович Курлов

директор Центра «Проектный офис»

Северо-Западный институт
управления — филиал РАНХиГС
при Президенте РФ

199178, Санкт-Петербург, Средний пр. В.О.,
д. 57/43

Поступила в редакцию 22.04.2022
Прошла рецензирование 19.05.2022
Подписана в печать 08.06.2022

Mariya A. Kosukhina

PhD in Economics, Associate Professor,
Associate Professor of the Department
of Innovation Management

St. Petersburg Electrotechnical University
“LETI”

5 Professora Popova str., St. Petersburg 197022,
Russia

Aleksey V. Kurlov

Director of the Center "Project Office"

North-West Institute of Management
of the Russian Presidential Academy
of National Economy and Public Administration
(NWIM RANEPА)

57/43 Sredniy Prospect V.O., St. Petersburg
199178, Russia

Received 22.04.2022
Revised 19.05.2022
Accepted 08.06.2022

Конфликт интересов: авторы декларируют отсутствие конфликта интересов,
связанных с публикацией данной статьи.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest related
to the publication of this article.