

УДК 330.341, 334.7



Эффективность цифровых взаимодействий производственной организации: транзакционная томография

Е.В. Попов¹
В.Л. Симонова¹
М.А. Пекин^{1,2}

¹ Уральский институт управления – филиал РАНХиГС (Екатеринбург, Россия)
² ООО «СЗ “УГМК-Навигатор”» (Екатеринбург, Россия)

Аннотация

Статья посвящена разработке методического подхода к оценке эффективности цифровых взаимодействий производственной организации в условиях цифровой трансформации, платформизации и развития экосистемных форм координации. Актуальность исследования обусловлена тем, что традиционные показатели эффективности недостаточно полно отражают результативность организации в цифро-сетевой среде, где ключевое значение приобретают скорость, связность, прозрачность, стоимость и завершенность цифровых взаимодействий между внутренними подразделениями и внешними участниками. Цель исследования состоит в разработке интегрального показателя и системы частных показателей эффективности цифровых взаимодействий производственной организации на основе метода транзакционной томографии. Методологическую основу работы составляет функциональный анализ, позволяющий рассматривать цифровые взаимодействия как совокупность транзакций, выполняющих координационные, информационные, контрольные, согласовательные и адаптационные функции. В статье предложена понятийная схема транзакционной томографии как метода многомерного послыного анализа цифровых взаимодействий по субъектному, функциональному, процессному, временному, стоимостному, структурному, результативному и экосистемному срезам. Разработана система частных показателей, объединенных в шесть блоков: временная эффективность, стоимостная эффективность, структурная эффективность, функциональная полнота, результативность транзакций и экосистемная синхронизация. На этой основе предложены интегральный индекс эффективности цифровых взаимодействий и томографический коэффициент эффективности, позволяющие осуществлять комплексную диагностику цифровой архитектуры производственной организации, выявлять узкие места, избыточные контуры согласования, перегруженные узлы и зоны низкой межорганизационной согласованности. Научная новизна исследования заключается в представлении цифровых взаимодействий как многомерной транзакционной структуры, подлежащей количественной оценке средствами томографического анализа. Практическая значимость работы состоит в возможности использования предложенного инструментария для аудита цифровых взаимодействий, мониторинга цифровой трансформации, реинжиниринга бизнес-процессов, управления цепями поставок и совершенствования систем контроллинга производственных организаций.

Ключевые слова: цифровая трансформация, цифровые взаимодействия, оценка эффективности, интегральный индекс эффективности, цифровая платформизация, промышленные экосистемы, межорганизационная координация, реинжиниринг бизнес-процессов

Для цитирования:

Попов Е.В., Симонова В.Л., Пекин М.А. (2026). Эффективность цифровых взаимодействий производственной организации: транзакционная томография. *Стратегические решения и риск-менеджмент*. 2026; 17(2).

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда и правительства Свердловской области № 24-18-20036, <https://rscf.ru/project/24-18-20036/>.

Efficiency of Digital Interactions in a Manufacturing Organization: Transactional Tomography

E.V. Popov¹
V.L. Simonova¹
M.A. Pekin^{1,2}

¹ Ural Institute of Management, Branch of RANEP (Ekaterinburg, Russia)
² UMMC-Navigator Specialized Developer LLC, (Ekaterinburg, Russia)

Abstract

The article develops a methodological approach to assessing the efficiency of digital interactions within a manufacturing organization amid digital transformation, platformization, and the emergence of ecosystem-based forms of coordination. The relevance of the study stems from the inability of traditional performance indicators to adequately capture organizational performance in a digitally networked environment, where the speed, connectivity, transparency, cost, and completion of digital interactions between internal units and external actors become increasingly important. The study aims to develop a composite indicator and a system of component indicators for assessing the efficiency of digital interactions within a manufacturing organization based on transactional tomography. The methodological framework is based on functional analysis, which allows digital interactions to be viewed as a set of transactions performing coordination, infor-

mation-sharing, control, alignment, and adaptation functions. The article proposes a conceptual framework for transactional tomography as a method for analyzing digital interactions across multiple layers and dimensions: actor, functional, process, temporal, cost, structural, performance, and ecosystem. A system of component indicators is developed and organized into six groups: time efficiency, cost efficiency, structural efficiency, functional coverage, transaction performance, and ecosystem synchronization. On this basis, the study proposes a composite digital interaction efficiency index and a tomographic efficiency coefficient. These measures enable a comprehensive assessment of the digital architecture of a manufacturing organization and help identify bottlenecks, redundant approval paths, overloaded nodes, and areas of weak interorganizational alignment. The novelty of the study lies in conceptualizing digital interactions as a multidimensional transactional structure that can be quantitatively assessed using tomographic analysis. The practical significance of the proposed framework lies in its applicability to digital interaction audits, digital transformation monitoring, business process reengineering, supply chain management, and the improvement of management control systems in manufacturing organizations.

Keywords: digital transformation, digital interactions, efficiency assessment, composite efficiency index, digital platformization, industrial ecosystems, interorganizational coordination, business process reengineering

For citation:

Popov E.V., Simonova V.L., Pekin M.A. (2026). Efficiency of Digital Interactions in a Manufacturing Organization: Transactional Tomography. *Strategic Decisions and Risk Management*. 2026; 17(2).

Acknowledgements

The study was supported by the Russian Science Foundation and the Government of Sverdlovsk Region, grant No. 24-18-20036, <https://rscf.ru/project/24-18-20036/>.

制造型组织数字化互动效率：交易层析分析

E.V. Popov¹
V.L. Simonova¹
M.A. Pekin^{1,2}

¹ 俄罗斯总统国民经济与公共管理学院乌拉尔管理学院分院 (叶卡捷琳堡, 俄罗斯)
² UMMC-Navigator专业开发商有限责任公司 (叶卡捷琳堡, 俄罗斯)

摘要

本文旨在构建一种适用于数字化转型、平台化及生态系统型协调发展背景的制造型组织数字化互动效率评估方法框架。本研究的重要性在于，传统效率指标难以充分反映组织在数字网络环境中的实际运行绩效。在这一环境中，内部部门与外部参与者之间数字化互动的速度、连通性、透明度、成本及完成度具有关键意义。研究目的在于基于交易层析分析法，构建制造型组织数字化互动效率的综合指标及分项指标体系。本文以功能分析法为方法论基础，将数字化互动视为一系列承担协调、信息传递、控制、协同和适应性调节功能的交易。文章提出了交易层析分析的概念框架，并将其界定为一种从主体、功能、流程、时间、成本、结构、绩效及生态系统等维度对数字化互动进行多维分层分析的方法。本文构建了一套分项指标体系，并将其划分为六个模块：时间效率、成本效率、结构效率、功能覆盖度、交易绩效及生态系统同步。在此基础上，文章提出了数字化互动综合效率指数和交易层析效率系数。上述指标可用于对制造型组织的数字化互动架构进行综合诊断，并识别瓶颈环节、冗余审批路径、过载节点以及跨组织协同不足的环节。本研究的学术创新在于，将数字化互动视为一种可通过层析分析进行量化评估的多维交易结构。研究的实践意义在于，所提出的工具体系可用于数字化互动审计、数字化转型监测、业务流程再造、供应链管理以及制造型组织管理控制系统的完善。

关键词: 数字化转型, 数字化互动, 效率评估, 综合效率指数, 数字平台化, 工业生态系统, 跨组织协同, 业务流程再造。

引用格式:

Popov E.V., Simonova V.L., Pekin M.A. (2026). 制造型组织数字化互动效率：交易层析分析. *战略决策与风险管理*. 2026; 17(2).

致谢

本研究得到俄罗斯科学基金会与斯维尔德洛夫斯克州政府联合资助，项目编号：24-18-20036，<https://rscf.ru/project/24-18-20036/>。

Введение

Научный интерес к цифровым взаимодействиям между акторами производственной экосистемы обусловлен тем обстоятельством, что именно они становятся операционным носителем координации в условиях платформизации, индустрии 4.0 и перехода к данным как фактору производства, тогда как традиционные показатели эффективности во многих случаях уже не позволяют адекватно измерять реальную результативность организации в цифро-сетевой среде [Bharadwaj et al., 2013; Vial, 2019; Verhoef et al., 2021].

Актуальность темы усиливается в производственном секторе, где цифровизация взаимодействий предполагает формирование экосистемных контуров управления, в которых данные циркулируют между множеством участников в режиме, близком к реальному времени. В этих условиях эффективность производственной организации дополни-

тельно определяется тем, насколько оптимально организованы цифровые взаимодействия, насколько они прозрачны, воспроизводимы, экономичны по транзакционным издержкам и устойчивы к структурным сдвигам.

Вместе с тем в научной литературе сохраняется существенная проблема, состоящая в том, что имеется разрыв между теоретическим признанием значения цифровых взаимодействий и недостаточной разработанностью инструментов их аналитической визуализации и количественной оценки в терминах транзакционной структуры.

Решением этой проблемы выступает применение метода транзакционной томографии, под которым в рамках настоящего исследования понимается аналитический подход к многомерному «послойному» изучению цифровых взаимодействий производственной организации как совокупности транзакций, различаемых по различным параметрам.

Следовательно, научная проблема исследования заключается в отсутствии интегрального показателя либо системы показателей, которые позволяли бы оценивать эффективность цифровых взаимодействий при использовании метода транзакционной томографии.

Цель исследования состоит в разработке интегрального показателя, а также системы частных показателей эффективности цифровых взаимодействий производственной организации при использовании метода транзакционной томографии.

Для достижения поставленной цели в статье решаются следующие задачи: во-первых, анализируется современное состояние англоязычных исследований 2020–2026 годов, посвященных цифровым взаимодействиям, транзакционному описанию и возможностям томографического подхода; во-вторых, обосновываются методологические основания исследования и вводится понятийная схема транзакционной томографии цифровых взаимодействий; в-третьих, разрабатывается система показателей и интегральный индекс эффективности цифровых взаимодействий; в-четвертых, раскрываются возможности прикладного использования предложенных показателей в управлении производственной организацией.

1. Томографический анализ цифровых взаимодействий

В англоязычной литературе 2020–2026 годов устойчиво усиливается тезис о том, что реальное содержание цифровой трансформации состоит в переустройстве взаимодействий между акторами, процессами и потоками данных [Vial, 2019; Verhoef et al., 2021].

На производственном уровне исследования [Frank et al., 2019; Culot et al., 2020; Sony, Naik, 2020; Tortorella et al., 2020] показали, что экономическая результативность предприятия зависит от конфигурации цифровых взаимодействий в меньшей степени, чем от технического оснащения. В исследованиях [Nambisan et al., 2019; Rai et al., 2019; Baskerville et al., 2020] подчеркивается, что цифровые взаимодействия обладают модульной, реконфигурируемой природой и создают условия для появления новых механизмов координации, которые не могут быть адекватно измерены традиционными показателями организационной эффективности.

Для производственной организации значимость цифровых взаимодействий проявляется через: снижение транзакционных издержек поиска, согласования и контроля; ускорение логистической и производственной синхронизации; повышение прозрачности исполнения операций; рост адаптивности при изменении заказов, поставок или технологических режимов; интеграцию в экосистемы платформенного типа. Подобные выводы подтверждаются исследованиями [Cennamo et al., 2020; Hein et al., 2020; Trabucchi, Buganza, 2021], которые трактуют цифровые экосистемы как среды, в которых ценность возникает в конфигурации ее связей и обменов, а также работами отечественных авторов [Кузнецова, 2022; Ховалова, 2022].

Именно поэтому для производственной организации вопрос эффективности цифровых взаимодействий явля-

ется вопросом экономической архитектуры предприятия. Если цифровые взаимодействия структурированы, стандартизированы, наблюдаемы и управляемы, то возникает предпосылка для роста совокупной эффективности. Однако для перехода от этого общего тезиса к измеримому аналитическому инструменту требуется специальное транзакционное описание цифровых взаимодействий.

Теоретической основой транзакционного описания цифровых взаимодействий выступают классические положения теории транзакционных издержек, восходящие к [Coase, 1937; Williamson, 1985], и современные исследования цифровых платформ, данных и организационных сетей. В новейших работах по цифровой экономике транзакция все чаще рассматривается как единица координации [Yoo et al., 2010; Nambisan et al., 2019; Gawer, 2021]. Для производственной организации это означает, что большая часть значимых взаимодействий уже существует в цифровом следе и может быть реконструирована как набор транзакций.

Хотя в исследованиях [Martin et al., 2016; Van der Aalst, 2016; Berti et al., 2020] не всегда используют термин «транзакционная томография», показано, что события формируют важную методическую предпосылку: цифровые взаимодействия поддаются декомпозиции на наблюдаемые транзакции, каждая из которых имеет атрибуты времени, участника, функции, объекта, результата и стоимости.

Существенный вклад в развитие представлений о транзакционной природе цифровой координации внесли исследования платформенной экономики и цифровых экосистем. В работе [Jacobides et al., 2018] показано, что экосистемы представляют собой структуры взаимозависимых компонентарностей. Авторы статей [Tiwana, 2014; Wareham et al., 2014; Adner, 2017; Kapoor, 2018] и более поздних публикаций [Shipilov, Gawer, 2020; Hannah, Eisenhardt, 2021; Autio, 2022] подчеркивают, что функционирование цифровой экосистемы зависит от способности акторов осуществлять повторяющиеся взаимодействия через относительно стабильные архитектуры обмена. Следовательно, цифровое взаимодействие может быть понято как последовательность транзакций, встроенных в институциональную и технологическую архитектуру экосистемы.

Заказ поставщику, подтверждение спецификации, передача данных о загрузке оборудования, уведомление о завершении операции, цифровая регистрация несоответствия, согласование переналадки, подтверждение отгрузки, уведомление сервисного инженера – все это транзакции, которые могут быть классифицированы. Таким образом, цифровые взаимодействия производственной организации целесообразно трактовать как структурированную совокупность транзакций, образующих динамическую сеть экономических отношений.

Здесь проблема целостного многосрезового описания цифровых взаимодействий остается открытой, возникает необходимость введения томографического анализа. Адаптация логики томографии из общего научного контекста в экономический и управленческий анализ означает возможность изучать цифровые взаимодействия как многомерное пространство транзакций, в котором могут быть выде-

лены различные аналитические срезы [Попов и др., 2026а; 2026б].

Определенные предпосылки для подобного подхода можно обнаружить в работах, посвященных многослойным сетям, цифровым следам и организационной аналитике. Так, в [Kivelä et al., 2014] разработаны основы анализа многослойных сетей, а в [Battiston et al., 2021] показано, что многослойная структура взаимодействий позволяет точнее анализировать сложные системы по сравнению с одномерными графами. В области цифрового управления производством авторы статей [Barykin et al., 2021; Ivanov, Dolgui, 2021; Dolgui, Ivanov, 2022] демонстрируют, что устойчивость и результативность цепей поставок и производственных систем существенно зависят от конфигурации межуровневых и межфункциональных цифровых связей. В исследованиях по цифровым двойникам и интеллектуальному производству также прослеживается идея необходимости «просвечивания» процесса по слоям [Min et al., 2019; Tao et al., 2019; Leng et al., 2021].

В рамках настоящего исследования транзакционная томография определяется как метод функционального анализа цифровых взаимодействий производственной организации, основанный на реконструкции, классификации и оценке совокупности транзакций в системе многомерных аналитических срезов [Попов и др., 2026а; 2026б]. Основное достоинство – переход от абстрактного тезиса о важности цифровых взаимодействий к операционализованному измерению их эффективности.

На сегодняшний день выделяется следующая проблема при анализе цифровых взаимодействий: отсутствие показателей эффективности цифровых взаимодействий производственной организации при использовании метода транзакционной томографии.

Обзор литературы показывает, что в англоязычном научном поле отсутствует общепринятая система показателей, предназначенная именно для оценки эффективности цифровых взаимодействий производственной организации на основе метода транзакционной томографии. Существующие подходы либо фокусируются на цифровой зрелости предприятия [Warner, Wäger, 2019; Gong, Ribiere, 2021], либо оценивают платформенную производительность и экосистемное создание ценности [Ceccagnoli et al., 2012; Sennamo, 2021], либо анализируют процессы по журналам событий без выхода на интегральную оценку межтранзакционной эффективности [Van der Aalst, 2016; Berti et al., 2020], либо рассматривают устойчивость цифровых цепей поставок [Ivanov, Dolgui, 2021], но не предлагают специального индекса, интегрирующего различные показатели.

Именно этот пробел и призвано восполнить настоящее исследование. Мы исходим из того, что для производственной организации необходим не один изолированный показатель, а система частных индикаторов, интегрируемых в сводный индекс эффективности цифровых взаимодействий при томографическом анализе. Такая система должна, с одной стороны, отражать многомерность цифрового взаимодействия как транзакционной структуры, а с другой – быть достаточно компактной и интерпретируемой для практического использования в управлении.

2. МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования выступают экосистемные цифровые взаимодействия производственной организации, понимаемые как совокупность устойчиво воспроизводимых цифровых опосредованных связей между внутренними и внешними участниками создания, движения и сопровождения производственной ценности.

Предметом исследования являются экономические отношения по развитию управления экосистемными цифровыми взаимодействиями при использовании транзакционной томографии.

Метод исследования – функциональный анализ, который позволяет рассматривать цифровые взаимодействия через выполняемые ими координационные, информационные, контрольные, согласовательные, распределительные и адаптационные функции. Его применение в данном контексте обосновано тем, что цифровая транзакция в производственной организации является функциональной единицей координации, обслуживающей определенный этап воспроизводственного или управленческого процесса. Следовательно, эффективность цифровых взаимодействий должна измеряться через то, насколько успешно совокупность транзакций реализует соответствующие функции с точки зрения времени, затрат, связности, полноты и результативности.

Информационную базу исследования составили: статьи в открытом доступе, проиндексированные в базах данных e-Library и ScienceDirect; англоязычные исследования 2020–2026 годов; авторские разработки, касающиеся дифференциации экосистемных цифровых взаимодействий, принципов и идей транзакционной томографии экономической экосистемы, а также построения системы показателей транзакционной томографии цифровых взаимодействий.

Логика исследования включала несколько этапов.

На первом этапе была проведена концептуальная декомпозиция цифровых взаимодействий производственной организации на транзакции. В качестве транзакции рассматривался завершённый цифровой зарегистрированный акт координации, имеющий отправителя, получателя, объект, функцию, временную метку, канал, статус и результат.

На втором этапе была сформирована томографическая рамка анализа, предполагающая выделение аналитических срезов:

- 1) субъектного – по участникам взаимодействия;
- 2) функционального – по типам выполняемых функций;
- 3) процессного – по стадиям производственно-логистического цикла;
- 4) временного – по скорости, лагам, ритмичности;
- 5) стоимостного – по транзакционным затратам;
- 6) структурного – по плотности, централизации, связности;
- 7) результативного – по завершённости, точности, доле успешных транзакций;
- 8) экосистемного – по доле внешних и внутренних контуров, платформенной интегрированности и межорганизационной согласованности.

На третьем этапе были отобраны показатели, способные выразить эффективность цифровых взаимодействий в каждом из указанных срезов. Критериями отбора служили:

измеримость, интерпретируемость, сопоставимость, управленческая значимость и возможность интеграции в сводный индекс.

На четвертом этапе был разработан интегральный показатель эффективности цифровых взаимодействий производственной организации при использовании метода транзакционной томографии. При построении интегрального индекса использовалась идея нормирования частных показателей с последующим агрегированием по весам. Выбор такого подхода опирается на практику построения композитных индексов в экономике, менеджменте и цифровой аналитике [Nardo et al., 2005; Handbook on Constructing., 2008], а также на современные исследования цифровой зрелости и операционной эффективности.

Функционально-аналитическая гипотеза исследования заключается в следующем: эффективность цифровых взаимодействий производственной организации может быть измерена как интегральная характеристика томографически реконструированной системы транзакций, если в оценку включены не только скорость и стоимость взаимодействий, но также их структурная связность, завершенность, функциональная полнота и экосистемная синхронизация.

3. Показатель эффективности цифровых взаимодействий при томографическом анализе

Разработка показателей эффективности требует учета того обстоятельства, что цифровое взаимодействие в производственной организации не является одномерным феноменом: система показателей должна одновременно учитывать экономичность, быстрдействие, структурное качество и результативность цифровых взаимодействий.

С опорой на работы [Coase, 1937; Williamson, 1985; Van der Aalst, 2016; Jacobides et al., 2018; Culot et al., 2020; Hein et al., 2020; Tortorella et al., 2020; Gawer, 2021; Ivanov, Dolgui, 2021; Verhoef et al., 2021], а также на исследования в области сетевой аналитики и цифровых экосистем предлагается выделить шесть базовых групп показателей.

Первая группа: временная эффективность транзакций. Она отражает скорость прохождения цифровых взаимодействий и включает: среднее время отклика на транзакцию, среднее время завершения транзакции, коэффициент временной регулярности, долю транзакций, выполненных в нормативный срок. Эти показатели важны потому, что задержки в цифровых взаимодействиях прямо влияют на ритмичность производственного цикла, оборачиваемость заказа и устойчивость координации [Min et al., 2019; Ivanov, Dolgui, 2021].

Вторая группа: стоимостная эффективность транзакций. Она отражает транзакционные издержки цифровой координации и включает: удельную стоимость транзакции, долю избыточных транзакций, стоимость повторной обработки, стоимость исправления ошибок взаимодействия. Теоретическое основание этой группы связано с транзакционной экономикой и исследованиями организационной координации, согласно которым цифровизация способна как снижать, так и скрыто увеличивать координационные издержки при неудачной архитектуре взаимодействия [Williamson, 1985; Cennamo et al., 2020].

Третья группа: структурная эффективность. Она характеризует форму и конфигурацию сети цифровых взаимодействий: коэффициент связности, коэффициент централизации, индекс структурной сбалансированности, долю узлов с критической перегрузкой, коэффициент дублирования контуров. Эти показатели опираются на подходы сетевого анализа и многослойных сетей [Kivelä et al., 2014; Battiston et al., 2021]. Для производственной организации структурная эффективность особенно важна, поскольку чрезмерная централизация может создавать узкие места, а недостаточная связность – приводить к разрывам координации.

Четвертая группа: функциональная полнота цифрового взаимодействия. Эта группа показывает, насколько цифровой контур покрывает необходимые функции управления: долю функций, имеющих цифровую транзакционную поддержку, коэффициент сквозной цифровой сопровождаемости процесса, индекс непрерывности данных между стадиями процесса, коэффициент интеграции управленческих и операционных контуров. Подобные показатели соотносятся с исследованиями цифровой зрелости, интеллектуального производства и цифровых нитей [Tao et al., 2019; Leng et al., 2021].

Пятая группа: результативность транзакций. Здесь оценивается фактический успех цифровых взаимодействий: доля успешно завершенных транзакций, доля транзакций без повторного согласования, коэффициент точности передачи данных, индекс отказоустойчивости цифрового взаимодействия. Это особенно важно в среде, где формальное наличие цифрового канала еще не означает его полезности для принятия и исполнения решений [Baskerville et al., 2020; Sony, Naik, 2020].

Шестая группа: экосистемная синхронизация. Поскольку объектом исследования выступают экосистемные цифровые взаимодействия, необходимо учитывать не только внутренние, но и внешние контуры: коэффициент внешневнутренней синхронизации, долю стандартизированных межорганизационных транзакций, индекс платформенной совместимости, коэффициент межорганизационной прозрачности статусов. Эта группа связана с работами по платформам, экосистемам и межорганизационной координации [Jacobides et al., 2018; Hein et al., 2020; Trabucchi, Buganza, 2021; Autio, 2022].

4. Система частных показателей и интегральный индекс

Для практической операционализации предлагается использовать систему показателей, представленную в таблице.

Для построения интегрального индекса все показатели нормируются на интервал [0; 1]. Для показателей-стимуляторов используется формула:

$$X_i^{norm} = \frac{x_i - x_i^{min}}{x_i^{max} - x_i^{min}}, \quad (1)$$

для показателей-дестимуляторов:

$$X_i^{norm} = \frac{x_i^{max} - x_i}{x_i^{max} - x_i^{min}}. \quad (2)$$

После нормирования формируется интегральный индекс эффективности цифровых взаимодействий I_{TDI} при транзакционной томографии, где w_i – вес i -го показателя, x_i^{norm} – нормированное значение i -го показателя, $\sum w_i = 1$:

Таблица
Система показателей эффективности цифровых взаимодействий производственной организации при транзакционной томографии
Table

System of Digital Interaction Efficiency Indicators for a Manufacturing Organization Based on Transactional Tomography

Блок	Показатель	Обозначение	Направление оптимизации
Временной	Среднее время завершения транзакции	Tz	min
Временной	Доля транзакций в нормативный срок	Pn	max
Стоимостный	Удельная транзакционная стоимость	Ct	min
Стоимостный	Доля избыточных транзакций	Pe	min
Структурный	Коэффициент связности сети	Ks	max
Структурный	Коэффициент критической централизации	Kc	min
Функциональный	Коэффициент сквозной цифровой сопровождаемости	Kd	max
Функциональный	Индекс непрерывности данных	Id	max
Результативный	Доля успешно завершённых транзакций	Ps	max
Результативный	Коэффициент точности передачи данных	Ka	max
Экосистемный	Коэффициент внешневнутренней синхронизации	Ke	max
Экосистемный	Индекс платформенной совместимости	Ip	max

Источник: разработано авторами.

$$I_{TDI} = \sum_{i=1}^n w_i x_i^{norm}, \quad (3)$$

Возможны два варианта задания весов. Первый вариант – равновесовой, когда все шесть блоков получают одинаковый вес, а внутри блока вес распределяется поровну. Этот вариант предпочтителен на этапе первичной диагностики. Второй вариант – функционально-экспертный, при котором веса задаются с учетом специфики производственной организации. Например, в дискретном машиностроении более высокий вес может быть присвоен показателям временной и экосистемной синхронизации, а в процессном производстве – показателям непрерывности данных и отказоустойчивости.

В целях повышения аналитической наглядности предлагается также рассчитывать шесть субиндексов: I_T , I_C , I_S , I_F , I_R , I_E , где I_T – субиндекс временной эффективности, I_C – субиндекс стоимостной эффективности, I_S – субиндекс структурной эффективности, I_F – субиндекс функциональной полноты, I_R – субиндекс результативности, I_E – субиндекс экосистемной синхронизации.

Тогда общий индекс может быть выражен как:

$$I_{TDI} = \alpha I_T + \beta I_C + \gamma I_S + \delta I_F + \varepsilon I_R + \zeta I_E, \quad (4)$$

где коэффициенты α , β , γ , δ , ε , ζ отражают стратегические приоритеты организации.

Наряду с интегральным индексом предлагается специальный показатель – томографический коэффициент эффективности цифровых взаимодействий K_{TT} , где Ps – доля успешно завершённых транзакций, Kd – коэффициент сквозной цифровой сопровождаемости, Ks – коэффициент связности, Ke – коэффициент внешневнутренней синхронизации, Tz – среднее время завершения транзакции, Ct – удельная транзакционная стоимость, Pe – доля избыточных транзакций, Kc – коэффициент критической централизации:

$$K_{TT} = \frac{Ps Kd Ks Ke}{Tz Ct (1 + Pe) (1 + Kc)}. \quad (5)$$

Логика данного коэффициента состоит в том, что высокая эффективность цифровых взаимодействий достигается при одновременном росте результативности, сквозной цифровизации, структурной связности и экосистемной синхронизации, а также при снижении времени, стоимости, избыточности и централизационных перегрузок. Этот коэффициент удобен для межвременного сравнения, если организация отслеживает изменение цифровой архитектуры по кварталам или стадиям цифровой трансформации.

К числу достоинств разработанной системы показателей относится ее основа на многомерном представлении цифровых взаимодействий, следовательно, она лучше отражает реальную сложность производственной экосистемы по сравнению с однокритериальными метриками. Также предложенные показатели соединяют экономическую и технологическую логику анализа, поскольку учитывают не только события в ИТ-системах, но и их координационную, затратную и управленческую значимость. Система пригодна как для стратегической диагностики, так и для операционного контроля, поскольку позволяет оценивать как общую эффективность цифровых взаимодействий, так и проблемные участки по отдельным томографическим срезам.

Вместе с тем необходимо отметить и ограничения, связанные с точностью оценки, которая зависит от качества цифрового следа и полноты журналов событий. Если значительная часть взаимодействий остается вне цифровой регистрации, то результаты будут смещены. Также в различных производственных отраслях состав и значимость показателей могут различаться, поэтому предложенная система требует отраслевой адаптации.

Таким образом, научная новизна исследования состоит в разработке методического подхода к измерению эффективности цифровых взаимодействий производственной ор-

ганизации на основе транзакционной томографии, включающего:

- 1) определение цифровых взаимодействий как многомерной системы транзакций, подлежащих томографическому анализу;
- 2) выделение шести аналитических блоков эффективности – временного, стоимостного, структурного, функционального, результативного и экосистемного;
- 3) предложение интегрального индекса эффективности цифровых взаимодействий I_{TDI} ;
- 4) введение специального томографического коэффициента эффективности цифровых взаимодействий K_{TT} , ориентированного на мониторинг транзакционной архитектуры производственной организации.

5. Возможности применения показателей эффективности цифровых взаимодействий

Практическая ценность разработанных показателей проявляется в широком спектре управленческих и аналитических задач.

Первым направлением является диагностика текущего состояния цифровой архитектуры взаимодействий. Томография позволяет «просветить» внутреннюю структуру цифровых обменов и определить, где именно локализованы узкие места. Например, низкое значение субиндекса IT при относительно высоком IF будет означать, что цифровое покрытие функций формально достигнуто, но скорость прохождения транзакций недостаточна. Напротив, высокие временные показатели при низком IS могут свидетельствовать о неустойчивой, чрезмерно централизованной архитектуре, в которой результат обеспечивается за счет перегрузки отдельных координационных узлов.

Такой диагностический потенциал особенно важен для крупных производственных организаций с многоуровневой структурой, распределенными площадками и развитой кооперацией с поставщиками и подрядчиками. Здесь обычные финансовые или процессные KPI часто не позволяют понять, какой именно фрагмент цифровой координации создает системный риск.

Вторым направлением выступает использование показателей при реинжиниринге бизнес-процессов. Как показано в [Hammer, 1990; Davenport, 1993] и в более современной цифровых интерпретациях [Vom Brocke et al., 2021], радикальное улучшение процессов невозможно без реконструкции фактической логики взаимодействий. Если, например, доля избыточных транзакций Pe высока, а коэффициент точности передачи данных Ka низок, то это свидетельствует о неэффективной конструкции согласований, требующей пересмотра регламентов, интерфейсов и прав доступа. В этом смысле предложенные показатели могут использоваться как метрики результативности мероприятий по реинжинирингу: сокращение времени завершения транзакций, снижение повторных согласований, рост сквозной цифровой сопровождаемости и уменьшение критической централизации будут свидетельствовать о реальном улучшении процесса, а не о формальной цифровизации.

Еще одним направлением является оценка результативности участия производственной организации в цифровых платформах и экосистемах. В современных условиях производитель все чаще выступает не автономным субъектом, а участником платформенно координируемых архитектур, в которых обмен данными и транзакциями является необходимым условием доступа к рынку, клиенту или дополнительным услугам [Cennamo, 2021; Gawer, 2021; Trabucchi, Buganza, 2021]. Предложенный индекс платформенной совместимости Ip и коэффициент межорганизационной синхронизации Ke могут быть использованы для выбора партнерских платформ, оценки эффектов подключения к ним и мониторинга качества цифровой интеграции.

Для производственной организации это особенно значимо в контексте сервисизации, удаленного мониторинга оборудования, совместного проектирования продукции, цифровых каталогов запчастей и интеграции с промышленными маркетплейсами. Если участие в экосистеме увеличивает число цифровых взаимодействий, но одновременно повышает их избыточность, стоимость и время завершения, то стратегическая ценность такой интеграции должна быть переоценена.

Возможным применением является использование разработанных показателей в качестве метрик цифровой трансформации. Во многих организациях программы цифровизации оцениваются через показатели внедрения ИТ-решений, объема инвестиций или степени автоматизации отдельных функций. Однако подобные показатели не всегда отражают реальный экономический эффект. Преимущество транзакционно-томографического подхода заключается в том, что он позволяет оценивать цифровую трансформацию как изменение эффективности координации.

Если после внедрения новой платформы, MES-системы, интеграционного шлюза или цифрового двойника наблюдаются рост I_{TDI} и K_{TT} , снижение Ct и Tz , уменьшение Pe и повышение Kd , то можно говорить о содержательном улучшении архитектуры взаимодействий. Если же технологическое обновление не приводит к позитивной динамике этих метрик, возникает основание для вывода о частичной или имитационной цифровизации.

6. Теоретическая и практическая значимость результатов

Теоретическая значимость исследования определяется тем, что оно развивает несколько научных направлений одновременно.

Во-первых, расширяется экономическая интерпретация цифровых взаимодействий: они рассматриваются как измеримая транзакционная структура.

Во-вторых, вносится вклад в развитие методологии анализа экономических экосистем, поскольку предлагается инструмент, способный фиксировать не только факт связанности участников, но и качество их координации.

В-третьих, уточняется содержание категории эффективности в цифровой среде. Эффективность цифровых взаимодействий в настоящей работе понимается как интегральное свойство транзакционной системы, выражающее способ-

ность обеспечивать необходимую координацию при минимизации времени, затрат, избыточности и структурных дисбалансов.

В-четвертых, статья формирует мост между теорией транзакционных издержек, цифровой трансформацией, платформенными исследованиями, сетевым анализом и процессной аналитикой, что представляется важным для развития междисциплинарной экономической аналитики.

Практическая значимость состоит в возможности использования предложенной системы для:

- аудита цифровых взаимодействий производственных организаций;
- мониторинга программ цифровой трансформации;
- выбора направлений реинжиниринга процессов;
- диагностики межорганизационных цифровых разрывов в цепях поставок;
- обоснования архитектурных решений при создании платформ и интеграционных контуров;
- настройки управленческой аналитики на основе журналов событий и цифрового следа.

Кроме того, разработанный подход может использоваться в образовательных целях при подготовке специалистов по экономике предприятия, цифровому менеджменту, логистике, промышленной аналитике и управлению экосистемами, поскольку он позволяет наглядно показать, каким образом цифровые взаимодействия превращаются в предмет количественного экономического анализа.

Заключение

Проведенное исследование позволило обосновать, что в условиях цифровой трансформации производственной организации эффективность все в большей степени определяется не только характеристиками ресурсов и процессов в традиционном смысле, но и качеством цифровых взаимодействий, обеспечивающих координацию внутренней и внешней экосистемы предприятия. Англоязычные исследования 2020–2026 годов подтверждают критическую важность цифровых взаимодействий для индустрии 4.0, платформенной интеграции, управления цепями поставок и цифровой трансформации в целом, однако не предлагают

целостной системы показателей эффективности, построенной на основе метода транзакционной томографии.

В статье предложено понимать транзакционную томографию как метод функционального анализа цифровых взаимодействий, основанный на реконструкции совокупности транзакций в разрезе многомерных аналитических срезов – субъектного, функционального, процессного, временного, стоимостного, структурного, результативного и экосистемного. На этой основе разработана система частных показателей, объединенных в шесть блоков: временная эффективность, стоимостная эффективность, структурная эффективность, функциональная полнота, результативность транзакций и экосистемная синхронизация.

Ключевым результатом исследования стала разработка интегрального индекса эффективности цифровых взаимодействий производственной организации при использовании метода транзакционной томографии ITDI, а также специального томографического коэффициента эффективности КТТ. Эти показатели позволяют не только агрегированно оценивать качество цифровой координации, но и выявлять структурные причины снижения эффективности – задержки, избыточность, перегрузку узлов, недостаточную сквозную цифровизацию и слабую межорганизационную согласованность.

Научная новизна работы состоит в формировании методического подхода к измерению эффективности цифровых взаимодействий как многомерной транзакционной структуры производственной организации. Практическая значимость результатов проявляется в возможности их применения для диагностики цифровой архитектуры, реинжиниринга процессов, управления цепями поставок, оценки платформенных стратегий, мониторинга цифровой трансформации и совершенствования системы контроллинга.

Перспективы дальнейших исследований связаны с апробацией предложенной системы показателей на эмпирических данных конкретных производственных предприятий, разработкой отраслевых модификаций индекса, применением методов машинного обучения для определения весов показателей и изучением причинно-следственных зависимостей между транзакционной архитектурой цифровых взаимодействий и экономическими результатами организации.

Литература

- Кузнецова М.О. (2022). Формирование стратегии и механизма взаимодействия участников цифровых платформ. *Стратегические решения и риск-менеджмент*, 13(3): 255–266.
- Попов Е.В., Симонова В.Л., Пекин М.А. (2026а). Дифференциация цифровых экосистемных взаимодействий производственной организации. *Экономика и управление: проблемы, решения*, 3(1): 192–202.
- Попов Е.В., Симонова В.Л., Пекин М.А. (2026б). Управление экономическими системами цифровых взаимодействиях. *Журнал прикладных исследований*, S1: 136–147.
- Ховалова Т.В. (2022). Использование цифровых платформ для стратегического развития промышленных компаний. *Стратегические решения и риск-менеджмент*, 13(3): 245–254.
- Adner R. (2017). Ecosystem as Structure: An Actionable Construct for Strategy. *Journal of Management*, 43(1): 39–58.
- Autio E. (2022). Orchestrating Ecosystems: A Multi-Layered Framework. *Innovation: Organization & Management*, 24(1): 96–109.
- Barykin S.Y., Kapustina I.V., Kirillova T.V., Yadykin V.K., Konnikov E.A. (2021). Economics of Digital Ecosystems. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 7(2): 124.
- Baskerville R., Myers M.D., Yoo Y. (2020). Digital First: The Ontological Reversal and New Challenges for Information Systems Research. *MIS Quarterly*, 44(2): 509–523.

- Battiston F., Cencetti G., Iacopini I., Latora V., Lucas M., Patania A., Young J.-G., Petri G. (2021). Networks Beyond Pairwise Interactions: Structure and Dynamics. *Physics Reports*, 874): 1–92.
- Bharadwaj A., El Sawy O.A., Pavlou P.A., Venkatraman N. (2013). Digital Business Strategy: Toward a Next Generation of Insights. *MIS Quarterly*, 37(2): 471–482.
- Berti A., Van Zelst S.J., Van der Aalst W.M.P. (2020). Process Mining for Python (PM4Py): Bridging the Gap between Process- and Data Science. *arXiv*.
- Ceccagnoli M., Forman C., Huang P., Wu D.J. (2012). Cocreation of Value in a Platform Ecosystem: The Case of Enterprise Software. *MIS Quarterly*, 36(1): 263–290.
- Cennamo C. (2021). Competing in Digital Markets: A Platform-Based Perspective. *Academy of Management Perspectives*, 35(2): 265–291.
- Cennamo C., Dagnino G.B., Di Minin A., Lanzolla G. (2020). Managing Digital Transformation: Scope of Transformation and Modalities of Value Co-generation and Delivery. *California Management Review*, 62(4): 5–16.
- Coase R.H. (1937). The Nature of the Firm. *Economica*, 4(16): 386–405.
- Culot G., Orzes G., Sartor M., Nassimbeni G. (2020). The Future of Manufacturing: A Delphi-Based Scenario Analysis on Industry 4.0. *Technological Forecasting and Social Change*, 157: 120092.
- Davenport T.H. (1993). *Process Innovation: Reengineering Work through Information Technology*. Boston, Harvard Business School Press.
- Dolgui A., Ivanov D. (2022). 5G in Digital Supply Chain and Operations Management: Fostering Flexibility, End-to-End Connectivity and Real-Time Visibility through Internet-of-Everything. *International Journal of Production Research*, 60(2): 442–451.
- Frank A.G., Dalenogare L.S., Ayala N.F. (2019). Industry 4.0 Technologies: Implementation Patterns in Manufacturing Companies. *International Journal of Production Economics*, 210: 15–26.
- Gawer A. (2021). Digital Platforms and Ecosystems: Remarks on the Dominant Organizational Forms of the Digital Age. *Innovation: Organization & Management*, 23(1): 110–124.
- Gong C., Ribiere V. (2021). Developing a Unified Definition of Digital Transformation. *Technovation*, 102: 102217.
- Hammer M. (1990). Reengineering Work: Don't Automate, Obliterate. *Harvard Business Review*, 68(4): 104–112.
- Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide* (2008). Paris, OECD Publishing.
- Hannah D.P., Eisenhardt K.M. (2021). How Firms Navigate Cooperation and Competition in Nascent Ecosystems. *Strategic Management Journal*, 42(13): 3163–3192.
- Hein A., Schreieck M., Riasanow T., Setzke D.S., Wiesche M., Böhm M., Krcmar H. (2020). *Digital Platform Ecosystems. Electronic Markets*, 30: 87–98.
- Ivanov D., Dolgui A. (2021). A Digital Supply Chain Twin for Managing the Disruption Risks and Resilience in the Era of Industry 4.0. *Production Planning & Control*, 32(9): 775–788.
- Jacobides M.G., Cennamo C., Gawer A. (2018). Towards a Theory of Ecosystems. *Strategic Management Journal*, 39(8): 2255–2276.
- Kapoor R. (2018). Ecosystems: Broadening the Locus of Value Creation. *Journal of Organization Design*, 7(12): 1-16.
- Kivelä M., Arenas A., Barthelemy M., Gleeson J.P., Moreno Y., Porter M.A. (2014). Multilayer Networks. *Journal of Complex Networks*, 2(3): 203–271.
- Leng J., Ruan G., Jiang P., Xu K., Liu Q., Zhou X., Liu C. (2021). Digital Twin-Driven Smart Manufacturing: Connotation, Reference Model, Applications and Research Issues. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 61: 101837.
- Martin N., Depaire B., Caris A. (2016). The Use of Process Mining in Business Process Simulation Model Construction: Structuring the Field. *Business & Information Systems Engineering*, 58: 73–87.
- Min H., Zacharia Z.G., Smith C.D. (2019). Defining Supply Chain Management: In the Past, Present, and Future. *Journal of Business Logistics*, 40(1): 44–55.
- Nambisan S., Wright M., Feldman M. (2019). The Digital Transformation of Innovation and Entrepreneurship: Progress, Challenges and Key Themes. *Research Policy*, 48(8): 103773.
- Nardo M., Saisana M., Saltelli A., Tarantola S., Hoffman A., Giovannini E. (2005). *Handbook on Constructing Composite Indicators*. Paris, OECD.
- Rai A., Constantinides P., Sarker S. (2019). Next-Generation Digital Platforms: Toward Human-AI Hybrids. *MIS Quarterly*, 43(1): iii–ix.
- Shipilov A., Gawer A. (2020). Integrating Research on Interorganizational Networks and Ecosystems. *Academy of Management Annals*, 14(1): 92–121.
- Sony M., Naik S. (2020). Industry 4.0 Integration with Lean Green and Six Sigma: A Systematic Review and Agenda for Future Research. *The TQM Journal*, 32(5): 993–1014.
- Tao F., Zhang M., Liu Y., Nee A.Y.C. (2019). Digital Twin Driven Prognostics and Health Management for Complex Equipment. *CIRP Annals*, 68(1): 169–172.
- Tiwana A. (2014). *Platform Ecosystems: Aligning Architecture, Governance, and Strategy*. Waltham, Morgan Kaufmann.
- Tortorella G., Cawley Vergara A.M., Garza-Reyes J.A., Sawhney R. (2020). Organizational Learning Paths Based upon Industry 4.0 Adoption: An Empirical Study with Brazilian Manufacturers. *International Journal of Production Economics*, 219: 284–294.
- Trabucchi D., Buganza T. (2021). Fostering Digital Platform Innovation: From Two-Sided to Multi-Sided Platforms. *Creativity and Innovation Management*, 30(2): 345–358.
- Van der Aalst W.M.P. (2016). *Process Mining: Data Science in Action*. Berlin, Springer.

- Verhoef P.C., Broekhuizen T., Bart Y., Bhattacharya A., Dong J.Q., Fabian N., Haenlein M. (2021). Digital Transformation: A Multidisciplinary Reflection and Research Agenda. *Journal of Business Research*, 122: 889–901.
- Vial G. (2019). Understanding Digital Transformation: A Review and a Research Agenda. *Journal of Strategic Information Systems*, 28(2): 118–144.
- Vom Brocke J., Denner M.-S., Schmiedel T., Stelzl K. (2021). *Business Process Management Cases: Digital Innovation and Business Transformation in Practice*. Berlin, Springer.
- Wareham J., Fox P.B., Cano Giner J.L. (2014). Technology Ecosystem Governance. *Organization Science*, 25(4): 1195–1215.
- Warner K.S.R., Wäger M. (2019). Building Dynamic Capabilities for Digital Transformation: An Ongoing Process of Strategic Renewal. *Long Range Planning*, 52(3): 326–349.
- Williamson O.E. (1985). *The Economic Institutions of Capitalism*. New York, Free Press.
- Yoo Y., Henfridsson O., Lyytinen K. (2010). The New Organizing Logic of Digital Innovation: An Agenda for Information Systems Research. *Information Systems Research*, 21(4): 724–735.

References

- Kuznetsova M.O. (2022). Formation of Strategy and Mechanism of Interaction of Digital Platform Participants. *Strategic Decisions and Risk Management*, 13(3): 255-266. (In Russ.)
- Popov E.V., Simonova V.L., Pekin M.A. (2026a). Differentiation of Digital Ecosystem Interactions of a Manufacturing Organization. *Economics and Management: Problems, Solutions*, 3(1): 192-202. (In Russ.)
- Popov E.V., Simonova V.L., Pekin M.A. (2026b). Management of Economic Systems of Digital Interactions. *Journal of Applied Research*, S1: 136-147. (In Russ.)
- Khovalova T.V. (2022). Using Digital Platforms for Strategic Development of Industrial Companies. *Strategic Decisions and Risk Management*, 13(3): 245-254. (In Russ.)
- Adner R. (2017). Ecosystem as Structure: An Actionable Construct for Strategy. *Journal of Management*, 43(1): 39-58.
- Autio E. (2022). Orchestrating Ecosystems: A Multi-Layered Framework. *Innovation: Organization & Management*, 24(1): 96-109.
- Barykin S.Y., Kapustina I.V., Kirillova T.V., Yadykin V.K., Konnikov E.A. (2021). Economics of Digital Ecosystems. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 7(2): 124.
- Baskerville R., Myers M.D., Yoo Y. (2020). Digital First: The Ontological Reversal and New Challenges for Information Systems Research. *MIS Quarterly*, 44(2): 509-523.
- Battiston F., Cencetti G., Iacopini I., Latora V., Lucas M., Patania A., Young J.-G., Petri G. (2021). Networks Beyond Pairwise Interactions: Structure and Dynamics. *Physics Reports*, 874: 1-92.
- Bharadwaj A., El Sawy O.A., Pavlou P.A., Venkatraman N. (2013). Digital Business Strategy: Toward a Next Generation of Insights. *MIS Quarterly*, 37(2): 471-482.
- Berti A., Van Zelst S.J., Van der Aalst W.M.P. (2020). Process Mining for Python (PM4Py): Bridging the Gap between Process- and Data Science. *arXiv*.
- Ceccagnoli M., Forman C., Huang P., Wu D.J. (2012). Cocreation of Value in a Platform Ecosystem: The Case of Enterprise Software. *MIS Quarterly*, 36(1): 263-290.
- Cennamo C. (2021). Competing in Digital Markets: A Platform-Based Perspective. *Academy of Management Perspectives*, 35(2): 265-291.
- Cennamo C., Dagnino G.B., Di Minin A., Lanzolla G. (2020). Managing Digital Transformation: Scope of Transformation and Modalities of Value Co-generation and Delivery. *California Management Review*, 62(4): 5-16.
- Coase R.H. (1937). The Nature of the Firm. *Economica*, 4(16): 386-405.
- Culot G., Orzes G., Sartor M., Nassimbeni G. (2020). The Future of Manufacturing: A Delphi-Based Scenario Analysis on Industry 4.0. *Technological Forecasting and Social Change*, 157: 120092.
- Davenport T.H. (1993). *Process Innovation: Reengineering Work through Information Technology*. Boston, Harvard Business School Press.
- Dolgui A., Ivanov D. (2022). 5G in Digital Supply Chain and Operations Management: Fostering Flexibility, End-to-End Connectivity and Real-Time Visibility through Internet-of-Everything. *International Journal of Production Research*, 60(2): 442-451.
- Frank A.G., Dalenogare L.S., Ayala N.F. (2019). Industry 4.0 Technologies: Implementation Patterns in Manufacturing Companies. *International Journal of Production Economics*, 210: 15-26.
- Gawer A. (2021). Digital Platforms and Ecosystems: Remarks on the Dominant Organizational Forms of the Digital Age. *Innovation: Organization & Management*, 23(1): 110-124.
- Gong C., Ribiere V. (2021). Developing a Unified Definition of Digital Transformation. *Technovation*, 102: 102217.
- Hammer M. (1990). Reengineering Work: Don't Automate, Obliterate. *Harvard Business Review*, 68(4): 104-112.
- Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide* (2008). Paris, OECD Publishing.
- Hannah D.P., Eisenhardt K.M. (2021). How Firms Navigate Cooperation and Competition in Nascent Ecosystems. *Strategic Management Journal*, 42(13): 3163-3192.
- Hein A., Schreieck M., Riasanow T., Setzke D.S., Wiesche M., Böhm M., Krcmar H. (2020). Digital Platform Ecosystems. *Electronic Markets*, 30: 87-98.

- Ivanov D., Dolgui A. (2021). A Digital Supply Chain Twin for Managing the Disruption Risks and Resilience in the Era of Industry 4.0. *Production Planning & Control*, 32(9): 775-788.
- Jacobides M.G., Cennamo C., Gawer A. (2018). Towards a Theory of Ecosystems. *Strategic Management Journal*, 39(8): 2255-2276.
- Kapoor R. (2018). Ecosystems: Broadening the Locus of Value Creation. *Journal of Organization Design*, 7(12): 1-16.
- Kivelä M., Arenas A., Barthelemy M., Gleeson J.P., Moreno Y., Porter M.A. (2014). Multilayer Networks. *Journal of Complex Networks*, 2(3): 203-271.
- Leng J., Ruan G., Jiang P., Xu K., Liu Q., Zhou X., Liu C. (2021). Digital Twin-Driven Smart Manufacturing: Connotation, Reference Model, Applications and Research Issues. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 61: 101837.
- Martin N., Depaire B., Caris A. (2016). The Use of Process Mining in Business Process Simulation Model Construction: Structuring the Field. *Business & Information Systems Engineering*, 58: 73-87.
- Min H., Zacharia Z.G., Smith C.D. (2019). Defining Supply Chain Management: In the Past, Present, and Future. *Journal of Business Logistics*, 40(1): 44-55.
- Nambisan S., Wright M., Feldman M. (2019). The Digital Transformation of Innovation and Entrepreneurship: Progress, Challenges and Key Themes. *Research Policy*, 48(8): 103773.
- Nardo M., Saisana M., Saltelli A., Tarantola S., Hoffman A., Giovannini E. (2005). *Handbook on Constructing Composite Indicators*. Paris, OECD.
- Rai A., Constantinides P., Sarker S. (2019). Next-Generation Digital Platforms: Toward Human-AI Hybrids. *MIS Quarterly*, 43(1): iii-ix.
- Shipilov A., Gawer A. (2020). Integrating Research on Interorganizational Networks and Ecosystems. *Academy of Management Annals*, 14(1): 92-121.
- Sony M., Naik S. (2020). Industry 4.0 Integration with Lean Green and Six Sigma: A Systematic Review and Agenda for Future Research. *The TQM Journal*, 32(5): 993-1014.
- Tao F., Zhang M., Liu Y., Nee A.Y.C. (2019). Digital Twin Driven Prognostics and Health Management for Complex Equipment. *CIRP Annals*, 68(1): 169-172.
- Tiwana A. (2014). *Platform Ecosystems: Aligning Architecture, Governance, and Strategy*. Waltham, Morgan Kaufmann.
- Tortorella G., Cawley Vergara A.M., Garza-Reyes J.A., Sawhney R. (2020). Organizational Learning Paths Based upon Industry 4.0 Adoption: An Empirical Study with Brazilian Manufacturers. *International Journal of Production Economics*, 219: 284-294.
- Trabucchi D., Buganza T. (2021). Fostering Digital Platform Innovation: From Two-Sided to Multi-Sided Platforms. *Creativity and Innovation Management*, 30(2): 345-358.
- Van der Aalst W.M.P. (2016). *Process Mining: Data Science in Action*. Berlin, Springer.
- Verhoef P.C., Broekhuizen T., Bart Y., Bhattacharya A., Dong J.Q., Fabian N., Haenlein M. (2021). Digital Transformation: A Multidisciplinary Reflection and Research Agenda. *Journal of Business Research*, 122: 889-901.
- Vial G. (2019). Understanding Digital Transformation: A Review and a Research Agenda. *Journal of Strategic Information Systems*, 28(2): 118-144.
- Vom Brocke J., Denner M.-S., Schmiedel T., Stelzl K. (2021). *Business Process Management Cases: Digital Innovation and Business Transformation in Practice*. Berlin, Springer.
- Wareham J., Fox P.B., Cano Giner J.L. (2014). Technology Ecosystem Governance. *Organization Science*, 25(4): 1195-1215.
- Warner K.S.R., Wäger M. (2019). Building Dynamic Capabilities for Digital Transformation: An Ongoing Process of Strategic Renewal. *Long Range Planning*, 52(3): 326-349.
- Williamson O.E. (1985). *The Economic Institutions of Capitalism*. New York, Free Press.
- Yoo Y., Henfridsson O., Lyytinen K. (2010). The New Organizing Logic of Digital Innovation: An Agenda for Information Systems Research. *Information Systems Research*, 21(4): 724-735.

Об авторах

Евгений Васильевич Попов

Доктор физико-математических наук, доктор экономических наук, член-корреспондент РАН, заслуженный деятель науки РФ, директор Центра социально-экономических исследований, Уральский институт управления – филиал РАНХиГС (Екатеринбург, Россия). Research ID: H-3358-2015; Author ID: 24822113400; ID РИНЦ: 44798; SPIN: 9980-7417; ORCID: 0000-0002-5513-5020. Область научных интересов: менеджмент, экономическая теория, институциональная экономика. popov-ev@ranepa.ru

Виктория Львовна Симонова

Кандидат экономических наук, заместитель директора Центра социально-экономических исследований, Уральский институт управления – филиал РАНХиГС (Екатеринбург, Россия). Research ID: J-7050-2017; ID РИНЦ: 148845; SPIN: 2760-7620; ORCID: 0000-0003-2814-464X. Область научных интересов: менеджмент, экономическая теория, институциональная экономика. simonova-vl@ranepa.ru

Максим Анатольевич Пекин

Соискатель ученой степени кандидата экономических наук, Центр социально-экономических исследований, Уральский институт управления – филиал РАНХиГС (Екатеринбург, Россия); директор научно-исследовательского центра ООО «СЗ “УГМК-Навигатор”» (Екатеринбург, Россия).

Область научных интересов: менеджмент, экономическая теория, институциональная экономика.

pekin@nir.center

About the Authors**Evgeny V. Popov**

Doctor of Physico-Mathematical Sciences, Doctor of Economic Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Honored Scientist of the Russian Federation, Director of the Center for Social and Economic Research, Ural Institute of Management, Branch of RANEPА (Ekaterinburg, Russia). Research ID: H-3358-2015; Author ID: 24822113400; RSCI ID: 44798; SPIN: 9980-7417; ORCID: 0000-0002-5513-5020.

Research interests: management, economic theory, institutional economics.

popov-ev@ranepa.ru

Victoria L. Simonova

Candidate of Economic Sciences, Deputy Director of the Center for Social and Economic Research, Ural Institute of Management, Branch of RANEPА (Ekaterinburg, Russia). Research ID: J-7050-2017; RSCI ID: 148845; SPIN: 2760-7620; ORCID: 0000-0003-2814-464X.

Research interests: management, economic theory, institutional economics.

simonova-vl@ranepa.ru

Maxim A. Pekin

Applicant for the Degree of Candidate of Economic Sciences, Center for Social and Economic Research of the Ural Institute of Management, Branch of RANEPА (Ekaterinburg, Russia); Director of the Research Center, UMMC-Navigator Specialized Developer LLC (Ekaterinburg, Russia).

Research interests: management, economic theory, institutional economics.

pekin@nir.center

作者简介**Evgeny V. Popov**

物理与数学科学博士、经济科学博士，俄罗斯科学院通讯院士，俄罗斯联邦功勋科学工作者；俄罗斯总统国民经济与公共管理学院乌拉尔管理学院社会经济研究中心主任（俄罗斯，叶卡捷琳堡）。Research ID: H-3358-2015; Author ID: 24822113400; 俄罗斯科学引文索引ID: 44798; SPIN: 9980-7417; ORCID: 0000-0002-5513-5020.

研究领域：管理学、经济理论、制度经济学。

popov-ev@ranepa.ru

Victoria L. Simonova

经济科学副博士；俄罗斯总统国民经济与公共管理学院乌拉尔管理学院社会经济研究中心副主任（俄罗斯，叶卡捷琳堡）。Research ID: J-7050-2017; 俄罗斯科学引文索引ID: 148845; SPIN: 2760-7620; ORCID: 0000-0003-2814-464X.

研究领域：管理学、经济理论、制度经济学。

simonova-vl@ranepa.ru

Maxim A. Pekin

经济科学副博士学位申请人，俄罗斯总统国民经济与公共管理学院乌拉尔管理学院社会经济研究中心（俄罗斯，叶卡捷琳堡）；UMMC-Navigator专业开发商有限责任公司科研中心主任（俄罗斯，叶卡捷琳堡）。

研究领域：管理学、经济理论、制度经济学。

pekin@nir.center