



# Концептуальные аспекты построения и интерпретации индексов цифровой трансформации промышленных предприятий

С.В. Илькевич<sup>1</sup><sup>1</sup> Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации (Москва, Россия)

## Аннотация

В фокусе статьи находится проблема формирования, построения, измерения и отслеживания динамики индексов оценки цифровой трансформации промышленных предприятий. Проанализированы композиционные особенности, преимущества и ограничения трех индексов, которые имеют достаточно хорошую сфокусированность на сопоставлении отраслей промышленности (хотя бы укрупненных групп отраслей) по уровню цифровой трансформации или цифровой зрелости с учетом их специфики и которые составлялись хотя бы несколько лет: Industrial Digitalization Index MGI McKinsey, Индекс готовности умной индустрии Всемирного экономического форума, Индекс цифровизации отраслей экономики и социальной сферы ВШЭ. Основной тезис статьи состоит в необходимости разработки единого, непрерывного и релевантного российской практике индекса цифровой трансформации промышленных предприятий с учетом всего того положительного опыта в концептуальных и методических разработках индексов оценки цифровизации, которые удалось наработать исследовательско-аналитическим коллективам международных и российских проектов в данной области. Вместе с тем автор отмечает необходимость избежать ретроспективного построения индексов на основе запаздывающих статистических данных и ориентации только на хорошо апробированные цифровые технологии. Представляется очень важным учесть необходимость внедрения стратегического вектора в методики измерения уровней цифровой трансформации промышленных предприятий. Недостаточно укрупненным образом сгруппировать показатели внедрения цифровых технологий и назвать их некими индексами или субиндексами в качестве основных маркеров цифровой трансформации. С точки зрения статистики такой подход может быть совершенно корректным, достоверным, верифицируемым. Но возникает вопрос относительно продуктивного потенциала сгруппированных технологий в контексте эволюции моделей бизнеса, особенно в промышленности. В рамках построения любых индексов и методов оценки динамики цифровой зрелости, цифровизации, цифровой трансформации лучше столкнуться с неизбежной неопределенностью в части потенциала некоторых фронтальных технологий в попытке предвидеть стык технологических факторов и будущих ниш для моделей бизнеса. При таком подходе индексы цифровой трансформации для промышленных предприятий приобретают проективную и инструментальную функции, поскольку выступают в некотором смысле дорожной картой. Они позволяют улучшить стратегическое видение в вопросах достижения более поздних стадий цифровой зрелости у самих компаний из различных отраслей и секторов промышленности, а также у их стейкхолдеров, ассоциаций, государственных органов (в первую очередь тех, которые отвечают за цифровизацию и промышленную политику).

**Ключевые слова:** промышленные компании, промышленные предприятия, промышленность, цифровая трансформация, индексы цифровой трансформации, цифровая зрелость, цифровые технологии.

## Для цитирования:

Илькевич С.В. (2024). Концептуальные аспекты построения и интерпретации индексов цифровой трансформации промышленных предприятий. *Стратегические решения и риск-менеджмент*, 15(1): 30–45. DOI: 10.17747/2618-947X-2024-1-30-45.

## Благодарности

Статья подготовлена по результатам исследований, выполненных за счет бюджетных средств по государственному заданию Финансового университета.

# Conceptual aspects of constructing and interpreting of digital transformation indices for manufacturing enterprises

S.V. Ilkevich<sup>1</sup><sup>1</sup> Financial University under the Government of the Russian Federation (Moscow, Russia)

## Abstract

The article focuses on the problem of designing, constructing, measuring and interpreting indices for assessing the digital transformation of manufacturing companies. We analyse the compositional features, advantages and limitations of the three indices, which are a fairly focused on comparing industrial sectors (or at least extended groups of industries) according to their level of digital transformation or digital maturity: Industrial Digitalisation Index MGI McKinsey, Smart Industry Readiness Index (SIRI) of the World Economic Forum, Digitalisation Index for Economy and Social Sectors by the Higher School of Economics. The main thesis of the article is the need to develop a unified, continuous and relevant index of digital transformation for manufacturing companies, taking into account all the positive experiences in the conceptual and methodological development of digitalisation assessment indices that research and analysis teams have

managed to develop so far. At the same time, the author points out the need to avoid retrospective construction of indices based on lagging statistical data. It seems very important to take into account the need to introduce a strategic vector when measuring the level of digital transformation of manufacturing companies. It is not enough to simply aggregate indicators of digital adoption and identify certain indices or sub-indices as the main markers of digital transformation. From a statistical point of view, such an approach can be perfectly correct, reliable, and verifiable. Questions arise about the productive potential of clustered technologies in the context of evolving business models, particularly in manufacturing. As a part of constructing any indices and methods for assessing the dynamics of digital maturity, digitalisation, digital transformation, it is better to face the inevitable uncertainty about the potential of some frontier technologies in an attempt to foresee the intersections of technological factors and future niches for business models, than to try to generalise the trajectory already traversed with a more retrospective logic based only on the verified and more tested parts and layers of the technologies. With this approach, digital transformation indices for manufacturing companies take on projective and instrumental functions, as they serve, in a sense, as a roadmap. They make it possible to improve the strategic vision of companies in different sectors, as well as their stakeholders, associations and public authorities (especially those in charge of digitalisation and industrial policy), with a view to achieving later stages of digital maturity.

**Keywords:** manufacturing companies, manufacturing enterprises, manufacturing, industry, digital transformation, digital transformation indices, digital maturity, digital technologies.

## For citation:

Ilkevich S.V. (2024). Conceptual aspects of constructing and interpreting of digital transformation indices for manufacturing enterprises. *Strategic Decisions and Risk Management*, 15(1): 30–45. DOI: 10.17747/2618-947X-2024-1-30-45. (In Russ.)

## Acknowledgment

The article was prepared on the bases of the results of research carried out at the expense of budgetary funds within the framework of the state mission of Financial University.

# 工业企业数字化转型指数构建和解释的概念性方面

S.V. Ilkevich<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 俄罗斯联邦政府财政金融大学 (俄罗斯, 莫斯科)

## 简介

本文的重点是工业企业数字化转型评估指数的形成、构建、测量和动态跟踪问题。本文分析了三个指数的组合特征、优势和局限性, 这些指数在工业数字化转型或数字成熟度水平的行业比较 (至少是大类行业) 方面具有相当的聚焦度, 并且已经编制了至少几年时间: 麦肯锡全球研究院的《工业数字化指数》、世界经济论坛的《智慧产业准备指数》、和高等经济学院的《经济和社会领域行业数字化指数》。本文的主要论点是, 有必要开发一个统一的、连续的且与俄罗斯实践相关的工业企业数字化转型指数, 同时借鉴国际和俄罗斯项目中研究分析团队在数字化评估指数的概念和方法开发方面积累的所有积极经验。同时, 作者指出, 应避免基于滞后的统计数据, 进行回溯性指数构建和仅关注已成熟的数字技术。非常重要是在测量工业企业数字化转型水平的方法中纳入战略性方向。简单地将数字技术应用指标进行粗略分组并称之为某些指数或子指数作为数字化转型的主要标志是不够的。从统计学的角度来看, 这种方法可能是完全正确、可靠且可验证的。然而, 这引发了一个关于在商业模式演变, 特别是在工业领域背景下, 分组技术的生产潜力的问题。在构建任何数字成熟度、数字化和数字化转型的指数和评估方法时, 最好面对某些前沿技术潜力中不可避免的不确定性, 尝试预测技术因素与未来商业模式新领域的交汇。采用这种方法, 工业企业的数字化转型指数获得了前瞻性和工具性功能, 因为它们在某意义上成为了路线图。这些指数有助于提升各行业和工业部门公司及其利益相关者、协会、政府机构 (尤其是负责数字化和工业政策的机构) 在实现更高阶段数字成熟度方面的战略视野。

**关键词:** 工业公司、工业企业、工业、数字化转型、数字化转型指数、数字化成熟度、数字化技术。

## 引用文本:

Ilkevich S.V. (2024). 工业企业数字化转型指数构建和解释的概念性方面. 战略决策和风险管理, 15(1): 30–45. DOI: 10.17747/2618-947X-2024-1-30-45. (俄文)

## 致谢

该论文是使用财政大学政府任务拨款资助的研究结果编写的。

## 1. Для чего нужны отраслевые и секторальные индексы цифровой трансформации

В складывающихся в настоящее время обстоятельствах и параметрах развития российских промышленных предприятий и с учетом особенностей их инновационной деятельности, трендов промышленной политики и внешних ограничений особый концептуальный и практический интерес представляет проблематика построения, отслеживания и интерпретации динамики индексов оценки цифровой трансформации промышленных предприятий. Эта проблематика в последние годы приобрела особую значимость в связи с возросшей сопряженностью с целым конгломератом других вопросов в сфере цифровизации промышленности и рассмотрения цифровизации в качестве инструмента повыше-

ния эффективности производства, среди которых можно отметить в первую очередь следующие шесть аспектов:

- интенсификация темпов цифровой трансформации, ее более сквозной и комплексный характер на более поздних стадиях;
- повышение уровня и стабильности спроса со стороны многих секторов промышленности на цифровые технологии;
- расширение государственных программ и проектов поддержки цифровой трансформации;
- ускорение темпов внедрения искусственного интеллекта в различных отраслях промышленности, особенно в последние несколько лет;
- интенсификация перехода российских промышленных предприятий на отечественное программное обеспечение;

- развитие моделей, методологий и методик, измеряющих влияние уровня цифровой трансформации на повышение производительности промышленных предприятий.

Развитие технологий в широком смысле представляет собой не только конгломерат аспектов, связанных с продвижением по самой технологической траектории, но также ряд аспектов сопряжения с такими категориями, как «жизненный цикл отрасли», «жизненный цикл продукта» и «жизненный цикл технологии» [Taylor, Taylor, 2012]. Технологический рост определяется как накопление новых идей или методов, выработанных фирмами и масштабируемых в отраслях, для создания экономической ценности [Priestley et al., 2020]. Промышленные предприятия, начавшие цифровизацию своих бизнес-процессов и цифровую перестройку моделей бизнеса, теперь переходят на следующий уровень интеграции своих цифровых процессов: цифровую интеграцию заводов и фабрик, что помогает им лучше использовать данные для получения новой информации и облегчения принятия решений в реальном времени. Такой существенный прогресс в цифровизации в пределах одного десятилетия значительно усложняет оценку его эффективности и определение оптимальной и своевременной стадийности. Кроме того, выстраивание любых рекомендаций, основанных на моделях зрелости, во многих случаях будет иметь эффект запаздывания как для отдельных промышленных предприятий, так и на уровне отраслей, подотраслей, секторов. Это особенно актуально, если сами по себе методики и методологии моделей цифровизации характеризуются высоким уровнем ретроспективности в желании обеспечить наибольшую валидность и верифицируемость технологических решений, поскольку попытки предвосхитить будущий технологический ландшафт связаны с более высокой неопределенностью относительно того, какие стыки технологий и бизнес-процессов окажутся наиболее продуктивными и перспективными для конкурентного позиционирования [Bota-Avram, 2023], а также с точки зрения формирования инновационных моделей бизнеса [Acciarini et al., 2022]. Большое значение имеет также сочетание факторов, способствующих развитию цифровых технологий, в конкретных отраслевых контекстах с учетом нетехнологических, организационных факторов [Titov et al., 2023].

Отдельное направление цифровой трансформации промышленных предприятий – формирование конкурентных преимуществ за счет расширения присутствия на цифровых платформах. Исследования демонстрируют, что создание некомпатируемых конкурентных преимуществ на основе взаимоотношений с партнерами имеет неочевидную динамику и последствия. Помимо положительных сетевых эффектов на цифровых платформах промышленные предприятия поджидают отрицательные сетевые эффекты – как прямые (различного рода сбои и перегрузки платформы), так и перекрестные, косвенные (снижение рентабельности из-за перераспределения рыночной власти и переговорного баланса в сторону платформы), а также компонентно обусловленные сетевые эффекты [Трачук, Линдер, 2023]. Поэтому в конкретном отраслевом, секторальном контексте сложно сказать, является ли высокая степень интегрированности про-

мышленных предприятий маркером цифровой зрелости. Технологически это может выглядеть именно так, но с точки зрения устойчивости (и даже долгосрочной инновационности) модели бизнеса такая цифровизация может привести к более низкой эффективности и результативности стратегии и модели промышленного предприятия.

Тем не менее подходы и методики для определения динамики агрегированных состояний технологического развития (индексы технологического развития, индексы цифровизации или цифровой трансформации) могут стать важным информационным ресурсом для принятия своевременных управленческих решений на всех уровнях: и менеджментом на отдельных промышленных предприятиях, и на региональном и отраслевом уровнях в рамках более точного определения параметров промышленной политики и цифровизации, масштабирования лучших практик с целью повышения производительности труда, а также для макроэкономического прогнозирования и стимулирования инновационной структурной перестройки экономики.

Индексы оценки цифровой трансформации (или цифровизации) промышленных предприятий, как и любые иные, призваны выступать своего рода маркерами и инструментами сопоставления степени и/или стадийности цифровой зрелости промышленных предприятий в разрезе отдельных отраслей/подотраслей/секторов, а также отдельных цифровых технологий и/или комплексов цифровых технологий (также известных как сквозные комплексы цифровых технологий). Наличие достаточно точных и репрезентативных индексов цифровой трансформации может стимулировать взаимодействие всех заинтересованных сторон и инвестиционную деятельность в рамках разработки и реализации стратегий промышленных предприятий. Здесь можно также говорить о целесообразности продуктового подхода (или продуктового аспекта) в понимании стадий развития цифровых технологий, в рамках которого всеми стейкхолдерами технологического развития промышленного предприятия ставится цель достижения полной и бесшовной интеграции сквозных технологий от цеха до управления предприятием, основанной на целостной архитектуре, поддерживающей управление полным жизненным циклом продукта [Ferreira et al., 2021]. Такая парадигма применима не только к отдельным предприятиям, но и к цифровой трансформации однородных компаний в рамках секторов, отраслей, подотраслей.

Однако представляется особенно важным при этом разбираться в надежности, точности, релевантности, информативности, полноте инструментария индексов оценки цифровой трансформации промышленных предприятий, а также идентифицировать проблемы и возможные направления и подходы по совершенствованию такого рода индексов. Стоит особенно подчеркнуть, что само по себе наличие ряда индексов оценки цифровой трансформации, которые в той или иной степени (прямо или косвенно) релевантны для промышленных предприятий, является уже существенным концептуальным и методическим достижением в международной и российской практике оценки цифровой зрелости на уровне отдельных отраслей/подотраслей/секторов, а не просто отдельных компаний.

Илькевич С.В.  
Ilkevich S.V.

Концептуальные аспекты построения и интерпретации индексов цифровой трансформации промышленных предприятий  
Conceptual aspects of constructing and interpreting of digital transformation indices for manufacturing enterprises  
工业企业数字化转型指数构建和解释的概念性方面

Однако в силу неточности и неполноты инструментария, подгонки многих параметров под определенный методиче- кой стандарт, а также упрощенной интерпретации индексов со стороны компаний, их стейкхолдеров, аналитиков и госу- дарственных органов актуальной становится проблема иска- женного восприятия. Чтобы убедиться в этом, достаточно посмотреть то, как новости о выходе тех или иных индек- сов, рейтингов и рэнкингов встраиваются в общее медийное поле. СМИ, включая деловые издания, просто воспроизво- дят их без всякого анализа компонентной базы и ее релевант- ности, и даже многие академические публикации приводят рейтинги как некое самоочевидное доказательство поло- жения дел, не пытаясь отметить ограниченность методик. В итоге происходит своего рода гало-эффект, или эффект ареола, когда, полагаясь на общую исследовательскую репу- тацию той или иной институции, исследовательское и про- фессиональное сообщество далее некритично ретранслирует оценки какого-либо индекса. Дело тут даже не столько в том, что исследовательские группы могли отобрать неидеальные соотношения параметров для оценок по тем или иным шка- лам или что методика может упрощенно интерпретировать или подгонять под один формат какие-то показатели.

Центральный вопрос состоит в том, чтобы, най- дя ошибки или неточности (это естественная часть работы здорового исследовательского сообщества), дополнять, уточнять, модифицировать и особенно конкретизировать методики, в том числе в разрезе от- дельных отраслей. Это необходимо и для более точ- ного измерения динамики индексов более дробным образом структурированных отраслей в рамках одной укрупненной группы отраслей (например, обрабаты- вающей промышленности). Для этого определенно потребуется несколько иная композиция частных по- казателей, чем при более абстрактном сопоставлении всех укрупненных отраслей экономики.

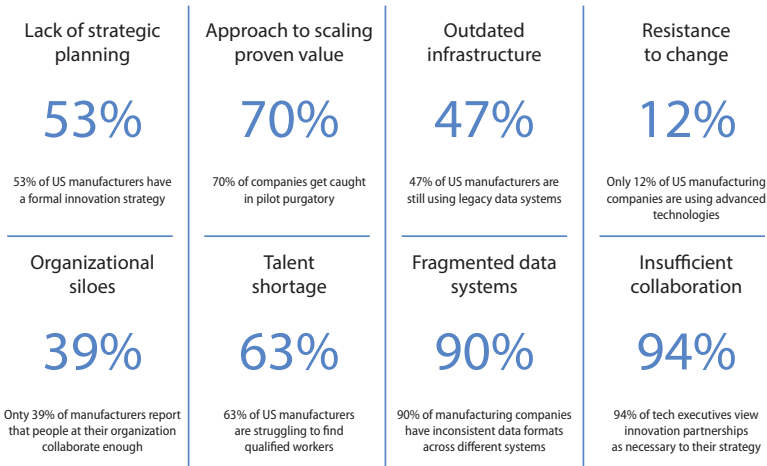
Говоря о динамике индексов оценки цифровой трансформации (или цифровизации) промышленных предприятий, нельзя не отметить особую значимость проблемы сопоставления межвременных значений индексов и своевременного уточнения и обновления расчетной базы. В этом отношении необходимо по- нимать, что одни компоненты цифровых технологий могут долгое время оставаться релевантными в качестве существенных элементов оценки цифровой зрелости и циф- ровой трансформации, тогда как другие быстро перестают быть информативной основой для сопоставления стадий и траекторий цифровой перестройки бизнес-процессов и бизнес-моделей.

Если в том или ином индексе оценки цифровой транс- формации начинают занимать существенную долю доста- точно банальные и устаревшие метрики и маркеры цифровой зрелости, это становится значимой проблемой как в измери- тельном, так и концептуальном отношении. А решение дан- ной проблемы отнюдь не тривиально, поскольку стоит зада- ча одновременной оценки как технологической новизны, ее практической реализуемости и масштабирования, так и по- тенциала встраивания цифровых технологий в бизнес-про- цессы и их общей значимости в рамках преобразования

моделей бизнеса. Это конгломерат фронтальных вопросов, в котором даже экспертные сообщества могут ошибаться, иначе по определению не было бы компаний-дисрапторов, совершивших прорыв в отраслях, поскольку доминирующие компании в промышленных и непромышленных секторах заранее видели бы весь перспективный технологический ландшафт и направляли туда соответствующие ресурсы. Но многочисленные примеры показывают, что и правления самых могущественных высокотехнологичных корпораций, и ведущие аналитические и исследовательские структуры с весьма переменным успехом могут предсказывать самые перспективные стыки технологий и моделей бизнеса, остав- ляя достаточно возможностей для новых компаний и нова- торских моделей бизнеса.

Чтобы подчеркнуть все сложности перехода к продук- тивному встраиванию технологий в качестве фактора инно- ваций моделей бизнеса промышленных предприятий, можно привести недавнее исследование Всемирного экономиче- ского форума, которое установило определенные барьеры для внедрения инновационных моделей в промышленности США (рис. 1).

Рис. 1. Барьеры цифровой трансформации по 14 группам промышленных отраслей, SIRI  
Fig. 1. Barriers to digital transformation for 14 groups of manufacturing industries, SIRI



Источник: [Unleashing business model..., 2023].

Проблематику построения и отслеживания динамики индексов оценки цифровой трансформации промышленных предприятий необходимо воспринимать в рамках более общего рассмотрения технологических перспектив экономи- ки и общества в целом в контексте управления сменой по- колений технологий с целью максимизировать полезность, которую общество получает от внедрения, развертывания и использования определенной технологической парадигмы. Отдельный важный вопрос здесь состоит в том, как клю- чевые и определяющие факторы выбора и развертывания технологий и их комплексов взаимодействуют друг с дру- гом во времени [Kim, 2003]. Если этого не сделать, то сами индексы оценки цифровой трансформации столкнутся с из- вестной как раз в области цифровизации и общей информа- тики проблемой ‘garbage in – garbage out’ (GIGO). Принцип GIGO означает, что при неверных входящих данных будут



получены неверные результаты, даже если сам алгоритм правилен. В случае с построением индексов оценки цифровой трансформации важно пройти между Сциллой и Харибдой. С одной стороны, важно вовремя убирать устаревшие технологические компоненты, которые более не репрезентативны в качестве маркеров и параметров для характеристики качества сдвига в цифровой трансформации. Это уже само по себе делает затруднительным корректные сопоставления индексов цифровизации в динамике на более длительных периодах (свыше 3–5 лет). С другой стороны, при включении фронтальных технологий важно избежать спекулятивности рассуждений и излишнего «технооптимизма» и ажиотажа, поскольку «оцифровка» не всегда ведет к явному повышению производительности и эффективности деятельности промышленных предприятий.

Исследования демонстрируют, что отношения между вложениями в технологии, результатами инновационной деятельности и ростом производительности нелинейны и имеют устойчивую положительную взаимосвязь только после достижения определенной критической массы вложений и обеспечения функциональности продуктовых решений [Трачук, Линдер, 2020]. Цифровая трансформация может значительно повысить общую факторную производительность, но снизить производительность промышленных предприятий за счет увеличения уровня операционных затрат, снижения общего оборота активов и увеличения управленческих расходов [Guo et al., 2023]. В этом ракурсе излишний первоначальный ажиотаж может негативно повлиять на результативность инновационной деятельности промышленных предприятий. Нереалистично отрицать влияние ажиотажа, манипуляций и в общем случае нарративов на фундаментальное развитие компаний, активно внедряющих технологии в рамках формирующейся парадигмы и фи-

нансово-инвестиционных механизмов модели эффективного интерпретатора [Илькевич, 2022].

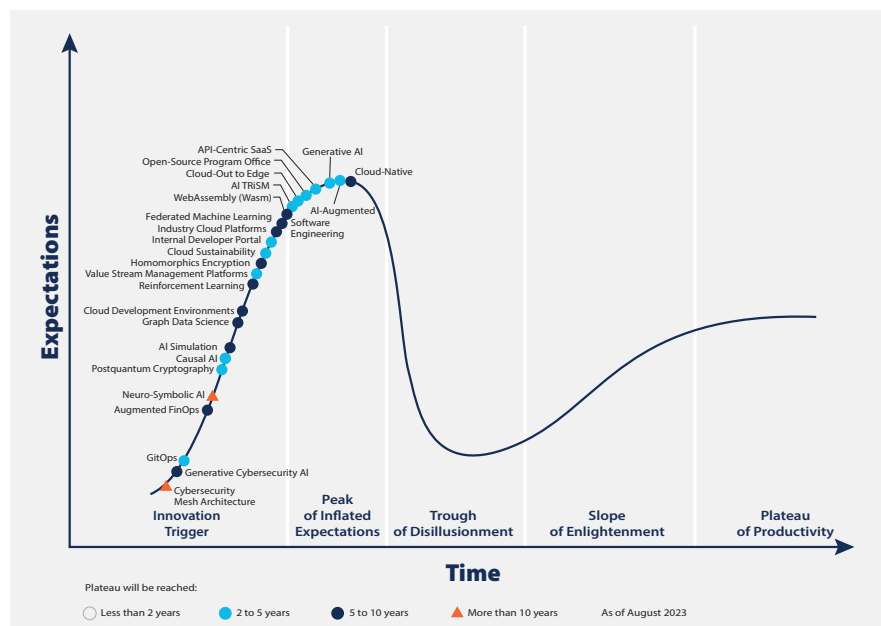
Для порядковой оценки степени ажиотажа применяется модель цикла ажиотажа компании *Gartner*, которая прослеживает эволюцию технологических инноваций по мере того, как они проходят последовательные стадии, выражающиеся в пике, разочаровании и восстановлении ожиданий от технологии или комплексов технологий [Dedehayir, Steinert, 2016]. Выявление потенциально прорывных технологий позволяет прогнозировать технологический ландшафт и эффективно распределять ресурсы и финансирование на исследования и разработки [Chen, Han, 2019]. Gartner Hype Cycle 2023 года представлен на рис. 2.

Поскольку цикл ажиотажа представляет собой прогноз, подобный снимку, который делается только один раз в год, для стейкхолдеров здесь нет индикации о наиболее подходящем времени для инвестиций и поддержки технологических инициатив [Kondo et al., 2022]. При этом установлено, что некоторые технологии могут становиться достаточно зрелыми, не претерпев стадию значительного падения ожиданий [Kregel et al., 2021]. Одним из объяснений такой существенной вариативности цикла Gartner на практике является особый конвергентный потенциал цифровых технологий. Высококонвергентные технологии включают в свои контуры, по С.Д. Бодрунову, элементы цифровых технологий и тем самым стимулируют цифровую трансформацию в различных отраслях в рамках системы с положительной обратной связью, которая по определению становится очень привлекательной для инвесторов, в том числе с высоким аппетитом к риску [Бодрунов, 2018].

Еще одним теоретико-методологическим упущением при построении, анализе динамики и интерпретациях индексов оценки цифровой трансформации промышленных предприятий может стать игнорирование значимости человеческого фактора и аспектов технологически-человеческой комплементарности. Исследователями предложена концепция «Дизайн с учетом человеческого фактора в индустрии 4.0» (Design for the Human Factor in Industry 4.0, DfHFinI4.0), в основе которой лежит обеспечение аффективно-когнитивной интеграции человеческого фактора технологический прогресс [Suarez-Fernandez de Miranda et al., 2020].

Концепция DfHFinI4.0 хорошо согласуется с первоначальным видением индустрии 5.0, представленным в 2020–2021 годах: индустрия 4.0 ориентирована на технологии, тогда как индустрия 5.0 – на ценность [Xu et al., 2021]. Индустрия 5.0 понимается как признание возможностей промышленности в достижении социальных целей, помимо рабочих мест и роста, в качестве устойчивого источника процветания с пониманием экологических границ нашей планеты и благополучия работника (рис. 3).

Рис. 2. Цикл ажиотажа Gartner для развивающихся технологий  
Fig. 2. Gartner hype cycle for emerging technologies



Источник: <https://www.gartner.com/en/articles/what-s-new-in-the-2023-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies>.

Рис. 3. Базовые ценности в рамках концепции индустрии 5.0  
Fig. 3. Core values of the Industry 5.0 concept



Источник: [Xu et al., 2021].

В рамках основных ценностных акцентов индустрии 5.0. промышленные рабочие должны продолжать повышать квалификацию и переквалифицироваться для улучшения карьерных возможностей и баланса между работой и личной жизнью. В передовых экономиках мира, несмотря на общий прогрессивный трансформационный тренд в промышленности, включая повышение предпринимательского потенциала за счет образования новых ниш [Nambisan et al., 2019], в последние два десятилетия имело место общее ухудшение социально-экономического благополучия как на уровне местных сообществ, так и на национальном уровне. Цифровые технологии пока что в малой степени способствовали решению обостряющихся проблем, среди которых можно отметить длительную стагнацию реальных зарплат, прекаритет занятости, медленный рост производительности среднего работника по экономике в ряде стран ОЭСР, обострение социального неравенства, значимое размывание среднего класса, депривацию территорий, снижение доступности жилья (по показателю количества среднегодовых доходов за типовой объект недвижимости) даже в странах с номинально очень высоким уровнем экономического развития. За период с 2005 по 2019 год ежегодный прирост производительности, к примеру, в США составил в среднем всего 1,4%, несмотря на то что невероятные достижения в области цифровых технологий позволили суперкомпьютерам оказаться в распоряжении каждого работника и потребителя. При этом реальные доходы населения росли более низким темпом – на 0,7%. В большинстве стран ОЭСР также наблюдается снижение роста производительности труда с 2005 года. Инвестиции всех видов замедлились, несмотря на рекордно низкие процентные ставки и рост прибыльности компаний и иностранных инвестиций [Atkins et al., 2023]. Это все образует большой социально-экономический и технологический парадокс: как общество, которое можно считать все более и более инновационным, оказывается все менее продуктивным (по крайней мере по темпам прироста) и социально благополучным (по ряду метрик – даже в абсолютном значении); как ускорение инновационных процессов может сочетаться со стагнацией общественного благополучия и замедлением экономического роста [Gordon, 2018]. Здесь логичными

представляются два ответа. Либо цифровые технологии дают не совсем тот прирост производительности, который замеряется, либо они прямо или косвенно приводят и к некоторым «утечкам» в благосостоянии. Хотя нельзя не признавать, что стагнация экономического роста – это системная проблема, в которую вносят вклад многие третьи факторы, и поэтому требовать от цифровых технологий решения всех проблем, вероятно, изначально не совсем корректная постановка вопроса.

Большую значимость для интерпретации социально-экономических последствий цифровой трансформации промышленных предприятий представляет конгломерат проблем, в центре которых находится вопрос о том, насколько быстро и масштабно новые технологии смогут создавать высококвалифицированные рабочие места для соразмерной компенсации стремительно устаревающих и уходящих из экономики профессий [Grenčíková et al., 2020; Anackovski et al., 2021].

С учетом обозначенных аспектов в рамках индексов оценки цифровой трансформации промышленных предприятий целесообразным представляется включение такого рода метрик и параметров, которые отвечают за измерение или оценку более широкого социального контекста. При этом не просто на уровне ESG-факторов (не умаляя значение данной парадигмы), а на уровне интегративной парадигмы технологического сдвига в рамках общих социально-экономических стратегий на уровне общества и отдельных сообществ. Интегративная парадигма технологического развития, учитывающая расширенный социальный контекст и долгосрочную ориентацию всех стейкхолдеров, как представляется, должна применяться и в оценке жизненного цикла технологий [Илькевич, 2023], и при ранжировании (оценке индексов) цифровой трансформации промышленных предприятий.

## 2. Композиция и динамика наиболее релевантных индексов оценки цифровой трансформации промышленности

Измерение уровня развития цифровой экономики стало в последние десять лет важной тематикой исследований. Появился целый ряд достаточно известных и относительно репутационных международных и всероссийских индексов, рейтингов и рейтингов развития информационно-коммуникационных технологий, цифрового общества, мировой цифровой конкурентоспособности, цифровой эволюции, а также инновационности с большим весом в показателях цифровых компонентов [Горбачев и др., 2019]. С точки зрения композиционных компонентов явное большинство из них обладает довольно ограниченной релевантностью для оценки цифровой трансформации для промышленных предприятий. Одни индексы преимущественно отражают степень развития научно-исследовательского задела стран, уровень развития информационно-коммуникационных технологий и кибербезопасности. Другие индексы делают акцент на учете аспектов социально-экономической интеграции цифровизации, что само по себе хорошо, но происходит

отрыв от задач оценки производительности, эффективности и результативности в контексте построения инновационного и конкурентоспособного бизнеса в промышленности и других отраслях экономики. Поэтому, как итог, ни те ни другие индексы из обозначенных двух групп в существенной мере не фокусируются на возможностях бизнеса с точки зрения перестройки бизнес-процессов и построения новых моделей бизнеса, не говоря уже о проведении сопоставлений цифровой зрелости или цифровой трансформации именно по этим атрибутам в разрезе отдельных отраслей экономики – сельского хозяйства, торговли, промышленности.

Даже в ракурсе определения уровня цифровизации по странам или городам многие индексы не в полной мере раскрывают детали используемой методологии, из-за чего можно предположить, что по крайней мере по отдельным параметрам могут иметь место упрощенные сопоставления и игнорирование специфических особенностей отдельных стран, городов, регионов или укрупненных групп отраслей для подгонки под методики.

Центральная же проблема в области динамики индексов оценки цифровой трансформации (цифровизации) промышленных предприятий состоит в том, что как таковых индексов (то есть ежегодно или с иной периодичностью измеряемых показателей) совсем не много. И это несмотря на то, что различного рода методики измерения степени, уровня, зрелости цифровизации получили достаточно широкое распространение уже к концу 2010-х, в том числе те методики, подходы и даже буквально по названию «индексы» (но не рассчитываемые ни с какой периодичностью, ни на какой выборке предприятий), предложенные академическими институциями, международными организациями, ведущими консалтинговыми компаниями [Гилева, 2019].

Тем не менее несколько индексов все же имеют достаточно хорошую сфокусированность на сопоставлении отраслей (хотя бы укрупненных групп отраслей) по уровню цифровой трансформации или цифровой зрелости с учетом их специ-

фики и составлялись хотя бы несколько лет. Но, к сожалению, публикации ряда индексов прекратились, несмотря на весь массив концептуальных и методических наработок, представляющих немалую ценность. К примеру, McKinsey Global Institute разрабатывал и несколько лет публиковал Индекс цифровизации отдельных отраслей промышленности Industrial Digitalization Index MGI McKinsey. В российском контексте Индекс цифровизации отраслей экономики и социальной сферы ВШЭ как агрегированная оценка уровня распространения цифровых технологий по укрупненным отраслям экономики был предложен в 2022 году Институтом статистических исследований и экономики знаний НИУ ВШЭ, однако сопоставления в рамках завершеного ВШУ проекта были выполнены за 2020 и 2021 годы и пока что не продолжились.

Среди других релевантных индексов концептуальный и методический интерес представляют также Индекс зрелости индустрии 4.0 и инициатива Всемирного экономического форума Индекс готовности умной индустрии.

Далее рассмотрим концептуальные и методические подходы упомянутых индексов, а также то, что каждый из них привносит в многоаспектную картину оценки цифровой трансформации промышленных предприятий и как весь этот накопленный концептуальный и методический арсенал можно задействовать в дальнейшем, если у стейкхолдеров процессов цифровой трансформации российской промышленности будет намерение развивать направление индикаторов и индексов оценки ее уровня.

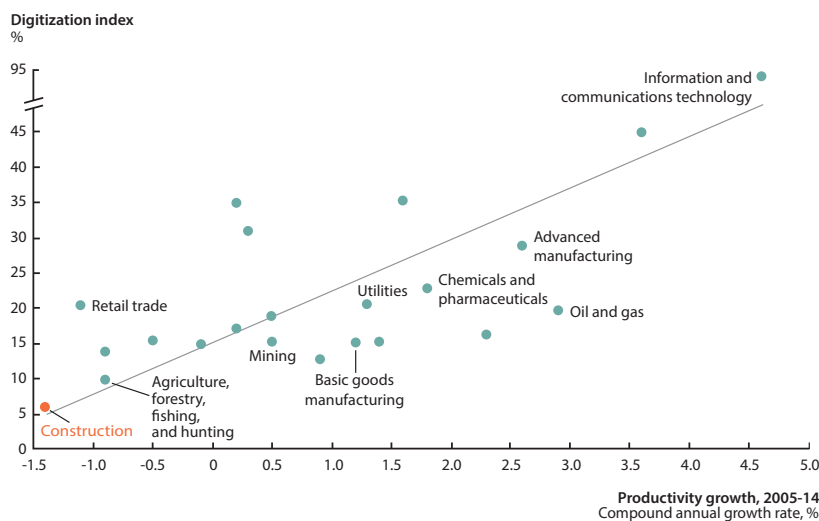
### Отраслевой индекс цифровизации Industrial Digitalization Index MGI

На рис. 4 представлено сопряжение индекса цифровизации Industrial Digitalization Index MGI и роста производительности в различных секторах экономики США, включая такие отрасли, как производство основных товаров, химия и фармацевтика, добывающая промышленность, отдельно нефтегазовая отрасль, а также передовое производство.

Наибольший интерес представляют производство основных товаров (Basic goods manufacturing) и передовое производство (Advanced manufacturing). С точки зрения расположения этих двух укрупненных групп отраслей промышленности в координатах взаимосвязи цифровизации и роста производительности все довольно ожидаемо. Пожалуй, можно предполагать, что нахождение обеих укрупненных групп ниже трендовой линии позволяет утверждать о достаточно эффективном использовании достижений цифровизации в 2005–2015 годах. К сожалению, более поздних сопоставимых данных за период с 2016 года нет, так как Industrial Digitalization Index MGI перестал публиковаться после 2015-го. Это особенно печально в связи с тем, что концептуальная и расчетная база индекса была, вероятно, наиболее взвешенной из всех имеющихся, а также весьма релевантной для оценки потенциала цифровизации промыш-

Рис. 4. Связь индекса цифровизации Industrial Digitalization Index MGI и роста производительности в различных секторах экономики США

Fig. 4. The relationship between the Industrial Digitalisation Index MGI and productivity growth in different sectors of the US economy



Источник: [Bonini et al., 2019].

ленных отраслей. Можно предполагать, что дальнейший прогресс отраслей промышленности в повышении уровня цифровизации с 2015 года конвертировался в сопоставимые темпы прироста производительности, поскольку примерно в этот период во многих промышленных отраслях и подотраслях в полной мере развернулось масштабирование целых комплексов сквозных промышленных технологий.

На рис. 5 представлена композиция индекса цифровизации Industrial Digitalization Index MGI и цветовые индикации по параметрам цифровизации для отраслей экономики США. Исследование Глобального института McKinsey (MGI) было направлено на диагностику состояния цифровизации в секторах экономики США и обнаруживало большой и растущий разрыв между секторами и между компаниями внутри этих секторов. Показатели Industrial Digitalization Index MGI делились на три широкие категории: цифровые активы, использование цифровых технологий и цифровые работники. Последние две категории имели решающее значение.

Цифровые активы во всей экономике резко увеличились в последние годы, поскольку компании инвестировали не только в ИТ, но и в оцифровку своих физических активов. Ведущие отрасли сохраняют огромное преимущество в использовании цифровых технологий в форме транзакций, взаимодействия с клиентами и поставщиками, а также во внутренних бизнес-процессах. Но самым большим отличием является наличие рабочей силы, оснащенной цифровыми технологиями. За последние два десятилетия показатели ведущих секторов экономики по различным показателям цифрового труда, таким как доля задач, связанных с цифровыми инструментами, и количество новых цифровых профессий, выросли в восемь раз, в то время как остальная часть экономики практически не работала [Van Heerden, 2019]. Стоит ли удивляться тому, что производительность труда в строительной отрасли в течение последних двух десятилетий оставалась на прежнем уровне, тогда как производительность в обрабатывающей промышленности выросла почти вдвое?

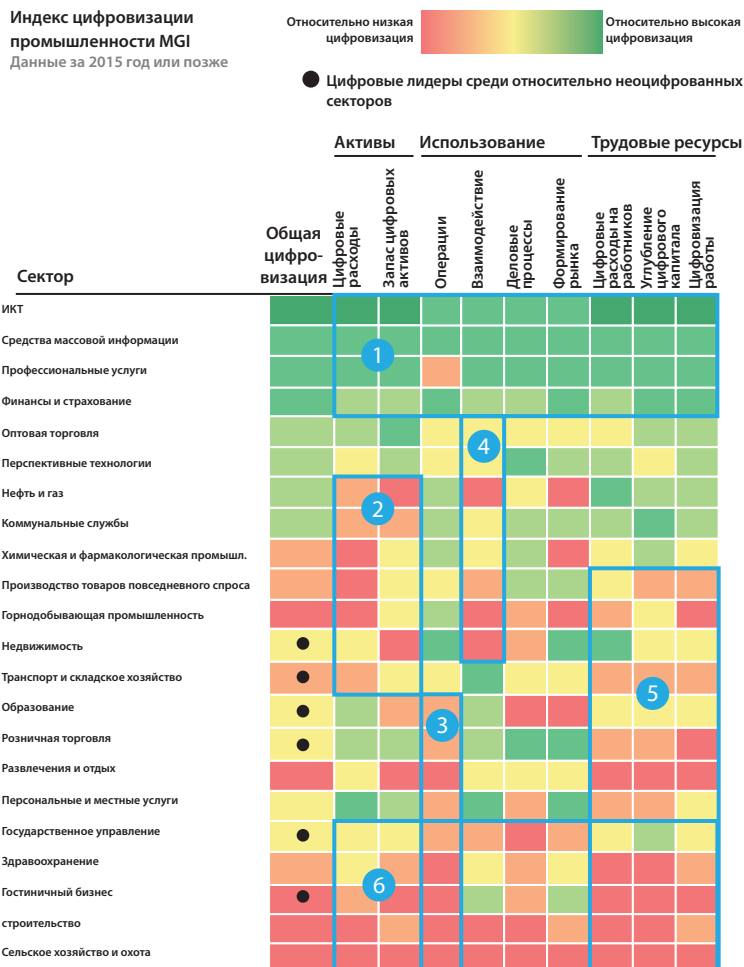
На рис. 6 приведена визуализация уровня цифровизации отраслей в Европе по методике Industrial Digitalization Index MGI – Индекс цифровизации европейской промышленности MGI (составлено в 2016 году).

На рис. 7 представлены методика и метрики индекса цифровизации Industrial Digitalization Index MGI.

### Индекс готовности умной промышленности SIRI Всемирного экономического форума

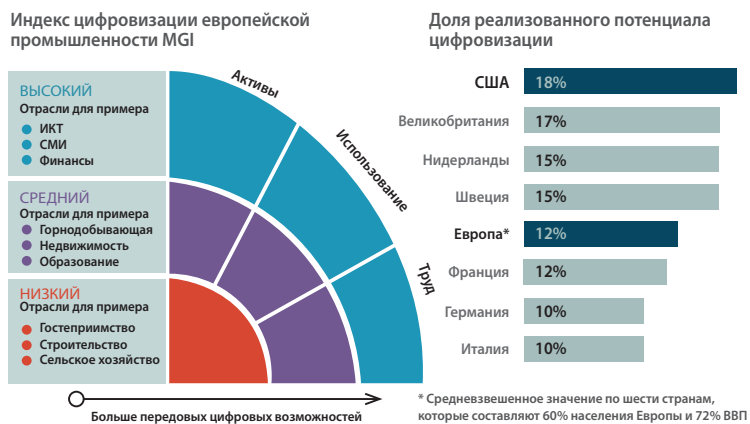
Глобальный индекс готовности умной промышленности SIRI, разработанный в качестве глобальной инициативы экспертами Всемирного экономического форума [Global smart industry., 2021], включает в себя набор структур и инструментов, которые помогают производителям – независимо от размера и отрасли – начать, масштабировать и поддерживать свой путь

Рис. 5. Композиция индекса цифровизации Industrial Digitalization Index MGI и цветовые индикации по параметрам цифровизации для отраслей экономики США  
Fig. 5. Composition of the Industrial Digitalisation Index MGI and colour coding according to digitalisation parameters for sectors of the US economy



Источник: [Van Heerden, 2019].

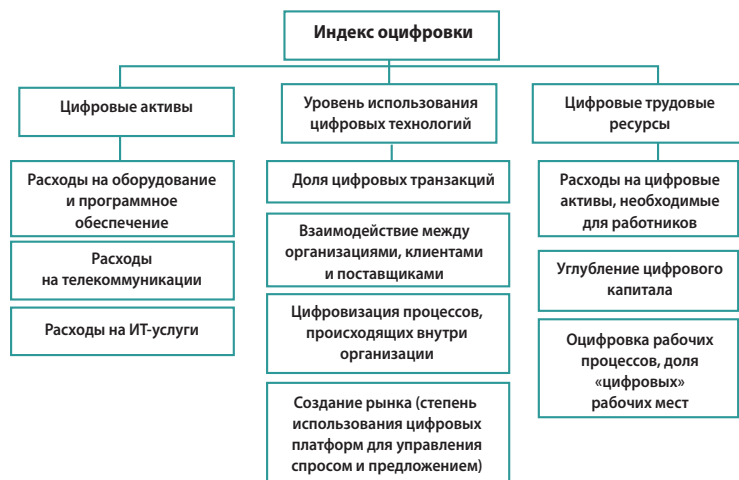
Рис. 6. Индекс цифровизации европейской промышленности MGI  
Fig. 6. MGI European Industry Digitalisation Index



Примечание. Индекс цифровизации промышленности MGI содержит 20 показателей для измерения цифровых активов, использования цифровых технологий и «цифровых работников» в каждой отрасли экономики.  
Источник: [Кобзев и др., 2022].

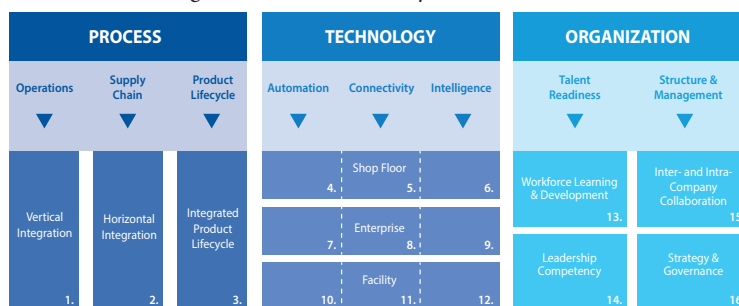


Рис. 7. Методика и метрики индекса цифровизации Industrial Digitalization Index MGI  
Fig. 7. Methodology and metrics of the Industrial Digitalisation Index MGI



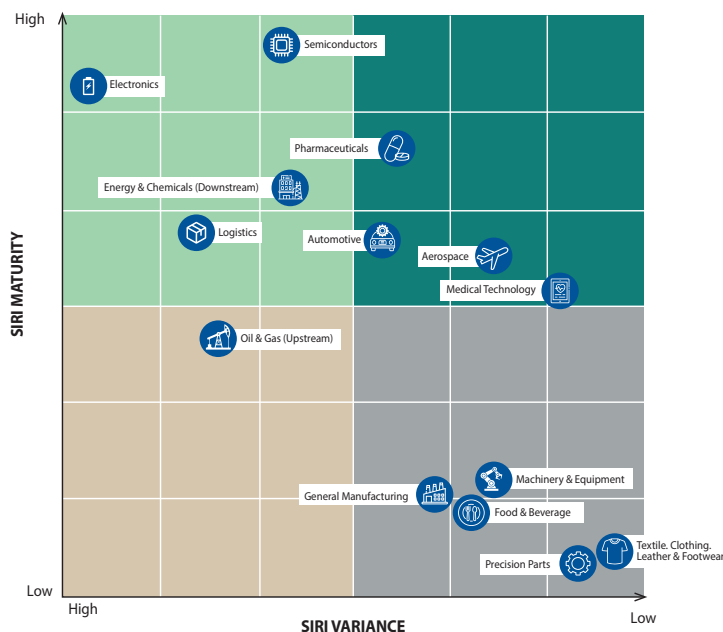
Источник: [Печаткин, Вильданова, 2021].

Рис. 8. Индекс готовности умной промышленности SIRI  
Fig. 8. SIRI Smart Industry Readiness Index



Источник: [The Global smart industry..., 2022].

Рис. 9. Архетипы цифровой трансформации по 14 группам промышленных отраслей, SIRI  
Fig. 9. Digital transformation archetypes for 14 industry groups, SIRI



Источник: [The Global smart industry..., 2022].

трансформации производства. Будучи глобальным показателем зрелости трансформации индустрии 4.0, SIRI помогает повысить осведомленность и установить цели, к которым организации могут стремиться. Индекс также предоставляет производителям структурированную основу для сравнения с аналогами, выявления их сильных и слабых сторон, чтобы лучше расставлять приоритеты в усилиях и ресурсах по развитию, а также отслеживать их прогресс на пути цифровой трансформации. Индекс готовности умной промышленности SIRI представлен на рис. 8.

Наряду с композиционными элементами Индекса готовности умной промышленности экспертами Всемирного экономического форума предложены отраслевые архетипы цифровой трансформации по 14 группам промышленных отраслей. Архетипы определялись методом мапирования (картирования) в рамках плоскости с двумя осями – цифровая зрелость и цифровая вариативность (рис. 9).

Относительно оценок динамики отдельных архетипов цифровой трансформации экспертной группой Всемирного экономического форума приведены только выборочные порядковые данные путем ранжирования (рэнкинга) пяти самых зрелых отраслей за 2019 и 2022 годы без указания числовых значений (рис. 10).

### Индекс цифровизации отраслей экономики и социальной сферы ВШЭ

На рис. 11 представлена динамика интегрального индекса и субиндексов Индекса цифровизации отраслей экономики и социальной сферы ВШЭ.

На рис. 12 представлено значение Индекса цифровизации отраслей экономики и социальной сферы ВШЭ по отраслям за 2021 год.

Как отмечают авторы материала, подготовленного Институтом статистических исследований и экономики знаний НИУ ВШЭ, «обрабатывающую промышленность отличает высокая активность использования специальных программных средств для проектирования/моделирования (28,9%), систем для управления автоматизированным производством и/или отдельными техническими процессами (22,2%), промышленных роботов / автоматизированных линий (19%), технологии «цифровой двойник» (3,8%). Вместе с тем в промышленных организациях зафиксирован невысокий уровень цифровых навыков работников (10-е место по соответствующему субиндексу) и затрат на внедрение и использование цифровых технологий (входят в последнюю пятерку отраслей по значению субиндекса)» [Васильковский и др., 2022].

Приходится сожалеть, что публикация Индекса ВШЭ за 2022 и 2023 годы по крайней мере на настоящее время не продолжилась. Этот большой и продуктивный пласт разработок, выдержанный в единой экономико-статистической логике, крайне важен для российских исследователей цифровой экономики и цифровой трансформации. По всей видимости, отсутствие публикаций индекса за 2022 и 2023 годы связано

Рис. 10. Пять отраслей с самым высоким уровнем цифровой зрелости в 2019 и 2022 годах, SIRI  
Fig. 10. Five industries with the highest levels of digital maturity in 2019 and 2022, SIRI

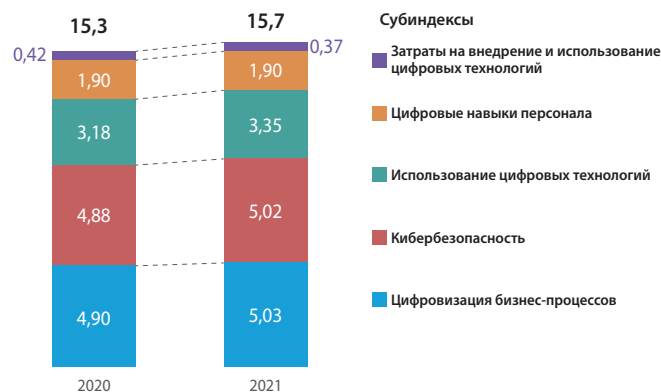
Rankings		
Ranking	2019	2022
1	Semiconductors	Semiconductors
2	Pharmaceuticals	Electronics
3	Electronics	Pharmaceuticals
4	Energy & Chemicals (Downstream)	Energy & Chemicals (Downstream)
5	Medical Technology	Logistics

Источник: [The Global smart industry..., 2022].

с тем, что этот очень значимый и в концептуальном, и в методологическом разрезе результат по композиции и динамике индекса за 2020 и 2021 годы исследователями был достигнут в рамках выполнения завершившегося в 2022 году проекта «Экспертиза стратегий цифровой трансформации отраслей экономики и социальной сферы, в том числе с учетом лучших практик зарубежных стран, и выработка предложений по их доработке (2022)».

По крайней мере на момент разработки Индекса цифровизации отраслей экономики и социальной сферы это была комплексная методика оценки цифровой трансформации, релевантная для укрупненных групп отраслей и характеризующаяся широким охватом частных показателей цифрови-

Рис. 11. Индекс цифровизации отраслей экономики и социальной сферы ВШЭ  
Fig. 11. Index of the digitalisation of the economic and social sphere by the Higher School of Economics

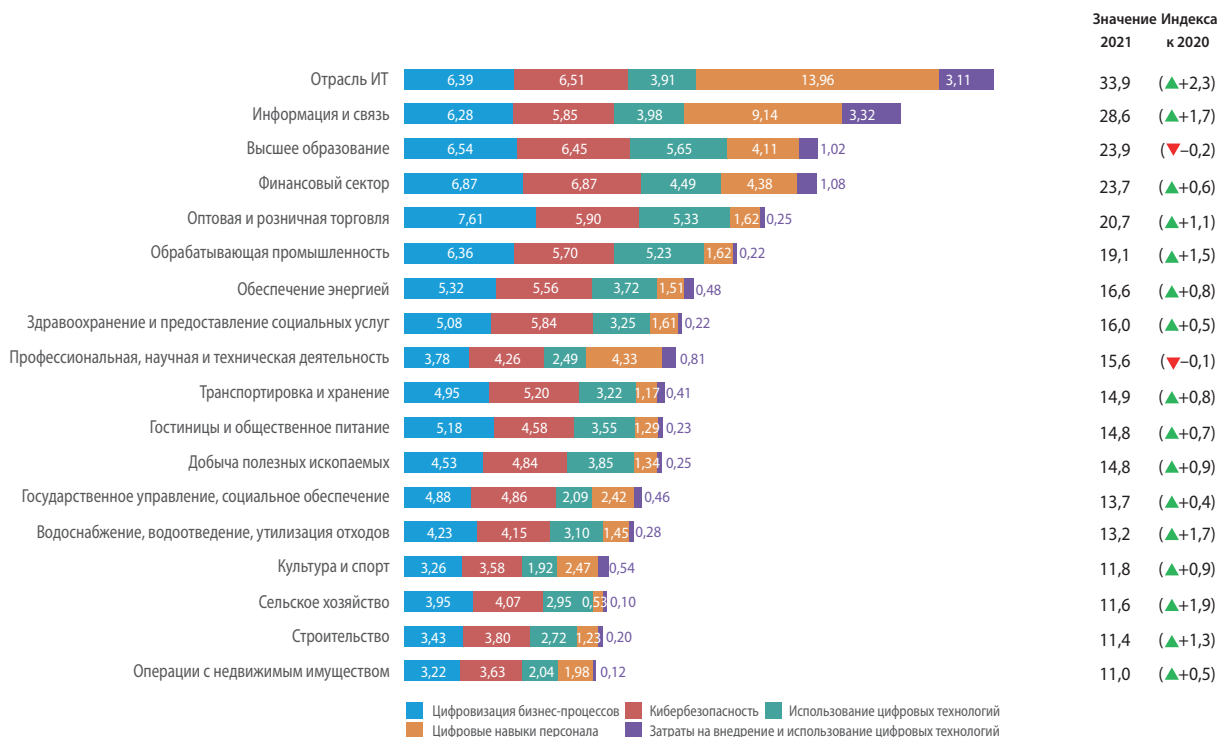


Источник: [Васильковский и др., 2022].

зации, репрезентативных для отдельных пяти субиндексов. Удельные веса субиндексов также представляются подобранными в целесообразном и отражающем социотехнологические сдвиги образом. Структура Индекса цифровизации отраслей экономики и социальной сферы ВШЭ представлена в таблице.

Безусловно, каждая методика имеет свои ограничения, допущения и упрощения. Для того чтобы реализовать возможности широкого кросс-секторального сопоставления и привести показатели субиндексов к сопоставимому виду, в методике ВШЭ, как видно из табл. 1, при расчете перво-

Рис. 12. Индекс цифровизации отраслей экономики и социальной сферы ВШЭ по отраслям за 2021 год  
Fig. 12. Index of the digitalisation of the economy and the social sphere of the Higher School of Economics by industry for 2021



Источник: [Васильковский и др., 2022].

Таблица  
Структура Индекса цифровизации отраслей экономики и социальной сферы ВШЭ  
Table

The composition of the index of digitalisation of the economy and social sphere by the Higher School of Economics

Субиндекс	Вес суб-индекса	Показатели
Использование цифровых технологий	0,3	Удельный вес организаций, использующих облачные сервисы, в общем числе организаций Удельный вес организаций, использующих технологии Интернета вещей, в общем числе организаций Удельный вес организаций, использующих технологию «Цифровой двойник», в общем числе организаций Удельный вес организаций, использующих промышленных роботов/автоматизированные линии, в общем числе организаций Удельный вес организаций, использующих специальные программные средства для проектирования/моделирования (CAD/CAE/CAM/CAO), в общем числе организаций Удельный вес организаций, использующих PLM/PDM-системы, в общем числе организаций Удельный вес организаций, использующих геоинформационные системы, в общем числе организаций Удельный вес организаций, использующих специальные программные средства для управления автоматизированным производством и/или отдельными техническими средствами и технологическими процессами, в общем числе организаций Удельный вес организаций, использующих технологии сбора, обработки и анализа больших данных, в общем числе организаций Удельный вес организаций, использующих технологии ИИ, в общем числе организаций
Цифровизация бизнес-процессов	0,2	Удельный вес организаций, использующих ERP-системы, в общем числе организаций Удельный вес организаций, осуществляющих продажи посредством электронной торговли, в общем числе организаций Удельный вес организаций, использующих цифровые платформы, в общем числе организаций Удельный вес организаций, использующих систему электронного документооборота, в общем числе организаций
Цифровые навыки персонала	0,2	Удельный вес специалистов по ИКТ в численности занятых Удельный вес занятых, владеющих цифровыми навыками на уровне выше базового, в численности занятых
Затраты на внедрение и использование цифровых технологий	0,2	Затраты на внедрение и использование цифровых технологий в % к ВДС Удельный вес затрат на передовые цифровые технологии в общем объеме затрат на использование и внедрение цифровых технологий
Кибербезопасность	0,1	Удельный вес организаций, использующих средства электронной подписи, в общем числе организаций Удельный вес организаций, использующих системы обнаружения вторжения в компьютер или сеть, в общем числе организаций Удельный вес организаций, использующих средства строгой аутентификации, в общем числе организаций Удельный вес организаций, использующих программные/аппаратные средства, препятствующие несанкционированному доступу вредоносных программ из глобальных информационных/локальных вычислительных сетей (брандмауэр), в общем числе организаций

Источник: [Васильковский и др., 2022].

го, второго и пятого субиндексов используются показатели, рассчитанные из удельного веса организаций, использующих тот или иной цифровой инструмент или цифровую технологию. Достаточно очевидным является то, что этот показатель очень чувствителен по отношению к уровню консолидации отраслей. К примеру, если в сельском хозяйстве количественно преобладают малые и средние предприятия, то это приведет к просадке по многим показателям, даже если более половины выпуска отрасли обеспечивают крупными предприятиями, внедрившими цифровые инструменты и технологии. Вместе с тем использование любых поправочных коэффициентов, отражающих рыночную концентрацию и дисперсию создания валовой добавленной стоимости в отрасли, очень сильно усложнило и даже запутало бы методику, по крайней мере при попытке сопоставления основных укрупненных групп отраслей в экономике. Другое дело, что в рамках одной или нескольких близких или однородных групп отраслей это становится уже более

возможным и целесообразным, к примеру в добывающей промышленности, обрабатывающей, передовой (высокотехнологичной).

3. Выводы и рекомендации по разработке индексов цифровой трансформации для промышленных предприятий

Рассмотренные теоретическо-концептуальные аспекты и анализ динамики трех индексов оценки цифровой трансформации промышленных предприятий позволяют говорить об общей продуктивной траектории развития цифровизации промышленности. Однако сам по себе характер имеющихся данных фрагментарный и прерывистый, в силу того что расчет двух индексов уже прекратился (или по крайней мере приостановился), еще один индекс появился совсем недавно и по ним нет как таковой исторической динамики, чтобы можно было говорить о методически корректных со-

поставлениях. Кроме того, ни в одном из существовавших и существующих проектах разработки и измерения уровня цифровизации экономики по отраслям не было представлено достаточно дискретных сопоставлений динамики цифровизации в разрезе отдельных отраслей промышленности. Речь шла либо о единой рубрике промышленного производства (или обрабатывающей промышленности), либо о разделении всей промышленности на несколько максимально укрупненных рубрик: общую переработку, передовую (высокотехнологичную промышленность), добывающую, химическую и нефтегазовую. Поэтому основной результирующий тезис состоит в необходимости разработки единого и релевантного российской практике индекса цифровой трансформации промышленных предприятий с учетом всего того положительного опыта в концептуальных и методических разработках индексов оценки цифровизации, которые удалось наработать исследовательско-аналитическим коллективам международных и российских проектов в этой области.

Представляется также очень важным учесть необходимость стратегического вектора в понимании цифровой трансформации промышленных предприятий. Недостаточно укрупненным образом сгруппировать показатели и назвать их некими субиндексами в качестве основных маркеров цифровой трансформации. С точки зрения статистики такой подход может быть совершенно корректным, достоверным, верифицируемым и даже по-своему элегантным. Но возникает вопрос относительно продуктивного потенциала сгруппированных технологий. Иными словами, как это все работает вместе в создании ценности и к каким инновациям моделей бизнеса это приведет в ближайшие несколько лет. Несомненно, при такой более междисциплинарной постановке вопроса исследователи динамики цифровой трансформации окажутся на более шатком фундаменте, но это неизбежная проблема неопределенности. Цифровая трансформация промышленных предприятий существует не просто как некое нейтральное природное или социальное явление, неосознаваемое или плохо осознаваемое его субъектами. Это очень субъективизированное явление, в центре которого стоит мотивация промышленных предприятий выстоять в условиях конкуренции и обеспечить устойчивость и долгосрочную ценность своего бизнеса. В рамках построения любых индексов и методов оценки динамики цифровой зрелости, цифровизации, цифровой трансформации лучше столкнуться с неизбежной неопределенностью в части потенциала некоторых фронтальных технологий в попытке предвидеть стык технологических факторов и будущих ниш для моделей бизнеса, чем с более ретроспективной логикой в попытке обобщать

уже пройденную траекторию на основе только верифицированной и более апробированной части технологий. Для сектора государственных электронных услуг или образования акцент на фронтальных аспектах оценки динамики цифровой трансформации и проективная функция соответствующих индексов, вероятно, не так нужны. Но для промышленности, особенно высокотехнологичной, отмеченный аспект необходимо учитывать.

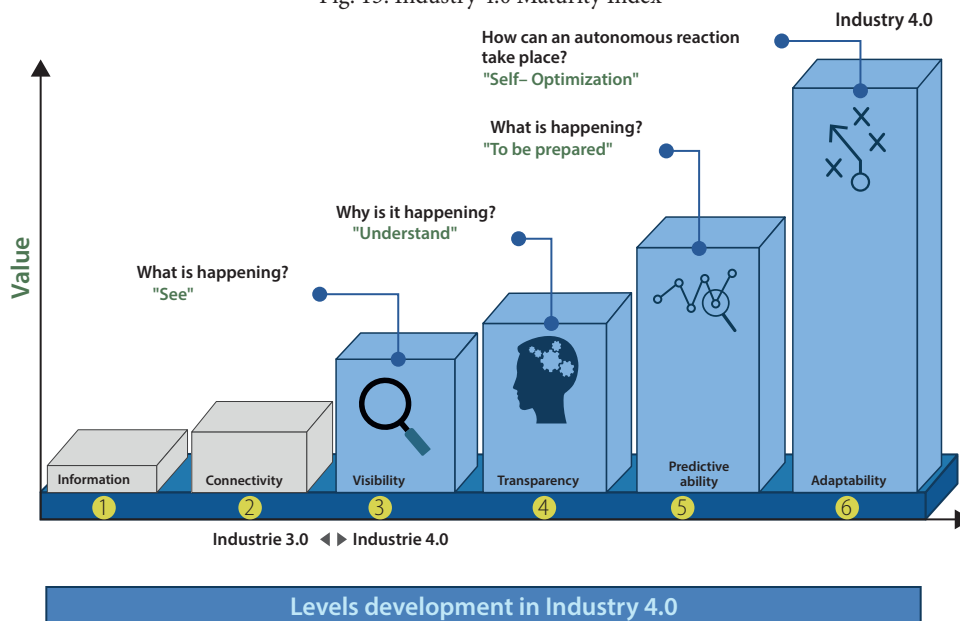
Для того чтобы реализовать проективную функцию индексов, экспертное сообщество должно вовремя убирать устаревшие технологические компоненты, которые более не репрезентативны в качестве маркеров, индикаторов и параметров для характеристики качества сдвига в цифровой трансформации в контексте отдельных отраслей или их укрупненных групп. Иначе не обеспечить корректность сопоставления индексов цифровизации в динамике на более длительных периодах (свыше 3–5 лет), даже если их составление будет обеспечено на базе одного исследовательского коллектива или институции. Для оценки динамики цифровой трансформации промышленных предприятий это особенно важно.

Как итог, при таком изложенном выше подходе индексы цифровой трансформации для промышленных предприятий приобретают проективную и инструментальную функции, поскольку выступают в некотором смысле системой координат и дорожной картой. Они позволяют улучшить стратегическое видение в вопросах достижения более поздних стадий цифровой зрелости у самих компаний из различных отраслей промышленности, а также у их стейкхолдеров, ассоциаций, государственных органов (в первую очередь тех, которые отвечают за цифровизацию и промышленную политику).

Одним из возможных подходов к интерпретации стратегического вектора цифровой трансформации промышлен-

Рис. 13. Индекс зрелости индустрии 4.0

Fig. 13. Industry 4.0 Maturity Index



Источник: [Gärtner, 2018].



ных предприятий являются шесть уровней цифровой трансформации в рамках модели Индекса зрелости индустрии 4.0 [Souhail et al., 2023] (рис. 13). Промышленные предприятия в рамках цифровой эволюции движутся от простой работы с информационными потоками и коммуникации к более глубокому и сквозному пониманию оцифрованных бизнес-процессов. На самых высоких стадиях происходит раскрытие потенциала предиктивности и повышения адаптивности, в том числе способности к инновациям.

Несомненно, путь к индустрии 4.0 будет разным для каждого промышленного предприятия. Каждое промышленное предприятие должно принять стратегические решения относительно преимуществ, которых оно желает достичь, сво-

их приоритетов и последовательности реализации стадий для достижения уровня индустрии 4.0. Поскольку целевое состояние компании будет зависеть от ее бизнес-стратегии, каждая компания должна решить, какой этап представляет собой наилучший баланс между затратами, возможностями и выгодами, принимая во внимание, как эти требования могут меняться с течением времени в ответ на изменения в бизнес-среде. Вместе с тем в разрезе отраслей или групп отраслей промышленного сектора, как представляется, можно говорить о своих значимых универсалиях цифровизации. И тогда становится возможным оценивать в более детальном отраслевом разрезе динамику цифровой трансформации.

## Литература

- Бодрунов С.Д. (2018). Конвергенция технологий – новая основа для интеграции производства, науки и образования. *Экономическая наука современной России*, 80(1): 8–19.
- Васильковский С.А., Ковалева Г.Г., Абдрахманова Г.И., Вишневский К.О., Зинина Т.С., Рудник П.Б. (2022). Индекс цифровизации отраслей экономики и социальной сферы. *Цифровая экономика*, 63. [www.issek.hse.ru](http://www.issek.hse.ru).
- Гилева Т.А. (2019). Цифровая зрелость предприятия: методы оценки и управления. *Вестник УГНТУ. Наука, образование, экономика. Серия: Экономика*, 1(27). <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovaya-zrelost-predpriyatiya-metody-otsenki-i-upravleniya>.
- Горбачев М.И., Петренко А.П., Карпунин Н.А. (2019). Международный опыт определения уровня развития цифровой экономики с помощью индексов. *Управление рисками в АПК*, 2(30): 69–82. <https://doi.org/10.53988/24136573-2019-02-05>.
- Илькевич С.В. (2022). Эвристическая модель «эффективного интерпретатора» в портфельных инвестициях в высокотехнологичные компании. *Стратегические решения и риск-менеджмент*, 13(2): 116–128. <https://doi.org/10.17747/2618-947X-2022-2-116-128>.
- Илькевич С.В. (2023). Интегративная теория жизненного цикла технологий четвертой промышленной революции. *Экономические науки*, 10(227): 44–54. <https://doi.org/10.14451/1.227.44>.
- Кобзев В.В., Бабкин А.В., Скоробогатов А.С. (2022). Цифровая трансформация промышленных предприятий в условиях новой реальности. *π-Еconomy*, 15(5): 7–27. <https://doi.org/10.18721/JE.15501>.
- Печаткин В.В., Вильданова Л.М. (2021). Уровень цифровизации видов экономической деятельности как фактор их конкурентоспособности в условиях пандемии. *Вопросы инновационной экономики*, 11(1): 47–60. <https://doi.org/10.18334/vinec.11.1.111893>.
- Трачук А.В., Линдер Н.В. (2020). Влияние технологий индустрии 4.0 на повышение производительности и трансформацию инновационного поведения промышленных компаний. *Стратегические решения и риск-менеджмент*, 2(11): 132–149. <https://doi.org/10.17747/2618-947X-2020-2-132-149>.
- Трачук А.В., Линдер Н.В. (2023). Внедрение цифровых платформ промышленными компаниями как источник конкурентных преимуществ. *Стратегические решения и риск-менеджмент*, 14(1): 18–32. <https://doi.org/10.17747/2618-947X-2023-1-18-32>.
- Acciarini C., Borelli F., Capo F., Cappa F., Sarrocco C. (2022). Can digitalization favour the emergence of innovative and sustainable business models? A qualitative exploration in the automotive sector. *Journal of Strategy and Management*, 15( 3): 335–352. <https://doi.org/10.1108/JSMA-02-2021-0033>.
- Anackovski F., Kostov M., Pasic R., Kuzmanov I. (2021). The impact of Industry 4.0 on education and future jobs. In: *56th International Scientific Conference on Information, Communication and Energy Systems and Technologies*, 185–188. <https://doi.org/10.1109/ICEST52640.2021.9483516>.
- Atkins C., White O., Padhi A., Ellingrud K., Madgavkar A., Neary M. (2023). *Rekindling US productivity for a new era*. McKinsey Global Institute, February 16. <https://www.mckinsey.com/mgi/our-research/rekindling-us-productivity-for-a-new-era>.
- Bonini V., Galelli P., Minetto A., Morbiducci R., Delponte I. (2019). Effects of the digital transformation on the contemporary city project. *Rivista Tema*, 5(1): 61–71. <https://doi.org/10.30682/tema0501f>.
- Bota-Avram C. (2023). Agenda for future research and conclusions. In: *Science mapping of digital transformation in business. SpringerBriefs in business*. Cham, Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-26765-9\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-031-26765-9_6).
- Chen X., Han T. (2019). Disruptive technology forecasting based on Gartner Hype Cycle. In: *2019 IEEE Technology & Engineering Management Conference*. Atlanta, GA, 1–6. <https://doi.org/10.1109/TEMSCON.2019.8813649>.
- Dedehayir O., Steinert M. (2016). The hype cycle model: A review and future directions. *Technological Forecasting and Social Change*, 108: 28–41. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.04.005>.

- Ferreira F., Faria J., Azevedo A., Marques A.L. (2021). Product lifecycle management enabled by industry 4.0 Technology. *Advances in Transdisciplinary Engineering*, 3(Advances in Manufacturing Technology): 349–354. <https://doi.org/10.3233/978-1-61499-668-2-349>.
- Gärtner B. (2018). *Industry 4.0 maturity index: A new index provides companies with guidance for carrying out the transformation to Industry 4.0*. ASSEMBLY, November 6. <https://www.assemblymag.com/articles/94546-industry-40-maturity-index>.
- Global smart industry readiness index initiative (2021). *World Economic Forum*. <https://www.weforum.org/projects/global-smart-industry-readiness-index-initiative/>.
- Gordon R.J. (2018). Why has economic growth slowed when innovation appears to be accelerating? *NBER*, Working Paper w24554. <https://ssrn.com/abstract=3170773>.
- Grenčíková A., Kordoš M., Berkovič V. (2020). The impact of Industry 4.0 on jobs creation within the small and medium-sized enterprises and family businesses in Slovakia. *Administrative Sciences*, 10(3): 71. <https://doi.org/10.3390/admsci10030071>.
- Guo X., Li M., Wang Y., Mardani A. (2023). Does digital transformation improve the firm's performance? From the perspective of digitalization paradox and managerial myopia. *Journal of Business Research*, 163: 113868. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2023.113868>.
- Kim B. (2003). Managing the transition of technology life cycle. *Technovation*, 23(5): 371–381. [https://doi.org/10.1016/S0166-4972\(02\)00168-2](https://doi.org/10.1016/S0166-4972(02)00168-2).
- Kondo Y., Asatani K., Sakata I. (2022). Evaluating emerging technologies on the Gartner Hype Cycle by network analysis: A display technology case study. In: *Portland International Conference on Management of Engineering and Technology*. Portland, OR, 1–11. <https://doi.org/10.23919/PICMET53225.2022.9882631>.
- Kregel I., Koch J., Plattfaut R. (2021). Beyond the hype: Robotic process automation's public perception over time. *Journal of Organizational Computing and Electronic Commerce*, 31(2): 130–150. <https://doi.org/10.1080/10919392.2021.1911586>.
- Nambisan S., Wright M., Feldman M. (2019). The digital transformation of innovation and entrepreneurship: Progress, challenges and key themes. *Research Policy*, 48(8): 103773. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2019.03.018>.
- Priestley M., Sluckin T.J., Tiropanis T. (2020). Innovation on the web: The end of the S-curve? *Internet Histories*, 4(4): 390–412.
- Souhail S., Ibtissam E.H., Anass C. (2023). Maturity models as a support for Industry 4.0 implementation: Literature review. In: Masrour T., El Hassani I., Barka N. (eds.). *Artificial intelligence and industrial applications. Lecture notes in networks and systems*. Cham, Springer, vol. 771. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-43524-9\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-031-43524-9_9).
- Suarez-Fernandez de Miranda S., Aguayo-González F., Salguero-Gómez J., Ávila-Gutiérrez M.J. (2020). Life cycle Engineering 4.0: A proposal to conceive manufacturing systems for Industry 4.0 Centred on the human Factor (DfHFinI4.0). *Applied Sciences*, 10(13): 4442. <https://doi.org/10.3390/app10134442>.
- Taylor M., Taylor A. (2012). The technology life cycle: Conceptualization and managerial implications. *International Journal of Production Economics*, 140(1): 541–553. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.07.006>.
- The Global smart industry readiness initiative: Manufacturing transformation insights report 2022 (2022). *World Economic Forum*, White Paper, February. [https://www3.weforum.org/docs/WEF\\_The\\_Global\\_Smart\\_Industry\\_Readiness\\_Index\\_Initiative\\_2022.pdf](https://www3.weforum.org/docs/WEF_The_Global_Smart_Industry_Readiness_Index_Initiative_2022.pdf).
- Titov S., Trachuk A., Linder N., Pathak R.D., Samson D., Husain Z., Sushil S. (2023). Digital transformation enablers in high-tech and low-tech companies: A comparative analysis. *Australian Journal of Management*, 48(4): 801–843. <https://doi.org/10.1177/03128962231157102>.
- Unleashing business model innovation in US manufacturing report 2023 (2023). *World Economic Forum*, White Paper, November. [https://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Unleashing\\_Business\\_Model\\_Innovation\\_in\\_US\\_Manufacturing\\_2023.pdf](https://www3.weforum.org/docs/WEF_Unleashing_Business_Model_Innovation_in_US_Manufacturing_2023.pdf).
- Van Heerden L. *Which industries are the most digital, and why?* (2019). <https://journeyapps.com/blog/which-industries-most-digital-why/>.
- Xu X., Lu Y., Vogel-Heuser B., Wang L. (2021). Industry 4.0 and Industry 5.0 – Inception, conception and perception. *Journal of Manufacturing Systems*, 61: 530–535. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.10.006>.

## References

- Bodrunov S.D. (2018). Convergence of technologies is a new basis for the integration of production, science and education. *Economic Science of Modern Russia*, 80(1): 8–19. (In Russ.)
- Vasilkovsky S.A., Kovaleva G.G., Abdrakhmanova G.I., Vishnevsky K.O., Zinina T.S., Rudnik P.B. (2022). Index of digitalization of economic and social sectors. *Digital Economy*, 63. [www.issek.hse.ru](http://www.issek.hse.ru). (In Russ.)
- Gileva T.A. (2019). Digital maturity of an enterprise: methods of assessment and management. *Bulletin of USNTU. Science, Education, Economics. Series: Economics*, 1(27). <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovaya-zrelost-predpriyatiya-metody-otsenki-i-upravleniya>. (In Russ.)
- Gorbachev M.I., Petrenko A.P., Karpunin N.A. (2019). International experience in determining the level of development of the digital economy using indices. *Risk Management in Agro-industrial Complex*, 2(30): 69–82. <https://doi.org/10.53988/24136573-2019-02-05>. (In Russ.)

- Ilkevich S.V. (2022). Heuristic model of “effective interpreter” in portfolio investment in high-tech companies. *Strategic Decisions and Risk Management*, 13(2): 116-128. <https://doi.org/10.17747/2618-947X-2022-2-116-128>. (In Russ.)
- Ilkevich S.V. (2023). An integrative theory of the technology life cycle of the fourth industrial revolution. *Economic Sciences*, 10(227): 44-54. <https://doi.org/10.14451/1.227.44>. (In Russ.)
- Kobzev V.V., Babkin A.V., Skorobogatov A.S. (2022). Digital transformation of industrial enterprises in the new reality. *π-Economy*, 15(5): 7-27. <https://doi.org/10.18721/JE.15501>. (In Russ.)
- Pechatkin V.V., Vildanova L.M. (2021). The level of digitalization of economic activities as a factor of their competitiveness in a pandemic. *Issues of Innovation Economics*, 11(1): 47-60. <https://doi.org/10.18334/vinec.11.1.111893>. (In Russ.)
- Trachuk A.V., Linder N.V. (2020). The impact of technologies of the Industry 4.0 on increase of productivity and transformation of innovative behavior of the industrial companies. *Strategic Decisions and Risk Management*, 11(2): 132-149. (In Russ.)
- Trachuk A.V., Linder N.V. (2023). Introduction of digital platforms by industrial companies as a source of competitive advantages. *Strategic Decisions and Risk Management*, 14(1): 18-32. <https://doi.org/10.17747/2618-947X-2023-1-18-32>. (In Russ.)
- Acciarini C., Borelli F., Capo F., Cappa F., Sarrocco C. (2022). Can digitalization favour the emergence of innovative and sustainable business models? A qualitative exploration in the automotive sector. *Journal of Strategy and Management*, 15( 3): 335-352. <https://doi.org/10.1108/JSMA-02-2021-0033>.
- Anackovski F., Kostov M., Pasic R., Kuzmanov I. (2021). The impact of Industry 4.0 on education and future jobs. In: *56th International Scientific Conference on Information, Communication and Energy Systems and Technologies*, 185-188. <https://doi.org/10.1109/ICEST52640.2021.9483516>.
- Atkins C., White O., Padhi A., Ellingrud K., Madgavkar A., Neary M. (2023). *Rekindling US productivity for a new era*. McKinsey Global Institute, February 16. <https://www.mckinsey.com/mgi/our-research/rekindling-us-productivity-for-a-new-era>.
- Bonini V., Galelli P., Minetto A., Morbiducci R., Delponte I. (2019). Effects of the digital transformation on the contemporary city project. *Rivista Tema*, 5(1): 61-71. <https://doi.org/10.30682/tema0501f>.
- Bota-Avram C. (2023). Agenda for future research and conclusions. In: *Science mapping of digital transformation in business. SpringerBriefs in business*. Cham, Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-26765-9\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-031-26765-9_6).
- Chen X., Han T. (2019). Disruptive technology forecasting based on Gartner Hype Cycle. In: *2019 IEEE Technology & Engineering Management Conference*. Atlanta, GA, 1-6. <https://doi.org/10.1109/TEMSCON.2019.8813649>.
- Dedehayir O., Steinert M. (2016). The hype cycle model: A review and future directions. *Technological Forecasting and Social Change*, 108: 28-41. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.04.005>.
- Ferreira F., Faria J., Azevedo A., Marques A.L. (2021). Product lifecycle management enabled by industry 4.0 Technology. *Advances in Transdisciplinary Engineering*, 3(Advances in Manufacturing Technology): 349-354. <https://doi.org/10.3233/978-1-61499-668-2-349>.
- Gärtner B. (2018). *Industry 4.0 maturity index: A new index provides companies with guidance for carrying out the transformation to Industry 4.0*. ASSEMBLY, November 6. <https://www.assemblymag.com/articles/94546-industry-40-maturity-index>.
- Global smart industry readiness index initiative (2021). *World Economic Forum*. <https://www.weforum.org/projects/global-smart-industry-readiness-index-initiative/>.
- Gordon R.J. (2018). Why has economic growth slowed when innovation appears to be accelerating? *NBER*, Working Paper w24554. <https://ssrn.com/abstract=3170773>.
- Grenčíková A., Kordoš M., Berkovič V. (2020). The impact of Industry 4.0 on jobs creation within the small and medium-sized enterprises and family businesses in Slovakia. *Administrative Sciences*, 10(3): 71. <https://doi.org/10.3390/admsci10030071>.
- Guo X., Li M., Wang Y., Mardani A. (2023). Does digital transformation improve the firm’s performance? From the perspective of digitalization paradox and managerial myopia. *Journal of Business Research*, 163: 113868. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2023.113868>.
- Kim B. (2003). Managing the transition of technology life cycle. *Technovation*, 23(5): 371-381. [https://doi.org/10.1016/S0166-4972\(02\)00168-2](https://doi.org/10.1016/S0166-4972(02)00168-2).
- Kondo Y., Asatani K., Sakata I. (2022). Evaluating emerging technologies on the Gartner Hype Cycle by network analysis: A display technology case study. In: *Portland International Conference on Management of Engineering and Technology*. Portland, OR, 1-11. <https://doi.org/10.23919/PICMET53225.2022.9882631>.
- Kregel I., Koch J., Plattfaut R. (2021). Beyond the hype: Robotic process automation’s public perception over time. *Journal of Organizational Computing and Electronic Commerce*, 31(2): 130-150. <https://doi.org/10.1080/10919392.2021.1911586>.
- Nambisan S., Wright M., Feldman M. (2019). The digital transformation of innovation and entrepreneurship: Progress, challenges and key themes. *Research Policy*, 48(8): 103773. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2019.03.018>.
- Priestley M., Sluckin T.J., Tiropanis T. (2020). Innovation on the web: The end of the S-curve? *Internet Histories*, 4(4): 390-412.
- Souhail S., Ibtissam E.H., Anass C. (2023). Maturity models as a support for Industry 4.0 implementation: Literature review. In: Masrour T., El Hassani I., Barka N. (eds.). *Artificial intelligence and industrial applications. Lecture notes in networks and systems*. Cham, Springer, vol. 771. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-43524-9\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-031-43524-9_9).

Suarez-Fernandez de Miranda S., Aguayo-González F., Salguero-Gómez J., Ávila-Gutiérrez M.J. (2020). Life cycle Engineering 4.0: A proposal to conceive manufacturing systems for Industry 4.0 Centred on the human Factor (DfHFin4.0). *Applied Sciences*, 10(13): 4442. <https://doi.org/10.3390/app10134442>.

Taylor M., Taylor A. (2012). The technology life cycle: Conceptualization and managerial implications. *International Journal of Production Economics*, 140(1): 541-553. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.07.006>.

The Global smart industry readiness initiative: Manufacturing transformation insights report 2022 (2022). *World Economic Forum*, White Paper, February. [https://www3.weforum.org/docs/WEF\\_The\\_Global\\_Smart\\_Industry\\_Readiness\\_Index\\_Initiative\\_2022.pdf](https://www3.weforum.org/docs/WEF_The_Global_Smart_Industry_Readiness_Index_Initiative_2022.pdf).

Titov S., Trachuk A., Linder N., Pathak R.D., Samson D., Husain Z., Sushil S. (2023). Digital transformation enablers in high-tech and low-tech companies: A comparative analysis. *Australian Journal of Management*, 48(4): 801-843. <https://doi.org/10.1177/03128962231157102>.

Unleashing business model innovation in US manufacturing report 2023 (2023). *World Economic Forum*, White Paper, November. [https://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Unleashing\\_Business\\_Model\\_Innovation\\_in\\_US\\_Manufacturing\\_2023.pdf](https://www3.weforum.org/docs/WEF_Unleashing_Business_Model_Innovation_in_US_Manufacturing_2023.pdf).

Van Heerden L. *Which industries are the most digital, and why?* (2019). <https://journeyapps.com/blog/which-industries-most-digital-why/>.

Xu X., Lu Y., Vogel-Heuser B., Wang L. (2021). Industry 4.0 and Industry 5.0 - Inception, conception and perception. *Journal of Manufacturing Systems*, 61: 530-535. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.10.006>.

## Информация об авторе

### Сергей Викторович Илькевич

Кандидат экономических наук, доцент кафедры стратегического и инновационного развития, ведущий научный сотрудник Института управленческих исследований и консалтинга, Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации (Москва, Россия). ORCID: 0000-0002-8187-8290; Scopus ID: 56028209600; SPIN: 6655-7300.

Область научных интересов: инновации и бизнес-модели, международный бизнес, цифровая трансформация отраслей, экономика совместного пользования, фондовый рынок, портфельные инвестиции, экономика впечатлений, интернационализация образования.

SVIlkevich@fa.ru

## About the author

### Sergey V. Ilkevich

Candidate of economic sciences, associate professor at the Chair of Strategic and Innovative Development, leading researcher at the Institute for Management Studies and Consulting, Financial University under the Government of the Russian Federation (Moscow, Russia). ORCID: 0000-0002-8187-8290; Scopus ID: 56028209600; SPIN: 6655-7300.

Research interests: innovations and business models, international business, digital transformation of industries, sharing economy, stock market, portfolio investment, experience economy, internationalisation of education.

SVIlkevich@fa.ru

## 作者信息

### Sergey V. Ilkevich

经济学副博士，战略与创新发​​展系副教授，管理研究与咨询研究所主要研究员，俄罗斯联邦政府财政金融大学（俄罗斯·莫斯科）。ORCID: 0000-0002-8187-8290; Scopus ID: 56028209600; SPIN: 6655-7300.

科研兴趣领域：创新与商业模式、国际业务、行业数字化转型、共享经济、股票市场、投资组合、体验经济、教育国际化。

SVIlkevich@fa.ru

Статья поступила в редакцию 30.01.24; после рецензирования 18.02.24 принята к публикации 20.02.24. Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

The article was submitted on 30.01.24; revised on 18.02.24 and accepted for publication on 20.02.24. The author read and approved the final version of the manuscript.

文章于 30.01.24 提交给编辑。文章于 18.02.24 已审稿。之后于 20.02.24 接受发表。作者已经阅读并批准了手稿的最终版本。