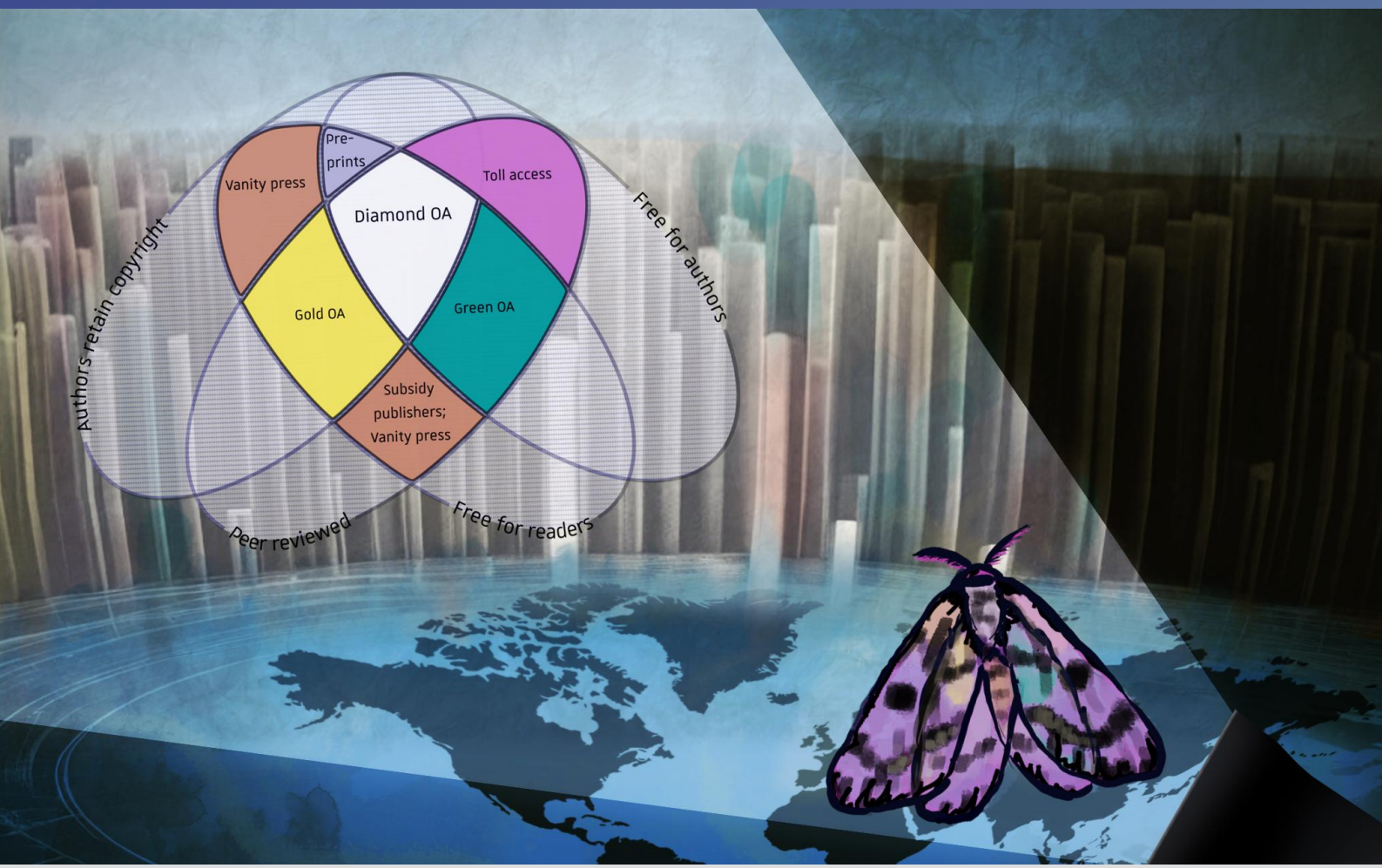
5(40)’2026

ЦИФРОВАЯ ЭКОНОМИКА



Экономика данных

ЦЭМИ РАН
Москва

Редакционный совет электронного журнала «Цифровая экономика»

- Агеев Александр Иванович – д.э.н., генеральный директор Института экономических стратегий, заведующий кафедрой НИЯУ «МИФИ», профессор, академик РАЕН.
- Афанасьев Михаил Юрьевич – д.э.н., заведующий лабораторией прикладной эконометрики ЦЭМИ РАН.
- Бабаян Евгений Борисович – генеральный директор НП «Агентство научных и деловых коммуникаций».
- Бахтизин Альберт Рауфович – член-корреспондент РАН, д.э.н., профессор РАН, директор ЦЭМИ РАН.
- Войниканис Елена Анатольевна – д.ю.н., ведущий научный сотрудник Института права и развития ВШЭ – Сколково.
- Волынкина Марина Владимировна – д.ю.н., ректор НОЧУ ВПО «Институт гуманитарного образования и информационных технологий».
- Гурдус Александр Оскарович – д.э.н., к.т.н., президент группы компаний «21Company».
- Димитров Илия Димитрович – исполнительный директор НКО «Ассоциации электронных торговых площадок».
- Ерешко Феликс Иванович – д.т.н., профессор, заведующий отделом информационно-вычислительных систем (ИВС) ВЦ РАН.
- Калятин Виталий Олегович – к.ю.н., профессор Исследовательского центра частного права при Президенте РФ им. С.С. Алексеева.
- Китова Ольга Викторовна – д.э.н., к.ф.-м.н. зав. кафедрой Информатики РЭУ им. Г.В. Плеханова.
- Козырь Юрий Васильевич – д.э.н., главный научный сотрудник ЦЭМИ РАН.
- Ливадный Евгений Александрович – к.т.н., к.ю.н., Руководитель проектов по интеллектуальной собственности Государственной корпорации «Ростех».
- Макаров Валерий Леонидович – академик РАН, научный руководитель ЦЭМИ РАН.
- Паринов Сергей Иванович – д.т.н., главный научный сотрудник ЦЭМИ РАН.
- Райков Александр Николаевич – д.т.н., профессор, ведущий научный сотрудник Института проблем управления РАН, генеральный директор ООО «Агентство новых стратегий».
- Семячкин Дмитрий Александрович – к.ф.-м.н., директор Ассоциации «Открытая наука»
- Серго Антон Геннадьевич – д.ю.н., профессор кафедры авторского права, смежных прав и частноправовых дисциплин Российской государственной академии интеллектуальной собственности (РГАИС).
- Соловьев Владимир Игоревич – д.э.н. руководитель департамента анализа данных, принятия решений и финансовых технологий Финансового университета при Правительстве РФ.
- Терелянский Павел Васильевич – д.э.н., профессор, главный научный сотрудник Научно-исследовательского института «Управления цифровой трансформацией экономики», ФГБОУ ВО «Государственный университет управления».
- Фролов Владимир Николаевич – д.э.н., профессор, научный руководитель проекта «Copernicus Gold».
- Хохлов Юрий Евгеньевич – к.ф.-м.н., доцент, председатель Совета директоров Института развития информационного общества, академик Российской инженерной академии.
- Шананин Александр Алексеевич – академик РАН по Отделению математических наук (прикладная математика и информатика), заведующий кафедрой анализа систем и решений ФПМИ МФТИ, научный руководитель отделения «Моделирование социальных, экономических и экологических процессов» ФИЦ ИУ РАН, член International Core Academy of Sciences and Humanities (Гонконг).

Миссия журнала

Миссия журнала – поддерживать высокий научный уровень дискуссии о цифровой экономике, методах ее изучения и развития, вовлекая в этот процесс наиболее квалифицированных экспертов – исследователей и практиков; доносить научное знание о самых сложных ее аспектах до тех, кто реально принимает решения, и тех, кто их исполняет. Одновременно журнал направлен на обеспечение возможности для обмена мнениями между профессиональными исследователями.

Название и формат издания

Название «Цифровая экономика» подчеркивает междисциплинарный характер журнала, а также ориентацию на новые методы исследования и новые формы подачи материала, возникшие вместе с цифровой экономикой. В современном ее понимании цифровая экономика – не только новый сектор экономики, но и новые методы сбора информации на основе цифровых технологий, психометрия и компьютерное моделирование, а также иные методы экспериментальной экономики.

Тематика научных и научно-популярных статей

Основную тематику журнала представляют научные и научно-популярные статьи, находящиеся в предметной области цифровой экономики, информационной экономики, экономики знаний. Основное направление журнала – это статьи, освещающие применение подходов и методов естественных наук, математических моделей, теории игр и информационных технологий, а также использующие результаты и методы естественных наук, в том числе, биологии, антропологии, социологии, психологии.

В журнале также публикуются статьи о цифровой экономике и на связанные с ней темы, в том числе, доступные для понимания людей, не изучающих предметную область и применяемые методы исследования на профессиональном уровне. Основная тема – создание и развитие единого экономического пространства России и стран АТР. Сюда можно отнести статьи по обсуждаемым вопросам оптимизации использования ресурсов и государственному регулированию, по стандартам в цифровой экономике. Сегодня или очень скоро это стандарты – умный город, умный дом, умный транспорт, интернет вещей, цифровые платформы, BIM-технологии, умные рынки, умные контракты, краудсорсинг и краудфандинг и многие другие.

Журнал «Цифровая экономика», № 5(40) 2026

Выпуск № 5, 2026 год

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций
Свидетельство о регистрации № ЭЛ № ФС77-70455 от 20 июля 2017 г.

Редакционная коллегия

Козырев А. Н. – главный редактор, д.э.н., к.ф.-м.н., руководитель научного направления – математическое моделирование, г.н.с. ЦЭМИ РАН

Ведута Е. Н. – д.э.н., профессор, зав. кафедрой стратегического планирования и экономической политики факультета государственного управления МГУ имени М. В. Ломоносова

Гатауллин Т. М. – д.э.н., к.ф.-м.н., зам. директора Центра цифровой экономики Государственного университета управления

Китов В. А. – к.т.н., зам. зав. кафедрой информатики по научной работе РЭУ им. Г.В. Плеханова

Костин А. В. – к.э.н., ведущий научный сотрудник ЦЭМИ РАН

Лугачев М. И. – д.э.н., профессор кафедры Экономической информатики Экономического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова.

Макаров С. В. – к.э.н., ведущий научный сотрудник ЦЭМИ РАН.

Неволин И. В. – д.э.н., главный научный сотрудник ЦЭМИ РАН

Ноакк Н. В. – к.п.н., ведущий научный сотрудник ЦЭМИ РАН

Скрипкин К. Г. – к.э.н., доцент кафедры Экономической информатики Экономического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова.

Писарева О. М. – к.э.н., заведующий кафедрой математических методов в экономике и управлении, директор Института информационных систем ФГБОУ ВО «Государственный университет управления» (ГУУ)

Чесноков А.Н. – руководитель проекта АН2

Все работы опубликованы в авторской редакции.
Композиция на обложке составлена Елизаветой Вершининой.
Подписано к опубликованию в Интернете 25.10.2026 Авт. печ. л. 9,7
Сайт размещения публикаций: http://digital-economy.ru/
Адрес редакции: 117418 Москва, Нахимовский проспект, 47, комн. 520

При использовании материалов ссылка на журнал «Цифровая экономика» и на автора статьи обязательна (на условиях creative commons).

© Журнал «Цифровая экономика», 2026

ISSN 2686-956X

9 772686 956001 >

СОДЕРЖАНИЕ

Слово редактора…….... 4

I. НАУЧНЫЕ СТАТЬИ…….. 6

1.1. Иноземцева Е.Ю. Индекс цифровизации отраслей экономики: конструирование на российских данных…….. 6

1.2. Стенина А.И. Влияние цифровизации на экономическую активность регионов России: эконометрический анализ на основе панельных данных…….. 18

1.3. Лысенкова М.А., Аний Л.Л. Влияние информационно-коммуникационных технологий на техническую эффективность регионов России на основе концепции стохастической границы…… 30

1.4. Осипов В.Ю., Федорченко Л.Н. Проблема совершенствования цифровой трансформации общества и экономики России и пути ее решения……... 39

1.5. Иншаков А.А., Балмакова М.А., Яковлев Т.А., Харьков А.И. Разработка имитационной модели для определения оптимального расположения нового склада маркетплейса OZON и маршрутов доставки для снижения нагрузки на логистические операции…….. 52

1.6. Ратман Л.П., Костина Т.А. Квиз-аукцион как механизм доверия……... 61

1.7. Филькин М.Е. Интеллектуальная цифровизация объектов возобновляемой энергетики на основе технологии цифровых двойников…… 68

1.8. Черненко Д.В., Бартновский Н.А., Зорин М.Ю., Парагульгов С.М. Прототип агент-ориентированной модели Курской атомной электростанции с симуляцией возможных чрезвычайных происшествий во время ее эксплуатации..... 77

1.9. Андреев Н.С. Развитие российских моделей управления ИТ-инфраструктурой промышленного масштаба с использованием инструментария ИТ-аутсорсинга в условиях санкционных ограничений…… 87

Памятка для авторов публикаций в журнале «Цифровая экономика» 97

Слово редактора

Дорогие читатели, перед вами пятый в этом году и сороковой с начала выпуска номер журнала «Цифровая экономика». Число круглое, но повод для разговора сегодня другой, он касается масштабной и сложной проблемы – состояния дел с применением математики в науках об обществе, включая экономическую науку. С нее и начнем, точнее, начнем с описания очередного витка печальной традиции – «наступать на одни и те же грабли» – с регулярностью, превосходящей регулярность экономических циклов Кондратьева или Кузнеца. Эти выпуски в основном состоят из статей по эконометрике. Таков на сегодня «портфель» журнала, а мы выбираем из того, что нам присылают. Но вернемся к разговору о проблеме.

Сам факт кризиса в науке об экономике, где применение математики представляется совершенно естественным, достаточно очевиден. Об этом писали и нобелевские лауреаты по экономике, и наши ведущие экономисты (например, В.М. Полтерович), но их публикации – взгляд на проблему глазами экономистов, пытающихся что-то объяснить другим экономистам. К тому же он «западный» в том смысле, что основан на хорошо описанном западном опыте с большими надеждами научного сообщества на применение математики в период 50-х и 60-х годов, с последующим охлаждением уже к середине 80-х, как, впрочем, и в СССР, хотя и не до такой степени, и наконец, с признанием кризиса.

Отечественный опыт в этой области гораздо драматичнее, но описан гораздо хуже и отягощён набором мифов, кочующих из одного источника в другой. На сегодняшний день в большинстве доступных источников описан период, начиная (в лучшем случае) с середины 50-х годов, с упоминанием переводов западной литературы по теме из спецхранов. Советский опыт с 1939 по 1956 год, как и последующий опыт применения математических методов в военной экономике, практически не описан, хотя многие документы сегодня открыты, а некоторые публикации довоенного периода были открыты и раньше, но их надо было искать, а новым авторам хотелось быть первыми. С развитием цифровых технологий проблема только усугубилась, причин для этого достаточно, но сейчас речь не о них, а о том, что пока еще можно и нужно сделать. Дело не только в том, что история с «граблями» повторяется, а сложившаяся ситуация крайне невыгодна для России и обидна для тех, кто в курсе прошлых событий и владеет математическими методами за пределами экономической статистики и написания промптов для использования в сетевых сервисах. В частности, речь идет о тропической геометрии и, более широко, об идемпотентной математике. Если линейное программирование появилось в 1939 году в Ленинграде примерно на десять лет раньше, чем на Западе, то идемпотентная математика там же (в Ленинграде) появилась в начале шестидесятых и применялась в расчетах, имеющих прямое отношение к экономике, а также в теории игр. Экономической наукой этот факт замечен относительно недавно и слабо осознан.

Ситуацию здесь можно сравнить с гипотетически возможной сценой, когда экономисты, владеющие методами статистики, приплывают на остров, где проживает племя Нимбу-юмбу с арифметикой «один», «два» и «много». Они хотят применять методы статистики на острове, а для этого нужны помощники из местных, которых надо обучить статистике. Ситуация не безнадежная, но сложная.

Нечто подобное мы имеем сегодня с применением идемпотентной математики в экономике. Проблема отнюдь не чисто российская, она мировая, ирония в том, что опять придумано у нас, а используется меньше, чем, например, в Англии. Если в далекое советское время Канторовича обвиняли в отступлении от принципов марксизма и следовании идеям «фашиста Парето», то сегодня экономисты со студенчества «заточены» под стандарты, принятые на Западе, но результат примерно одинаков.

Резюмируя сказанное, хочется напомнить, что на первые числа марта (2–6) следующего года намечено мероприятие с обсуждением возможностей применения идемпотентной математики в общественных науках, причем не только в экономике, но и в психологии, а также в социологии, если удастся набрать достойных докладчиков. Параллельно предполагается обсудить «опередившие время» достижения СССР в области применения математики и вычислительной техники в управлении экономикой. Кавычки здесь не случайны, речь идет об идеях, своевременных тогда и оставшихся таковыми, но не понятыми ни тогда, ни сегодня. И речь отнюдь не о чиновниках, боящихся нового, или не только о них. В своем последнем интервью с говорящим названием «Смотреть на правду открытыми глазами» Л.В. Канторович отмечал, что предлагавшиеся им методы оказались невыгодны практически всем. Его завету мы будем следовать и дальше, чтобы не обманывать хотя бы себя. Вернемся к содержанию выпуска.

Открывает номер статья Е.Ю. Иноземцевой о конструировании индекса цифровизации отраслей по данным формы № 3-информ за 2021–2024 годы. Автор сознательно отказывается от весов, которые дает метод главных компонент, поскольку они придают наибольшее значение самому массовому, а не самому важному. Экспертные веса проверены анализом чувствительности, и ранговая корреляция с базовым вариантом не опускается ниже 0,995. Это редкий случай, когда экспертный выбор не просто декларируется, а проверяется. Выводы интересны и не всегда приятны. Базовый уровень цифровизации достиг насыщения, корпоративные информационные системы из конкурентного преимущества превратились в стандарт. А блок «генерация данных» оказался единственным, где межотраслевой разрыв растет, причем в целом по экономике этот субиндекс даже снизился. Для любителей громких слов об ИИ-трансформации это прямое предупреждение: без первичных данных алгоритмы работать не будут.

А.И. Стенина оценивает влияние цифровизации на экономическую активность двадцати регионов

России с помощью авторского интегрального индекса и панельных моделей с фиксированными эффектами. Эффект на ВРП и производительность проявляется с лагом в один год, на инновации и инвестиции – в два года. Автор признает, что выборка целевая и на репрезентативность не претендует. Есть и предмет для обсуждения: веса индекса скорректированы по вкладу его блоков в динамику ВРП, а затем тот же ВРП объясняется индексом. Читателю стоит иметь это в виду при интерпретации коэффициентов.

М.А. Лысенкова и Л.Л. Аний включают показатели ИКТ в стохастическую граничную производственную функцию регионов. Капитал и труд, как и следовало ожидать, сохраняют ведущую роль, а из цифровых факторов устойчиво положителен лишь один – компьютеризация рабочих мест. Зато электронный обмен данными между информационными системами дает отрицательный коэффициент. Авторы осторожно предполагают, что более бюрократизированные регионы активнее формализуют документооборот. Наблюдение заслуживает внимания, и не только экономистов. Главное достоинство работы в другом: авторы признают, что компонента неэффективности идентифицируется слабо и гипотезу о ее нулевом значении отвергнуть нельзя. Такая честность в отношении своего результата делает им честь.

В.Ю. Осипов и Л.Н. Федорченко систематизируют тенденции и противоречия цифровой трансформации и предлагают обосновывать решения с помощью прогнозирующего нейроуправления на основе потоковых импульсных рекуррентных сетей с непрерывным обучением. Уместно вспомнить, что эти идеи развивались авторами еще до появления трансформеров, на которых построены нынешние большие языковые модели. Отечественная школа нейросетевого моделирования не начинается и не заканчивается ChatGPT. Непрерывное обучение без трудоемкого переобучения – как раз то направление, где можно ждать роста эффективности, о котором шла речь в предыдущих выпусках. Пример с двумя короткими временными рядами носит иллюстративный характер. К цифре «более 500 принципиально новых технологий к 2032 году» следует относиться как к демонстрации метода, а не как к прогнозу.

Две статьи номера написаны с участием школьников «Школы на проспекте Вернадского» под руководством молодых сотрудников ЦЭМИ РАН. А.А. Иншаков, М.А. Балмакова, Т.А. Яковлев и А.И. Харьков построили в AnyLogic агент-ориентированную модель складской сети Ozon в Московской области. С ее помощью они нашли перегруженные склады и показали, что новый склад в районе Красногорска снимает их перегрузку, хотя нагрузка остается высокой. Д.В. Черненко, Н.А. Бартновский, М.Ю. Зорин и С.М. Парагульгов создали прототип модели распространения радиоактивного облака в 30-километровой зоне Курской АЭС для трех сценариев. В негативном сценарии под угрозой оказываются 13 населенных пунктов с населением более 69 тысяч человек, в позитивном – три пункта с населением около двух тысяч. Авторы сами перечисляют допущения: население неподвижно, распад изотопов и дозовые нагрузки не учитываются. Модель предназначена для сравнения сценариев, а не для расчета доз.

Статья Л.П. Ратмана и Т.А. Костиной о квизе-аукционе как механизме доверия интересна не столько обращением к теме доверия, сколько использованием тропической геометрии для визуализации эмпирических данных, а результат предполагается применить на практике. Строительство дома – типичное благо доверия, качество которого заранее не проверить. Генеративные технологии удешевили внешние признаки профессионализма, и возникла, по меткому выражению авторов, «инфляция впечатления». Предлагаемый выход – изменить не рекламное сообщение, а сами правила взаимодействия, взяв за прототип ассортиментный аукцион П. Клемперера, применявшийся Банком Англии с 2010 года. Стоит напомнить, что сам Клемперер пришел от этого аукциона к тропической геометрии. Неудивительно, что именно она позволяет одним рисунком показать области выбора и границы между ними. А цены отсечения в таком аукционе – это, по существу, двойственные оценки, и здесь мы снова встречаемся с принципом двойственности, о котором уже не раз писали на страницах журнала. Понятие «встречного делегирования контроля», когда продавец первым ограничивает собственную свободу действий, интересно и за пределами строительного рынка. Авторы подчеркивают, что модель еще не прошла эмпирической проверки, и с интересом будут ждать ее результатов.

М.Е. Филькин рассматривает цифровые двойники как интегральную платформу управления объектами возобновляемой энергетики: от мониторинга и прогнозирования до предиктивного обслуживания и поддержки решений. Показательно, что главные ограничения автор видит не в самой технологии, а в качестве и согласованности данных, несовместимости протоколов и кибербезопасности. Из приведенных данных IRENA видно, что солнечная энергетика по установленной мощности уже обогнала гидроэнергетику. Впрочем, установленная мощность и выработка – не одно и то же, особенно для солнца и ветра, и это как раз аргумент в пользу цифровых двойников.

Завершает номер статья Н.С. Андреева о российских моделях управления ИТ-инфраструктурой в условиях ухода западных вендоров. Автор предлагает масштабировать ITSM-решения до отраслевого уровня и отводит ИТ-аутсорсингу роль связующего звена между разработчиками, вендорами и заказчиками. Но для разговора об измерении, с которого мы начали, важнее другое наблюдение. Оценки емкости российского рынка ITSM за 2024 год различаются в разы – от 4,3–8 до 25–35 млрд рублей, а оценки всего ИТ-рынка расходятся на 7 трлн рублей. Рынок, который нельзя согласованно измерить, трудно сделать прозрачным и инвестиционно привлекательным. Так что проблема качественных данных, о которой писали еще сто тридцать лет назад, никуда не делась. Она просто сменила вывеску.

Всем потенциальным читателям желаю, как всегда, увлекательного и не всегда легкого чтения.

Главный редактор журнала д.э.н. А. Н. Козырев

I.НАУЧНЫЕ СТАТЬИ

УДК 338.1: 004.9; 330.35; 303.725.33

1.1. Индекс цифровизации отраслей экономики: конструирование на российских данных

Иноземцева Е.Ю., Экономический факультет МГУ имени М. В. Ломоносова, г. Москва, Россия

Количественная оценка цифровизации остается актуальным вопросом и требует измерителей, чувствительных к структурным особенностям экономики. В статье представлена методология конструирования индекса цифровизации отраслей на основе данных Росстата (форма № 3-информ) за 2021-2024 гг. Индекс состоит из семи функциональных блоков - субиндексов, сгруппированных в 3 эволюционные уровня: базовый, системный и прогрессивный, отражающих иерархию цифровой зрелости. Внутренняя согласованность субиндексов верифицирована методом главных компонент. Разработанный индекс цифровизации в нынешнем виде представляет собой диагностический инструмент для ежегодного мониторинга цифровой трансформации отраслей экономики. Дескриптивный анализ 2021 и 2024 годов показал, что на агрегированном уровне 17 крупных отраслевых разделов по ОКВЭД практически не различаются по уровню оснащенности технологиями в базовом уровне цифровизации. Глубокие разрывы, хотя и сократившиеся за 4 года, наблюдаются в охвате применения корпоративных информационных систем. Установлено, что дата-центричность по итогам 2024 года остается наиболее проблемной зоной цифровой трансформации, и прогрессивный уровень цифровой зрелости суммарно вносит максимальный вклад в сохранение межотраслевой неоднородности. Обнаружено влияние эффекта масштаба на качество цифрового капитала в торговле и финансах: прирост численности организаций привел к размыванию цифрового профиля отрасли, поскольку на рынок зашли игроки, обладающие дефицитом базового цифрового капитала. В отраслях с отрицательной динамикой числа организаций, использующих цифровые технологии, зафиксирован качественный скачок на разных уровнях цифровой зрелости, т.е. уход с рынка свойственен организациям с меньшим цифровым капиталом. Траектория интенсивного масштабирования, при которой рост числа организаций сопровождался ростом системного и прогрессивного уровней цифровизации, выявлена в обрабатывающей и добывающей промышленности, здравоохранении. Главными драйверами цифровизации за исследуемые годы стали корпоративные информационные системы и программные средства для научных исследований и обучения. Использование индекса на более детальном уровне агрегации позволит выявить внутриотраслевые неоднородности.

Введение

Цифровая трансформация экономики признана одним из ключевых драйверов долгосрочного роста и конкурентоспособности. Цифровизация позволяет менять бизнес-модели, перенастраивать цепочки создания стоимости и создавать новые продукты и рынки. Однако количественная оценка влияния цифровизации на экономические показатели сталкивается с фундаментальным методологическим вызовом: отсутствием общепризнанного, универсального, многомерного и одновременно структурно-чувствительного измерителя цифровой зрелости на общеэкономическом и отраслевом уровнях. Потребность в таком измерителе продиктована решением двух взаимосвязанных задач: во-первых, оценка общеэкономической эффективности цифровизации с целью выявления макро-трендов, вклада технологий в рост ВВП и производительность труда, во-вторых, управление темпами освоения цифровых инструментов и их реальной отдачей в разных видах деятельности, корректно сопоставляя траектории развития отраслей и согласовывая их динамику с общеэкономическими трендами.

С одной стороны, имеются классические исследования, анализировавшие вклад ИКТ в экономический рост с помощью параметров объема и качества ИКТ-капитала и труда, которые выявили значимый вклад цифровых технологий в рост выпуска и производительность в США в период с 1995 по 2006 годы (Oliner et al., 2007; Jorgenson, Ho & Stiroh, 2008). Однако авторы рассматривали эффекты цифровизации с акцентом на сферу услуг, не уделив достаточного внимания резкому росту производительности в сельском хозяйстве за те же годы из-за его малой доли в ВВП. При этом их новацией стало разделение отраслей на две группы: производителей ИКТ и пользователей ИКТ. С другой стороны, было установлено, что краткосрочная отдача от компьютеризации малозаметна, и основной эффект материализуется лишь на горизонте 5-7 лет через комплементарные инвестиции в организационный капитал (Brynjolfsson, Hitt, 2003). Очевидно, срок отдачи от внедрения цифровых инструментов варьируется от отрасли к отрасли в силу различий масштабов, структуры затрат и проникновения ИКТ через промежуточное потребление. С тех пор предпринималось немало попыток определения временных горизонтов ожидания значимых результатов и обеспечения мониторинга динамики цифровизации и ее эффектов.

Количественное измерение цифровизации отраслевой экономики было представлено в методе ученых ОЭСР для ранжирования отраслей по 5 ключевым метрикам: доля инвестиций в ИКТ, закупки ИКТ-товаров, плотность использования роботов, доля ИКТ-специалистов и оборот онлайн-продаж (Calvino et al., 2018). В данном случае процесс цифровизации проявляется в его технологической компоненте, наличии достаточного числа специалистов в области ИКТ и изменениях поведения фирм. Исследование опиралось на сравнение периодов 2003-2005 и 2013-2015 годов. Однако, в этой методологии задействованы стоимостные оценки, требующие использование страновых и отраслевых дефляторов, которые имеют свой недостаток. При этом глобальный межстрановой рейтинг и отраслей не обновлялся с тех пор, и исследователи ОЭСР предлагают другие виды оптики в текущих аналитических докладах, так и не определившись с единой методологией.

Другие международные подходы измерения цифровизации, такие как Индекс цифровой экономики и общества ЕС (DESI), применяются для межстрановых сравнений, но опираются на агрегированные индикаторы и экспертно назначаемые веса, обоснованные политическими приоритетами цифровой трансформации ЕС, что затрудняет их адаптацию для общеэкономического и отраслевого анализа на российских данных.

Новацией стало введение в оборот задачного подхода (англ. task-based approach), постулирующего перенос информации и знаний физического мира и человеческого сознания в цифровую среду, который позволяет оценить охват цифровыми инструментами и ИИ-агентами рутинных задач (Brynjolfsson, McAfee, 2014; Brynjolfsson, Mitchell, 2017). При таком подходе производственная функция отрасли моделируется как непрерывный спектр задач, и анализ строится в двух разнонаправленных процессах: эффекте замещения, при котором автоматизация снижает долю труда, и эффекте создания, порождаемом технологическим прогрессом, при котором человек привлекается к более сложным задачам (Acemoglu, Restrepo, 2018).

В российском дискурсе значительная часть работ по оценке эффективности цифровизации сфокусирована на четырех направлениях: анализ влияния в отдельных отраслях или комплексах отраслей, пространственные сопоставления стран и регионов, ранжирование отраслей по уровню использования отдельных цифровых технологий, поиск эффектов на показателях групп компаний. Общим местом является подход, при котором для оценки цифровой зрелости экономики объединяются в одном индексе показатели разной природы: стоимостные (затраты на цифровые технологии) и технологические (навыки, использование непосредственных инструментов) (Васильковский и соавторы, 2022). Такое смешение затрудняет выделение собственно технологического вклада цифровизации в показатели эффективности, смещает оценки в сторону отраслей с большей финансовой мощью.

Для российской экономики, характеризующейся значительной дифференциацией отраслей по уровню технологического развития, доле малого бизнеса и охвату статистическим наблюдением, требуется инструмент, который не просто ранжирует отрасли по уровням цифровизации, а способен улавливать стадии технологической диффузии и институциональные особенности, то есть позволял бы отделить технологический профиль от финансовой емкости. Согласно модели диффузии инноваций Роджерса, технологии распространяются волнообразно (Rogers, 1983), поэтому реальную цифровизацию определяет не количество потраченных денег, а какой процент рабочих мест, процессов или компаний физически используют цифровые инструменты. Уход от стоимостных оценок в сторону показателей охвата инструментов представляется верной стратегией при конструировании универсального индикатора цифровизации. При этом главным методологическим вызовом при создании такого измерителя является возможность учета масштаба и специфики отраслей.

В академической литературе для количественной оценки различных процессов и явлений широко применяются методы построения интегральных индексов, обобщенные в Руководстве ОЭСР. Стандартным приемом агрегирования выступает метод главных компонент (PCA), который максимизирует объясненную дисперсию. Однако, как отмечается в методической литературе, такой подход придает наибольший вес самым массовым, а не наиболее стратегически значимым компонентам, что противоречит интуитивным представлениям о свойствах цифровизации. Помимо этого, главный вызов при конструировании индексов связан не столько с выбором схемы агрегирования, но в первую очередь, с формированием самого набора компонентов. Один и тот же набор статистических показателей может быть скомпонован в различные группировки, специфика которых неизбежно несет отпечаток экспертных представлений о структуре анализируемого явления, что создает риски доверия к интегральным измерителям, как объективному инструменту.

Целью настоящего исследования стала разработка индекса цифровизации отраслей российской экономики, отвечающего следующим требованиям: (а) чувствительность к стратегически значимым, но еще не массовым направлениям цифровой трансформации; (б) способность различать структурную гетерогенность эффектов - от технологического драйвера в отраслях с низкой цифровой зрелостью до насыщения у лидеров; (в) прозрачность и воспроизводимость методологии на основе открытых данных Росстата.

Статья построена следующим образом: в разделе «данные и методы» описываются данные, их ограничения, процедура формирования функциональных блоков, обосновывается нормативно-целевой подход в определении экспертных весов каждого субиндекса, описывается методология агрегирования индекса; в разделе «результаты и обсуждение» представлены результаты анализа распространения

цифровых инструментов в отраслях экономики, разрывы в уровнях цифровизации и цифрового капитала в отраслях экономики, сравнение индекса цифровизации в 2021 и 2024 годы; в разделе «заключение» намечаются направления будущих исследований.

Данные и метод

Эмпирическая база исследования

Основу данных для разработки индекса цифровизации отраслей экономики России составили таблицы ежегодных наблюдений Росстата за 2021-2024 годы, собранные по форме №3-информ «Сведения об использовании цифровых технологий и производстве связанных с ними товаров и услуг». Указанные таблицы довольно содержательны, однако не включают сведения об использовании технологий распределенных реестров (блокчейн), беспилотных летательных аппаратов, автономных транспортных средств (кроме 2023 года), виртуальной и дополненной реальности (VR/AR), которые относят к технологиям цифровой экономики и целесообразно учитывать при формировании полноценной картины. С одной стороны, набор использованных таблиц в качестве эмпирической базы является достаточным для определения статуса цифровизации по основным направлениям трансформации, с другой - обусловлен непостоянством и изменчивостью формы «3-информ», которую обязаны ежегодно заполнять организации. В этом смысле наличие более развернутых данных в будущем позволит усилить уровень методологической строгости. К тому же в таблицах Росстата пропущены данные по 2 включенным в индекс показателям для всех объектов наблюдений: использование организациями технологии сбора, обработки и анализа больших данных за 2022 год и центры обработки данных (ЦОД) за 2021-2022 годы. Указанные технологии носят стратегический характер для цифровой трансформации, поэтому не были исключены из индекса, несмотря на пропуски в данных. В соответствии с рекомендациями международного руководства по построению сводных индикаторов приоритет был отдан прозрачности, поэтому пропуски не были синтезированы. В целом, информационную базу для данного исследования представляет относительно сбалансированная панель за 4 года для 17 агрегированных видов экономической деятельности по ОКВЭД.

Важно учитывать, что непосредственно по форме 3-информ данные собираются с организаций, не относящихся к субъектам малого предпринимательства, для которых установлена отдельная форма № 3-информ (МП) "Сведения об использовании цифровых технологий малым предприятием". Таблицы с результатами наблюдений, сформированные по форме № 3-информ (МП), в открытых источниках Росстата отсутствуют, поэтому эмпирическая база индекса цифровизации не охватывает всю экономику и характеризует так называемое технологическое ядро исследуемых отраслей и экономики в целом. В любом случае, при формировании общих выводов мы исходим из того, что представленные результаты и сконструированный индекс базируются на данных организаций, в которых работает подавляющее большинство работников отраслей.

Формирование функциональных блоков цифровизации

Интегральный индекс цифровизации базируется на линейной комбинации 7 субиндексов, представляющих из себя функциональные блоки, в которых абсолютное число организаций, применявших ту или иную технологию, преобразуется в относительные величины охвата отрасли. Чтобы обеспечить сопоставимость всех показателей и отразить уровень цифровизации среди организаций, уже вовлеченных в использование информационно-коммуникационных технологий (ИКТ), в качестве единого знаменателя для всех объектов используется показатель «Число организаций, использовавших цифровые технологии, всего» таблицы «1_ОКВЭД» набора «3-информ» в исследуемый период. Таким образом, каждая переменная рассчитывается как удельный вес организаций, внедривших конкретный инструмент, от общего числа организаций, охваченных цифровыми технологиями в соответствующем году и отрасли.

Ключевыми инструментами цифровизации являются технологии и решения, которые позволяют автоматизировать процессы сбора, обработки и анализа данных, оптимизировать взаимодействие участников и учет бизнес-операций. Для оценки проникновения цифровой экономики технологии и программное обеспечение в количестве 42 единиц были распределены по функциональным блокам (субиндексам), каждый из которых отражает самостоятельное стратегическое направление цифровизации. При формировании функциональных блоков автор опирался на экономическую логику и практику корпоративного управления, однако для проверки внутренней гомогенности сформированных блоков был использован метод главных компонент (PCA), что позволило подтвердить многомерность структуры цифровизации.

Таблица 1. Состав функциональных блоков (субиндексов) цифровизации

Функциональный блок (субиндекс)	Набор показателей по числу организаций, использовавших ИКТ инструменты:	Источник данных в составе таблиц 3-информ	Кол-во показателей	Суммарная доля объясненной дисперсии (первые 3 компоненты)
ИТ-инфраструктура	серверы, фиксированный (проводной и беспроводной) интернет, мобильный интернет, центры обработки данных (ЦОД), облачные сервисы	№ 1_ОКВЭД	5	87%
Цифровое взаимодействие	веб-сайт в интернете, цифровые платформы, аккаунт в социальной сети, электронный обмен данными между своими и внешними информационными системами по форматам обмена, системы электронного документооборота, редакционно-издательские системы, электронные справочно-правовые системы, специальные программные средства для предоставления доступа к базам данных предприятия через глобальные информационные сети, включая сеть интернет, для осуществления финансовых расчетов в электронном виде	№ 1_ОКВЭД № 31_ОКВЭД	9	81%
Программное обеспечение для науки и обучения	Специальные программные средства для научных исследований и обучающие программы	№ 31_ОКВЭД	2	-
Умное производство	промышленные роботы / автоматизированные линии, аддитивные технологии, цифровой двойник, специальные программные средства для управления автоматизированным производством и/или отдельными техническими средствами и технологическими процессами, проектирования / моделирования (CAD/CAE/CAM/CAO), PLM / PDM системы	№ 1_ОКВЭД № 31_ОКВЭД	6	95%
Эффективные бизнес-процессы	Специальные программные средства для управления закупками товаров (работ, услуг), для управления продажами товаров (работ, услуг), для управления складом, CRM системы, ERP системы, SCM системы, HRIS	№ 31_ОКВЭД	7	93%
Генерация данных	геоинформационные системы, интернет вещей, технологии радиочастотной идентификации объектов (RFID), технологии сбора, обработки и анализа больших данных	№ 1_ОКВЭД	4	94%
Кибербезопасность	специальные программные средства для обеспечения информационной безопасности, средства шифрования, средства строгой аутентификации, резервное копирование данных на носители, находящиеся физически не на территории организации, биометрические средства аутентификации пользователей, программные/ аппаратные средства, препятствующие несанкционированному доступу вредоносных программ из глобальных информационных/ локальных вычислительных сетей (брандмауэр), спам - фильтр, системы обнаружения вторжения в компьютер или сеть, программные средства автоматизации процессов анализа и контроля защищенности компьютерных систем	№ 31_ОКВЭД № 33_ОКВЭД	9	96%

Разработано автором по данным Росстат https://rosstat.gov.ru/statistics/science

Субиндекс «ИТ-инфраструктура» характеризует физическую и облачную вычислительную базу, без которой невозможна цифровизация. Подключение к фиксированному и мобильному интернету отражает базовую связность, наличие серверов и центров обработки данных свидетельствует о вычислительных мощностях, а использование облачных сервисов - о переходе к модели инфраструктура, как услуга

(IaaS) и платформа, как услуга (PaaS). Субиндекс «Цифровое взаимодействие» охватывает инструменты, которые меняют форму внешних связей организаций и внутренних коммуникаций. Веб-сайт, социальные сети и цифровые платформы обеспечивают присутствие в интерактивной среде, системы электронного документооборота (ЭДО), обмена данными и цифровые каналы для финансовых расчетов ускоряют документооборот и транзакции, справочно-правовые системы упрощают процесс обеспечения актуальности нормативных материалов, связанных с правоприменением, редакционно-издательские системы востребованы для автоматизации работы с контентом, системы доступа к базам данным расширяют информационные возможности. Субиндекс «ПО для обучения и науки» был выделен в отдельный функциональный блок, поскольку отражает инвестиции в человеческий капитал и инновационный потенциал организаций, которые необходимо мониторить отдельно от других инструментов, так как характеризуют будущие возможности организаций. Программы для научных исследований используются в R&D, а обучающие платформы - для развития компетенций персонала, что является необходимым условием эффективной цифровой трансформации. Переменные, характеризующие данные инструменты, имеют высокую положительную корреляцию, что подтверждает их совместное движение. Субиндекс «Умное производство» объединяет производственные и инженерные технологии, трансформирующие промышленные процессы: роботы и аддитивные технологии автоматизируют физический труд, программные средства CAD/CAE и PLM оцифровывают процесс проектирования и жизненный цикл изделия, цифровой двойник создает виртуальную модель объектов. Мы ожидаем, что данный субиндекс будет выше в реальном секторе, нежели в сфере услуг, тем не менее выделяем его в отдельную сущность ради мониторинга технологической трансформации отраслей экономики. Субиндекс «Эффективные бизнес-процессы» охватывает корпоративные системы управления ресурсами, цепочками поставок и взаимоотношениями с клиентами. Такие информационные системы, как ERP и SCM автоматизируют основные бизнес-процессы, CRM - взаимодействие с клиентами, HRIS - управление кадрами, специализированные модули закупок, продаж и складского хозяйства обеспечивают сквозную автоматизацию. Субиндекс «Генерация данных» отражает способность организаций генерировать и обрабатывать данные в реальном времени без значительного ручного вмешательства. Технологии интернет вещей и RFID обеспечивают автоматический сбор первичных данных, технологии больших данных - их групповую обработку, а ГИС - пространственный анализ. Субиндекс «Кибербезопасность» отражает уровень защищенности цифровой среды. Поскольку цифровизация повышает уязвимость к киберугрозам, использование комплексных средств защиты является неотъемлемым элементом цифровой зрелости.

Указанные инструменты все вместе формируют цифровой капитал организаций и создают основу для внедрения искусственного интеллекта. Соответственно мониторинг их охвата позволяет оценить готовность организаций и отраслей к ИИ-трансформации. В то же время представленные семь функциональных блоков охватывают ключевые стороны цифровизации от базовой инфраструктуры до средств защиты. Каждый блок прошел проверку на внутреннюю согласованность, что подтверждает целесообразность объединения указанных инструментов в соответствующие субиндексы. Агрегирование внутри блоков произведено по средневзвешенным удельным весам организаций, нормированных числом потенциально возможных инструментов в блоке. Формула для субиндекса имеет вид:

$$SubDig_j = \frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^{n_j} \frac{\mathrm{Opr_{ij}}}{\mathrm{TotalOrg}} \quad (1),$$

где $SubDig_j$ - значение j-го субиндекса, $\mathrm{Opr_{ij}}$ - число организаций, использующих i-й инструмент в j-м блоке, $\mathrm{TotalOrg}$ - общее число организаций, использовавших цифровые технологии в данном году / отрасли, n_j - потенциальное количество инструментов в блоке.

Формирующие общий индекс субиндексы имеют единую шкалу измерения, что отвечает признакам прозрачности и соответствует концепции диффузии цифровизации среди охваченных хотя бы базовыми цифровыми технологиями организаций. Целесообразность объединения семи функциональных блоков в единый показатель продиктована результатами теста на мультиколлинеарность (Variance Inflation Factor), который выявил его критический уровень, что указывает на взаимную корреляцию собранных блоков. Данная ситуация отражает фундаментальное свойство цифровизации как системного процесса: технологии внедряются комплексно, что оправдывает их объединение в единый интегральный показатель.

Также примененный метод главных компонент подтвердил свойство цифровизации как многомерного процесса, в котором наряду с общим уровнем технологической оснащенности, существуют два независимых вектора: ориентация на генерацию и анализ данных и продвинутые производственные практики, трансформирующие бизнес-модель. Но PCA из-за слабой корреляции двух этих блоков с остальными субиндексами принижает их значимость за то, что они еще не стали массовыми. Поскольку в рамках исследования поставлена задача создать инструмент, чувствительный к прогрессу в ключевых направлениях цифровой зрелости, то цифровизация рассматривается автором как иерархический процесс, в котором развитие базовой ИТ инфраструктуры и цифровое взаимодействие являются гигиеническим минимумом существования любой организации, в то время как корпоративные информационные системы, генерация, сбор и анализ объективных данных и другие инструменты пока еще позволяют компаниям дифференцироваться и получать конкурентное преимущество. Соответственно конструирование интегрального индекса должно отвечать следующим целям: отражать стратегические приоритеты, быть чувствительным к ранним стадиям диффузии, обеспечивать сопоставимость во времени и между отраслями, не меняя веса при каждом обновлении выборки. Этим требованиям отвечает нормативно-

целевой подход, при котором веса субиндексов назначаются экспертной оценкой, исходя из их роли в исследуемом явлении, в нашем случае, цифровой трансформации, а не согласно статистической дисперсии. Экспертное назначение весов позволило интегрировать все факторы в единый индекс, обеспечив его чувствительность к высокотехнологичным изменениям.

В итоге, для комплексной оценки цифровизации был сконструирован интегральный индикатор, включающий 7 субиндексов, распределенных по 3 группам, соответствующим иерархическим уровням цифровизации: базовой, системной и прогрессивной. Такая группировка позволяет получать сводные оценки, выявлять драйверы, и обеспечивать многоуровневую интерпретацию эффектов цифровизации. Формула для интегрального индекса цифровизации имеет вид:

$$DigIndex = \sum_{j=1}^{7} \left(SubDig_j \times w_j\right) \times 100 \quad (2),$$

где $SubDig_j$ - значение j-го субиндекса, w_j - экспертно-назначенный вес j-го субиндекса.

Таблица 2. Структура индекса цифровизации отраслей экономики

Уровень цифровизации	Субиндекс	Вес субиндекса
Базовый 25%	ИТ-инфраструктура	12.5%
	Цифровое взаимодействие	12.5%
Системный 25%	Эффективные бизнес-процессы	20%
	Кибербезопасность	5%
Прогрессивный 50%	Программное обеспечение для науки и обучения	10%
	Умное производство	10%
	Генерация данных	30%

Разработано автором по данным Росстат https://rosstat.gov.ru/statistics/science

У каждой ступени своя роль в цифровой иерархии: на базовом уровне происходит создание минимальной технологической среды существования организации в цифровой экономике, используются технологии общего назначения, доступные большинству организаций и не требующие значительных компетенций и затрат на внедрение; на системном уровне происходит автоматизация ключевых операций и поддержка их устойчивости, на прогрессивном уровне, наиболее продвинутом, создаются способности к непрерывному совершенствованию на основе данных и передовых технологий. Цифровая экономика предполагает наличие базовых компонентов (серверы, фиксированный интернет, мобильный интернет, центры обработки данных и облачные сервисы) у каждой компании. Мы ожидаем максимальное значение субиндекса «ИТ-инфраструктура» во всех отраслях, и при весе в 12.5% данный блок будет иметь вклад 12.5 пунктов в интегральном уровне. Такой же вес был присвоен функциональному блоку «цифровое взаимодействие», также отнесенному к базовому уровню цифровой иерархии. Аналогичной логикой автор руководствовался при назначении весов для остальных функциональных блоков. Информационная безопасность относится к вспомогательным инструментам, поэтому функциональный блок «Кибербезопасность» получил 5% вес в конфигурации интегрального индекса цифровизации. Внутри прогрессивного уровня субиндекс «генерация данных» получает более высокий вес, чем умное производство, поскольку способность генерировать и анализировать данные является универсальной характеристикой цифровой зрелости для любой отрасли, тогда как умное производство в большей степени специфично для реального сектора экономики. Суммарные веса для базового и системного уровней составляют по 25%, а у прогрессивного - 50%. Такой подход подчеркивает приоритетную значимость прогрессивного уровня в формировании итогового значения индекса цифровизации и обеспечивает повышенную чувствительность индекса к изменениям в этой группе.

Для оценки устойчивости итогового индекса к выбору весовых коэффициентов был проведен анализ чувствительности. Вес каждого из семи субиндексов поочередно изменялся на ±5 процентных пунктов с пропорциональной корректировкой остальных весов для сохранения их суммы равной единице. Для каждого из 14 сценариев рассчитывался отраслевой индекс, и его ранжирование сопоставлялось с базовым с помощью коэффициента ранговой корреляции Спирмена. Минимальное значение корреляции составило 0,995 ($p < 0,001$), среднее - 0,997. Столь высокая устойчивость свидетельствует о том, что возможные погрешности в назначении экспертных весов не оказывают значимого влияния на содержательные выводы об уровне цифровой зрелости отраслей.

Результаты и обсуждение

Охват цифровыми инструментами отраслей экономики

Декомпозиция сквозного процесса цифровизации на семь изолированных функциональных блоков позволила сформировать многомерный профиль распространения цифровых инструментов в разрезе 17 отраслей российской экономики. На рис. №1 представлен охват цифровых инструментов и физический масштаб анализируемых отраслей. Ранжирование отраслей осуществлено по убыванию, при этом в качестве объективного бенчмарка в рейтинг интегрирован агрегат «вся экономика», соответствующий объекту «114.АГ» в таблицах Росстата.



Рисунок 1. Охват цифровых инструментов в отраслях российской экономики в 2024 г.

Источник: составлено автором по данным Росстат https://rosstat.gov.ru/statistics/science

В 2024 году лидером по распространению цифровых инструментов и абсолютному количеству организаций, использующих цифровые технологии и попавших в наблюдение Росстата по форме №3-информ, являлся вид деятельности «торговля оптовая и розничная; ремонт автотранспортных средств и мотоциклов», на втором месте оказалась обрабатывающая промышленность, на третьем - «деятельность финансовая и страховая». Цифровым аутсайдером определена «деятельность в области культуры, спорта, организации досуга и развлечений». Срез 2024 года демонстрирует, что весомый блок экономики «государственное управление и обеспечение военной безопасности; социальное обеспечение» значительно отстает от общеэкономического уровня и внедряет цифровые инструменты медленно. Анализ структуры левой панели позволяет верифицировать неравномерность цифровизации среди всех отраслей экономики: более высокая плотность блоков «кибербезопасность», «цифровое взаимодействие» и «ИТ-инфраструктура» при относительно слабом охвате инструментов «эффективные бизнес-процессы», «ПО для обучения и науки», «умное производство» и «генерация данных».

Группировка 7 субиндексов в соответствии с иерархическими уровнями цифровизации: базовым, системным и прогрессивным, и сравнение их статусов по каждой отрасли в 2021 и 2024 годы позволила выявить сдвиг в цифровой трансформации экономики России: переход от насыщения базовыми инструментами к стадии более интенсивной системной интеграции цифровых инструментов и общего выравнивания уровней.

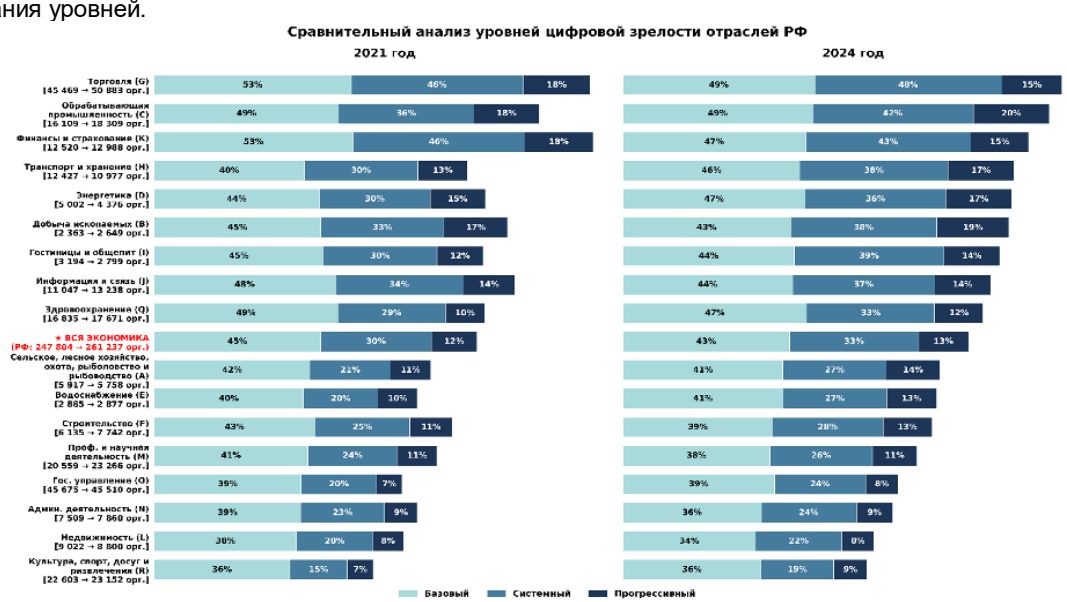


Рисунок 2. Сравнительный анализ уровней цифровой зрелости отраслей России в 2021 и 2024 гг.

Источник: составлено автором по данным Росстат https://rosstat.gov.ru/statistics/science

Во всех отраслях значение базового уровня больше системного, который, в свою очередь, больше прогрессивного, что подтверждает иерархическое или поступательное внедрение цифровых инструментов. Общеэкономический тренд демонстрирует умеренный рост числа организаций, использующих цифровые технологии (+5%), сопровождающийся снижением охвата цифровых инструментов на базовом уровне с 45% до 43%, в то время как системный и прогрессивный слои приросли на 3 п.п. и 1 п.п. соответственно. Данная динамика отражает неравномерное влияние эффекта масштаба на качество цифрового капитала. Межотраслевой анализ выявил три траектории цифровой эволюции российской экономки. На фоне прироста численности организаций в торговле, финансах и ИКТ произошло размывание цифрового профиля, поскольку на рынок зашли новые игроки, обладающие дефицитом первичного цифрового капитала. Траектория интенсивного масштабирования обнаружена в обрабатывающей промышленности: здесь прирост отрасли на 12% организаций не привел к размыванию структуры цифрового профиля, а обеспечил рост системного (+ 6 п.п.) и прогрессивного (+2 п.п.) уровней. Похожая траектория наблюдается в добывающей промышленности и здравоохранении. В отраслях с отрицательной динамикой числа организаций, использующих цифровые технологии, зафиксирован качественный скачок на разных уровнях цифровой зрелости. В транспорте и хранении, энергетике, первичном секторе АПК, гостиничном бизнесе и общепите произошел значительный рост охвата цифровыми инструментами, как на системном, так и на прогрессивных уровнях, а в транспорте, энергетике и водоснабжении подрос и базовый слой. Приведенные замеры фиксируют уход с рынка компаний с меньшим цифровым капиталом. Важным аналитическим выводом исследования является фиксация межотраслевых разрывов: базовый уровень достиг технологического насыщения на уровне 42.5%, в то время как системный уровень с диапазоном значений 19-48% выступает главной зоной межфирменной конкуренции и эффективности, требующей глубокой перестройки систем управления бизнес-процессами. При этом прогрессивный слой закрепил за собой статус зоны генерации стратегических конкурентных преимуществ и технологической трансформации, отрыв в которой определяет отрасли-драйверы экономического роста. Указанные выводы подтверждаются сопоставлением коэффициентов вариации субиндексов за 2021 и 2024 годы:

Таблица 3. Количественная оценка межотраслевой неоднородности уровня цифровизации отраслей

Коэффициент вариации (CV)	Уровень цифровизации	Функциональный блок	2021	2024
	Базовый	ИТ-инфраструктура	0.1134	0.1183
		Цифровое взаимодействие	0.1409	0.1347
	Системный	Эффективные бизнес-процессы	0.5110	0.3446
		Кибербезопасность	0.2534	0.2356
	Прогрессивный	Программное обеспечение для науки и обучения	0.4336	0.2357
		Умное производство	0.6959	0.4559
		Генерация данных	0.2325	0.3013
	Общий	Индекс цифровизации	0.2163	0.1994

Источник: рассчитано автором по данным Росстат https://rosstat.gov.ru/statistics/science

Отрасли практически не различаются по уровню оснащенности технологиями на базовом уровне цифровизации - коэффициент вариации (CV) имеет стабильное значение в 2021 и 2024 годы - конвергенция достигнута. Т.е. инфраструктура и базовые каналы коммуникации не создают рыночной дифференциации и не выступают драйверами конкурентоспособности, разброс между отраслями на этом уровне минимален. Наиболее тектонические сдвиги зафиксированы на системном уровне в блоке «эффективные бизнес-процессы», где произошел чистый прирост среднего балла при одновременном радикальном падении коэффициента вариации. ERP, CRM, SCM и прочие корпоративные системы управления, считавшиеся в 2021 году конкурентным преимуществом, к 2024 году становятся институциональным стандартом для экономики. Блок «умное производство» также исходно отличался очень высокой степенью неравенства и даже при значительном снижении коэффициента вариации в исследуемый период, межотраслевой разрыв все еще остается самым значимым, что указывает на сохранение существенной отраслевой специфики: многие виды деятельности сектора услуг и сырьевые отрасли еще далеки от насыщения технологиями Индустрии 4.0. Значительное снижение относительного разброса зафиксировано в блоке инструментов «ПО для науки и обучения», вероятно свою роль сыграл общий тренд на корпоративное онлайн-обучение. Разрыв по глубине внедрения сократился во всех функциональных блоках, кроме генерации данных, где дифференциация не сглаживается, а, напротив, усиливается, то есть дата-центричность остается наиболее проблемной зоной цифровой трансформации. Суммарно прогрессивный уровень вносит максимальный вклад в сохранение межотраслевой цифровой дивергенции.

Коэффициент вариации общего индекса цифровизации сократился с 0.2163 в 2021 г. до 0.1994 в 2024 г., что указывает на постепенное подтягивание отстающих отраслей к лидерам. Однако анализ табл. 3 показывает, что общий индекс скрывает структурные диспропорции, поэтому контроль статуса цифрового неравенства в экономике целесообразно осуществлять именно в функциональном разрезе, чтобы не пропустить усиление структурной неоднородности при цифровой трансформации и переходе к экономике данных.

Уровень цифровизации экономики

Представленный выше многомерный анализ функциональных блоков и иерархических уровней цифровизации позволил сформировать карту цифрового ландшафта отраслей российской экономики. Однако прямое суммирование субиндексов исходит из ложной предпосылки о равной значимости каждого функционального направления для экономического роста. В реальной экономической системе технологии имеют разную предельную полезность и транзакционную значимость. Количественное измерение цифровизации мы предлагаем осуществлять посредством сконструированного индекса с экспертно-заданными весами, отражающими стратегическую значимость каждого функционального блока в процессах генерации добавленной стоимости. Наивысший вес присвоен блокам «генерация данных» (30%) и «эффективные бизнес-процессы» (20%), поскольку именно они выступают ключевыми драйверами цифровизации. На наш взгляд, экспертные веса не искажают объективную структуру данных, а выступают в роли нормативно-целевого фильтра, обеспечивая чувствительность индекса к цифровой трансформации экономики, что в будущем планируется подтвердить при оценке эффектов на макроэкономических данных.

Значение индекса агрегировано по всем видам экономической деятельности по итогам 2024 года составило 24.2 п.п., опустившись на 0.1 п.п. по сравнению с результатом 2021 года, т.е. цифрового рывка в целом по экономике за указанный период не произошло, напротив приток новых организаций несколько ухудшил цифровой капитал экономики. Положительный вклад в общеэкономический уровень цифровизации был обеспечен ростом значений субиндексов «эффективные бизнес-процессы» на 1.4 п.п. - отрасли оптимизируют управление ресурсами, «ПО для науки и обучения», который прибавил за весь период 0.7 п.п., и «умное производство», выросший на 0.2 п.п., рис. 3:

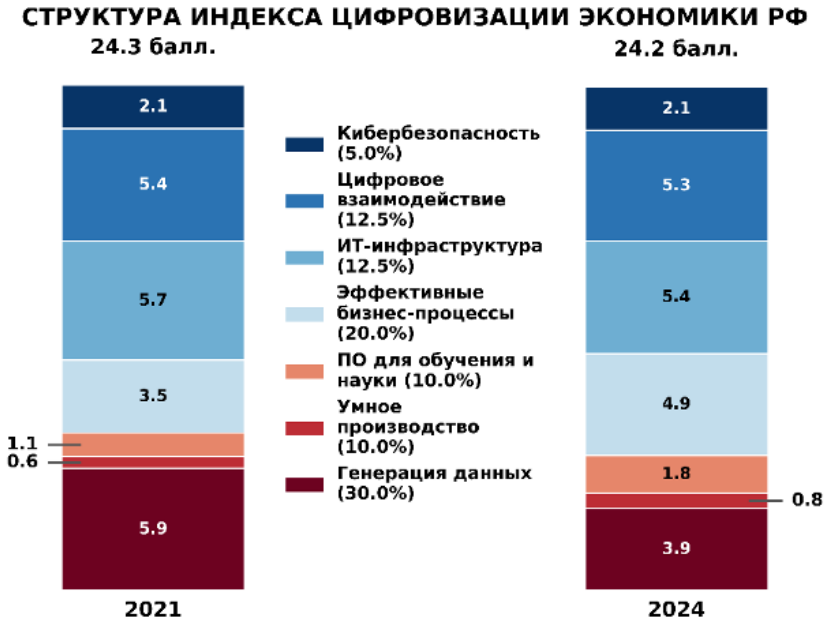


Рисунок 3. Функциональная структура индекса цифровизации российской экономики в 2021 и 2024 гг.

Источник: составлено автором по данным Росстат https://rosstat.gov.ru/statistics/science

Незначительная отрицательная динамика отмечается в базовом уровне цифровой иерархии: субиндексе «ИТ-инфраструктура» на 0.3 п.п. и «цифровое взаимодействие» на 0.1 п.п., как было определено выше, связано с притоком организаций с дефицитом цифрового капитала. Играющий ключевую роль в экономике данных субиндекс «генерация данных» потерял еще больше – почти 2.0 п.п. в 2024 году к 2021 году, что свидетельствует о существенном снижении интенсивности сбора данных в целом по экономике, либо является следствием ограничения данных. В любом случае, отсутствие роста субиндекса «генерация данных» является прямым вызовом стратегии ИИ-трансформации, поскольку без притока первичных данных эффективность алгоритмов не будет проявляться в полной мере.

Заметно сформировавшееся плато по уровню кибербезопасности в индексе цифровизации по двум причинам: зрелость рынка информационной безопасности и его высокая степень локализации, что делает доступным массовое использование российскими организациями средств защиты информации, по которым Росстат ведет наблюдение. Это согласуется с сильными компетенциями и суверенным положением России в сфере информационной безопасности (Симонов, Хаматханова, Лысенко, 2025). Высокая доля организаций, использующих средства информационной защиты, не является цифровым рывком, а скорее следствием технологической зрелости нашей страны: экономической и физической доступности необходимых инструментов по данному направлению. Отсутствие роста вклада субиндекса «кибербезопасность» в общий индекс свидетельствует о достижении технологического насыщения в средствах защиты - база сформирована и просто поддерживается.

Индекс является удобным инструментом для межотраслевого анализа, отражая уровень цифрови-

зации доминирующей части экономики, но может быть смещен для отраслей, где малый бизнес составляет значимую роль. Напомним, что технологическое ядро, которое измеряет индекс, это организации, формирующие основной объем выпуска и занятости в большинстве отраслей. На рис. 4 представлена визуализация отраслевого среза по итогам 2024 года относительно 2021 года в рамках единой методологии. Итоговый балл отражает взвешенную долю внедренных цифровых инструментов максимально возможного потенциального пула, что гарантирует сквозную сопоставимость отраслей во времени и пространстве независимо от объема и структуры объектов наблюдения.

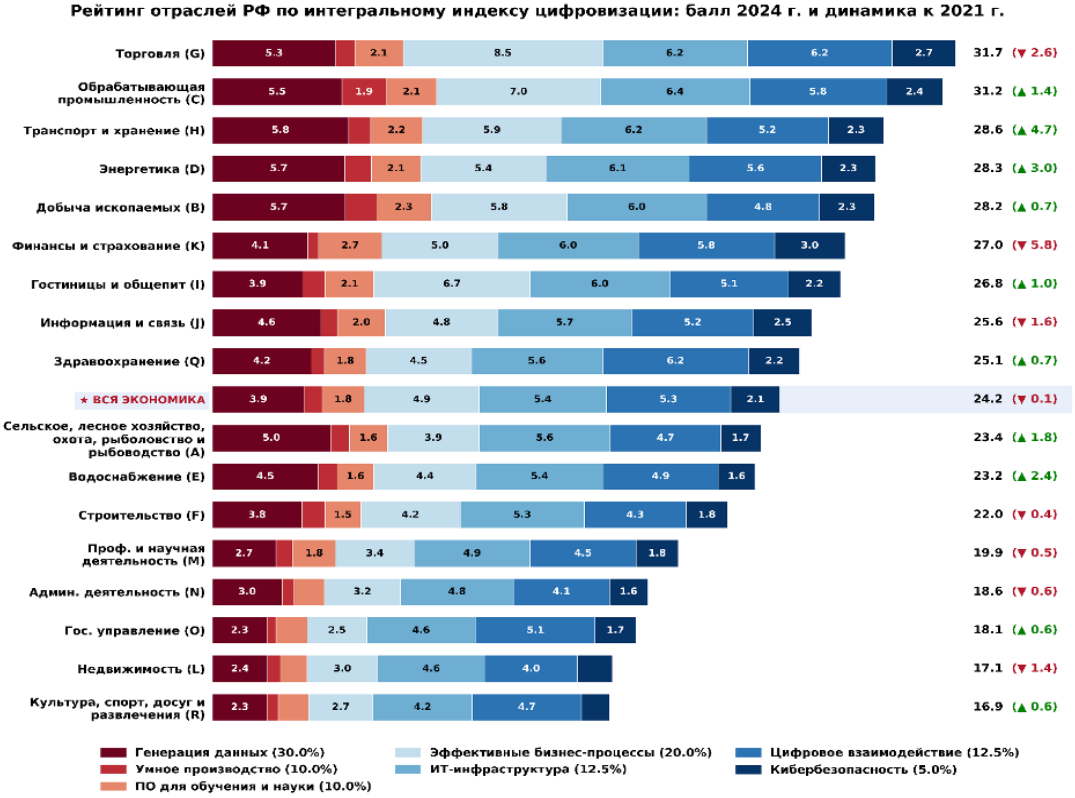


Рисунок 4. Отраслевой рейтинг по уровню цифровизации по итогам 2024 года

Источник: составлено автором по данным Росстат https://rosstat.gov.ru/statistics/science

Сопоставление рейтингов по охвату цифровых инструментов на рис.1 и итоговому индексу на рис. 4 позволяет выявить отрасли, которые могут казаться лидерами за счет массового внедрения базовых технологий при неразвитых системных и прогрессивных ступенях цифровизации.

По интегральному индексу торговля (31.7) и обрабатывающая промышленность (31.2) – два бесспорных лидера цифровизации. Финансовый сектор по интегральному индексу уже не занимает третье место, как по охвату цифровых инструментов. Отрасли «транспорт и хранение» (28.6) и «энергетика» (28.3) совершили качественный рывок за 4 года, очень интересно, насколько это отразится на показателях эффективности этих отраслей. К видам деятельности, достигшим уровня цифровизации выше общеэкономического в 2024 году, относятся также добывающая промышленность (28.2), финансовый сектор (27.0), гостиницы и общепит (26.8), информация и связь (25.6) и здравоохранение (25.1). Ниже общеэкономического значения индекса цифровизации расположились отрасли сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство (23.4), водоснабжение (23.2), строительство (22.0), профессиональная и научная деятельность (19.9), административная деятельность (18.6), государственное управление (18.1), недвижимость (17.1), культура, спорт, досуг и развлечения (16.9).

Вид деятельности «транспортировка и хранение» показал рекордный прирост индекса цифровизации (+4.7) в 2024 году относительно 2021 года за счет всех блоков, кроме «генерация данных», в особенности значимый вклад внесли эффективные бизнес-процессы (+2.33), ПО для науки и обучения (+0.88) и цифровое взаимодействие (+0.60 пункта). Виды деятельности энергетика (+3.0), водоснабжение (+2.64), первичный сектор АПК (+1.8), деятельность гостиниц и предприятий общественного питания (+1.0) показали прирост интегрального индекса цифровизации за счет увеличения интенсивности блоков эффективные бизнес-процессы и ПО для науки и обучения.

Таким образом, драйверами цифровизации за исследуемые 4 года стали корпоративные информационные системы и программные средства для научных исследований и обучения.

Заключение

Сконструированный индекс цифровизации отраслей российской экономики планируется использовать не только для дескриптивного анализа и определения текущего статуса цифровой трансформации на общеэкономическом и отраслевом уровнях. Следующим этапом исследования планируется провести валидацию индекса на независимых метриках, проверить его чувствительность к структурным различиям между реальным сектором и сферой услуг. В случае подтверждения измерительной силы индекса и его критериальной пригодности можно будет приступить к эконометрическому моделированию оценки эффектов цифровизации на экономический рост и производительность. Прозрачный подход и доступность данных разработанного индекса позволяют обеспечить регулярный мониторинг динамики цифровизации и проверки различных гипотез, что является необходимым условием управления технологической трансформацией российской экономики.

Литература

1. Васильковский С.А., Ковалева Г.Г., Абдрахманова Г.И., Вишневский К.О., Зинина Т.С., Рудник П.Б. Индекс цифровизации отраслей экономики и социальной сферы, Цифровая экономика, 18.10.2022, ИСИЭЗ НИУ ВШЭ (issek.hse.ru).
2. Симонов С. Г. Экономико-социологический анализ рынка кибербезопасности как фактора устойчивой динамики хозяйственной жизни российского общества / С. Г. Симонов, М. А. Хаматханова, И. В. Лысенко. DOI 10.31660/1993-1824-2025-3-92-108 // Известия высших учебных заведений. Социология. Экономика. Политика. 2025. № 3. С. 92-108.
3. Сведения об использовании цифровых технологий и производстве связанных с ними товаров и услуг (итоги статнаблюдения по ф. № 3-информ) [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://rosstat.gov.ru/statistics/science.
4. Acemoglu D., Restrepo P. The Race between Man and Machine: Implications of Technology for Growth, Factor Shares, and Employment. // American Economic Review. 2018. Vol. 108, No. 6. P. 1488–1542. DOI: 10.1257/aer.20160696
5. Brynjolfsson E., Hitt L.M. Computing Productivity: Firm-Level Evidence. 2003. SSRN: http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.290325.
6. Brynjolfsson E., McAfee A. The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies. // New York, NY: W.W. Norton & Company. 2014. 306 P. ISBN: 978-0-393-23935-5
7. Brynjolfsson E., Mitchell T. What can machine learning do? Workforce implications. // Science. 2017. 358(6370), 1530–1534. DOI: 10.1126/science.aap8062
8. Calvino F. et al. A taxonomy of digital intensive sectors. // OECD Science, Technology and Industry Working Papers. 2018. No. 2018/14. OECD Publishing, Paris, https://doi.org/10.1787/f404736a-en.
9. European Commission. Digital Economy and Society Index (DESI) 2022: Methodological Note. 2022. https://digital-decade-desi.digital-strategy.ec.europa.eu/.
10. Jorgenson D.W., Ho M.S., Stiroh K.J. A retrospective look at the U.S. productivity growth resurgence // Journal of Economic Perspectives. 2008. Vol. 22, No. 1. P. 3-24. DOI: 10.1257/jep.22.1.3.
11. OECD. The OECD Going Digital Measurement Roadmap 2026 // OECD Digital Economy Papers. 2026. No. 382, OECD Publishing, Paris, https://doi.org/10.1787/b455e132-en.
12. OECD/European Union/EC-JRC. Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide // OECD Publishing. 2008. Paris, https://doi.org/10.1787/9789264043466-en.
13. Oliner S.D., Sichel D. E., Stiroh K. J. Explaining a Productive Decade // FEDS Working Paper. 2007. No. 2007-63, SSRN: https://ssrn.com/abstract=1160248.
14. Rogers E. M. Diffusion of innovations // 3rd ed. New York, London: Free Press, Collier Macmillan. 1983. 453 P. ISBN 0-02-926650-5.

References in Cyrillics

1. Vasil'kovskii, S.A., Kovaleva, G.G., Abdrakhmanova, G.I., Vishnevskii, K.O., Zinina, T.S., Rudnik, P.B. Indeks tsifrovizatsii otraslei ekonomiki i sotsial'noi sfery. Tsifrovaia ekonomika, 18.10.2022. ISSEK NIU VShE (issek.hse.ru).
2. Simonov, S.G. Ekonomiko-sotsiologicheskii analiz rynka kiberbezopasnosti kak faktora ustoichivoi dinamiki khoziaistvennoi zhizni rossiiskogo obshchestva / S.G. Simonov, M.A. Khamatkhanova, I.V. Lysenko. DOI: 10.31660/1993-1824-2025-3-92-108. Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Sotsiologiia. Ekonomika. Politika, 2025, No. 3, pp. 92–108.
3. Svedeniia ob ispol'zovanii tsifrovykh tekhnologii i proizvodstve sviazannykh s nimi tovarov i uslug (itogi statnablyudeniya po f. No. 3-inform) [Electronic resource]. Available at: https://rosstat.gov.ru/statistics/science.

Елена Юрьевна Иноземцева, аспирант, Экономический факультет МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия,
ORCID: 0000-0003-2724-7196
inozemtsevaey@my.msu.ru,

Ключевые слова
цифровая экономика, индекс цифровизации, цифровой капитал, отраслевая гетерогенность.

Inozemtseva Elena Yurievna. Sectoral Digitalization Index: construction based on Russian data

Keywords
digital economy, digitalization index, digital capital, sectoral heterogeneity.
JEL classification: C3, C4, C5, O11, O12, O4
DOI 10.34706/DE-2026-05-01

Abstract
Quantification of digitalization remains current issue and requires measuring instruments that are sensitive to the structural features of the economic system. The article presents a methodology for constructing an index of digitalization of industries based on Rosstat data (form No. 3-inform) for 2021-2024. The index aggregates seven functional blocks, sub-indexes, grouped into three evolutionary levels: basic, system and progressive, reflecting the hierarchy of digital maturity. The internal consistency of the subindexes was verified by the principal component method. The developed digitalization index in its current form is a diagnostic tool for annual monitoring of the digital transformation of economic sectors. A descriptive analysis of 2021 and 2024 showed that aggregated economic sectors do not differ in terms of technology availability at the basic level of digitalization. Deep gaps, although narrowed in 4 years, are observed in the coverage of the use of corporate information systems. It was discovered that data-driven remains the most problematic area of digital transformation by the end of 2024, and progressive level of digital maturity makes the maximum contribution to maintaining cross-sector heterogeneity. We have found the impact of scale on the quality of digital capital in trade and finance sectors: an increase in the number of companies has led to a blurring of the digital profiles of mentioned sectors, as players with fewer primary digital capital have entered the market. In sectors with negative dynamics in the number of companies using digital technologies, a qualitative leap was discovered at different levels of digital maturity, i.e., withdrawal from the market is typical for companies with less digital capital. The trajectory of intensive scaling, in which the growth of companies was accompanied by an increase in system and progressive levels of digitalization, was revealed in the manufacturing and mining industries, as well as in healthcare. The corporate information systems and software tools for scientific research and training have become the main drivers of digitalization over the years under study. Using the index at a more detailed level of aggregation will better reveal intra-sector heterogeneities.

УДК 332.1:004

1.2. Влияние цифровизации на экономическую активность регионов России: эконометрический анализ на основе панельных данных

Стенина А.И., Омский государственный технический университет, г. Омск

Ускорение цифровой трансформации сопровождается усилением межрегиональной неоднородности экономического развития России, при этом в научной литературе сохраняется недостаточность количественных оценок вклада цифровизации в экономическую активность регионов, учитывающих временные лаги и структурные различия их развития. Цель исследования состоит в количественной оценке влияния цифровизации на экономическую активность регионов России, а также в выявлении различий в характере и интенсивности данного воздействия в зависимости от структурных особенностей регионального развития. Методологическую основу составили теории эндогенного экономического роста и цифровой экономики. Методы исследования включают построение интегрального индекса на основе четырех блоков показателей, корреляционный анализ и панельные регрессии с фиксированными эффектами. Информационную базу составили данные Росстата, Минцифры РФ и НИУ ВШЭ за 2017–2024 гг. Результаты исследования. Получены статистически значимые положительные эффекты цифровизации на все рассматриваемые показатели; выявлен неоднородный характер воздействия: в развитых регионах цифровизация усиливает конкурентные преимущества, а в регионах с ограниченным индустриальным потенциалом выполняет компенсаторную функцию. Выводы. Цифровизация выступает структурным фактором формирования устойчивой модели регионального экономического роста и требует дифференцированной региональной политики с учётом лагов эффекта.

Введение

Согласно теориям эндогенного роста, технологии выступают самостоятельным источником производительности и трансформации экономики (Romer, 1990, p. S71–S102), а в концепциях цифровой экономики – фактором повышения эффективности и связности рынков (OECD, 2020). Эмпирические исследования подтверждают значимость цифровой инфраструктуры как драйвера роста (Katz, Callorda, 2018, p. 5–8; Koutroumpis, 2019).

В России аналитические обзоры фиксируют рост цифровой зрелости регионов (Минцифры России; Аналитический центр при Правительстве РФ; НИУ ВШЭ; Росстат), при этом исследования указывают на различия условий цифровой трансформации и связанные с ней экономические риски (Журавлев, Глухов, 2021; Кириченко и др., 2022).

Несмотря на значительный массив исследований, сохраняется дефицит комплексных количественных оценок влияния цифровизации на развитие российских регионов. Преобладание статических описаний и разрозненных кейсов затрудняет выявление причинно-следственных связей между цифровыми инновациями и экономической динамикой, что требует перехода к моделям, учитывающим временные лаги, структурные различия и компенсаторный потенциал цифровых технологий (Brynjolfsson et al., 2021; Koutroumpis, 2019). Цель исследования состоит в количественной оценке влияния цифровизации на экономическую активность регионов России и выявлении дифференцированного характера данного воздействия в зависимости от структурных особенностей и уровня развития регионов.

Научная новизна исследования состоит в разработке авторского интегрального индекса цифровизации, адаптированного для панельного анализа регионов России, а также в выявлении дифференцированного характера и временных лагов воздействия цифровизации на экономическую активность регионов различных типов.

Основная часть

1. Теоретические подходы к анализу цифровизации и регионального развития

Цифровизация в современных теориях эндогенного роста и цифровой экономики рассматривается как фактор повышения производительности, снижения издержек и институциональной трансформации (OECD, 2020; Romer, 1990, p. S71–S102). Российские исследования рассматривают цифровую трансформацию бизнеса и структурные диспропорции отечественного ИКТ-сектора (Журавлев, Глухов, 2021; Ганичев, Кошовец, 2022).

Международные исследования подтверждают устойчивую связь между цифровой инфраструктурой и экономическим ростом: широкополосный доступ способствует росту ВВП за счет повышения связности рынков (Koutroumpis, 2019), а цифровые технологии повышают производительность труда, причем эффект часто носит отсроченный характер и зависит от институциональных условий (Brynjolfsson et al., 2021).

Международные исследования уточняют механизмы влияния цифровизации на рост. Исследование стран ОЭСР выявляет положительное влияние распространения широкополосного доступа на экономический рост (Czernich et al., 2011, p. 505–532). Отдача от ИКТ связана с комплементарными инвестициями в навыки и организационные изменения (Cardona et al., 2013, p. 109–125; Gal et al., 2019). При этом факторы внедрения ИКТ на уровне предприятий рассмотрены отдельно в исследовании Haller и Siedschlag (2011, p. 3775–3788). Исследование принятия решений на основе данных выявляет положительную связь с производительностью фирм (Brynjolfsson et al., 2011). Сравнительные исследования показывают неоднородность экономических эффектов ИКТ между странами (Niebel, 2018, p. 197–211; Vu, 2011, p. 357–372). На материале округов США установлено, что связь внедрения передовых интернет-технологий с ростом заработной платы сильнее в уже благополучных, образованных и технологически развитых территориях (Forman et al., 2012, p. 556–575). Вклад ИКТ в рост производительности связан как с накоплением капитала, так и с технологическим прогрессом (Oliner, Sichel, 2000, p. 3–22; Jorgenson et al., 2008, p. 3–24), а различия между США и Европой во многом обусловлены неодинаковой интенсивностью внедрения ИКТ и нематериальных активов (Van Ark et al., 2008, p. 25–44). Теоретические модели также указывают на двойственный эффект цифровизации: наряду со стимулами роста она создает риски вытеснения труда (Acemoglu, Restrepo, 2018, p. 1488–1542).

В совокупности эти исследования указывают, что экономическая отдача от цифровых технологий зависит не только от внедрения инфраструктуры, но и от сопутствующих организационных изменений и навыков (Gal et al., 2019; Bloom et al., 2012, p. 167–201). Компьютеризация также меняет структуру спроса на трудовые навыки, дополняя нерутинные задачи и замещая часть рутинных операций (Autor et al., 2003, p. 1279–1333).

Российские исследования рассматривают цифровую трансформацию как фактор изменения производственных процессов и экономической структуры, однако ее результаты зависят от отраслевых и институциональных условий. В работе Е.Б. Ленчук анализируются технологические предпосылки устойчивого развития, а Вертакова и соавторы исследуют инструменты цифровой трансформации предприятий агропромышленного комплекса. Межрегиональные различия в распространении технологий и их связь с инновационной активностью показаны в исследовании Алмусаеди и Кельчевской (Ленчук, 2021; Вертакова и др., 2023; Алмусаеди, Кельчевская, 2021).

Российская литература включает как эконометрические оценки влияния цифровых факторов на региональный рост, так и исследования пространственной неоднородности цифровизации. Т.В. Миролюбова и М.В. Радионова оценивали влияние цифрового труда и капитала на валовой региональный продукт на душу населения с использованием панельных данных. С.С. Красных исследовал пространственные закономерности уровня цифровизации регионов и межрегиональные взаимодействия. Совместное рассмотрение этих результатов и исследований рисков цифровизации указывает на необходимость учитывать экономические результаты и неоднородность цифрового развития (Миролюбова, Радионова, 2021; Красных, 2023; Кириченко и др., 2022).

Существующие системы измерения, такие как индекс цифровой зрелости Минцифры России , Аналитического центра при Правительстве РФ и индикаторы НИУ ВШЭ , выполняют преимущественно сравнительную и диагностическую функцию, ориентируясь на инфраструктурные и институциональные параметры. Для задач настоящего исследования эти системы мониторинга требуют дополнительной адаптации к панельному анализу, объединяющему показатели инфраструктуры, использования технологий, человеческого капитала и инновационной активности.

Таблица 1. Основные направления исследований влияния цифровизации на региональное экономическое развитие

Направление исследований	Подходы / авторы	Основные выводы	Ограничения
Теории эндогенного роста и цифровой экономики	Ромер; ОЭСР	Технологии рассматриваются как внутренний фактор роста, цифровизация – как источник повышения эффективности и связности рынков	Теоретический уровень, без эмпирической проверки на российских региональных данных
Цифровая инфраструктура и экономический рост	Koutroumpis; Czernich; Katz, Callorda	Развитие широкополосного доступа и ИКТ положительно связано с ростом ВВП и производительности	Преобладают межстрановые и макроуровневые оценки
ИКТ, производительность и комплементарные эффекты	Brynjolfsson et al.; Cardona et al.; Gal et al.; Bloom et al.	Эффект цифровизации проявляется через организационные изменения, навыки и лаги внедрения	Недостаточный учет региональной неоднородности
Пространственная и региональная неоднородность эффектов	Forman et al.; Niebel; Vu; Crescenzi, Gagliardi	Отдача от цифровизации зависит от человеческого капитала, структуры экономики и институциональной среды	Ограниченное применение к российским регионам

Российские исследования цифровизации регионов	Миролюбова, Радионова; Красных; Ленчук; Вертакова и др.; Ганичев, Кошовец	Рассматриваются цифровые факторы регионального развития, технологическая трансформация и межрегиональные различия	Часто используются фрагментарные индикаторы, статические сопоставления, без лаговых панельных моделей
Системы мониторинга цифровой зрелости	Минцифры России; НИУ ВШЭ; Аналитический центр при Правительстве РФ	Позволяют сравнивать уровень цифрового развития регионов	Преимущественно диагностический, а не эконометрический характер; ограниченная пригодность для оценки причинно-следственных связей

Представленный обзор показывает, что предшествующие исследования, несмотря на значительный вклад в осмысление цифровизации как фактора экономического развития, как правило, либо опираются на частные показатели, либо ограничиваются описательным и сравнительным анализом. В работах по российским регионам недостаточно представлены исследования, использующие интегральный индекс, агрегирующий инфраструктуру, использование цифровых технологий, человеческий капитал и инновационную активность, а также панельные модели, позволяющие оценить лаговые эффекты цифровизации. Это обусловливает необходимость разработки специализированного инструмента измерения цифровизации и его апробации на региональных панельных данных.

Таким образом, анализ российской и международной литературы показывает, что количественная оценка региональных эффектов цифровизации уже представлена в исследованиях, в том числе с применением панельных моделей. Вместе с тем сохраняется задача совместного учета инфраструктурных, кадровых, поведенческих и инновационных аспектов цифровизации в единой системе показателей, позволяющей сопоставлять регионы с разными условиями развития (Миролюбова, Радионова, 2021; Красных, 2023; Алмусаеди, Кельчевская, 2021).

Настоящее исследование направлено на восполнение указанных пробелов посредством разработки авторского интегрального индекса цифровизации регионов и применения панельных моделей для анализа его влияния на экономическую активность субъектов Российской Федерации.

1.2. Методологические подходы к оценке влияния цифровизации на экономическую активность регионов

Методологическая основа исследования опирается на теорию эндогенного экономического роста (Romer, 1990) и концепцию цифровой экономики (OECD, 2020). В работе под цифровизацией понимается процесс внедрения цифровых технологий в социально-экономические и управленческие процессы регионов, приводящий к трансформации бизнес-моделей, повышению эффективности и созданию новых форм экономической активности (OECD, 2020). Под экономической активностью понимаются валовой региональный продукт на душу населения, производительность труда, инновационная активность и инвестиции в основной капитал.

Уровень цифровизации (I_d) рассматривается как интегральная характеристика региона, отражающая состояние цифровой инфраструктуры, интенсивность использования цифровых технологий, уровень развития человеческого капитала и инновационной активности. Такой подход позволяет учитывать не только наличие технологической базы, но и способность региона преобразовывать цифровые ресурсы в экономически значимые результаты.

Для количественной оценки уровня цифровизации используется авторский интегральный индекс цифровой зрелости (I_d), который выступает ключевой независимой переменной в эконометрическом анализе. Применение интегрального индекса позволяет перейти от использования разрозненных частных показателей к комплексной оценке цифрового развития региона, сопоставимой с задачами панельного моделирования.

Эмпирическая часть исследования базируется на использовании панельных данных, охватывающих 20 субъектов Российской Федерации за период 2017–2024 гг., что позволяет одновременно учитывать как межрегиональную дифференциацию, так и динамику социально-экономических процессов во времени. Выборка исследования включает 20 субъектов Российской Федерации за период 2017–2024 гг. и носит целевой аналитический характер. Отбор регионов осуществлялся не с целью статистической репрезентации всей совокупности субъектов РФ, а для охвата максимально разнородных случаев цифрового и социально-экономического развития. Критериями отбора выступали: географическое положение, отраслевая специализация экономики, уровень цифровизации, а также доступность сопоставимых статистических данных за весь рассматриваемый период. Такой подход позволяет включить в анализ как цифровых лидеров, так и регионы со средним и низким уровнем цифрового развития, что необходимо для выявления дифференцированного характера воздействия цифровизации.

В выборку вошли: Москва, Санкт-Петербург, Республика Татарстан, Свердловская область, Новосибирская область, Нижегородская область, Краснодарский край, Республика Башкортостан, Челябинская область, Самарская область, Ростовская область, Красноярский край, Пермский край, Воронежская область, Волгоградская область, Саратовская область, Омская область, Кемеровская область, Костромская область, Республика Тыва. Такой подход позволяет обеспечить разнообразие исследуемых случаев при сохранении аналитической управляемости выборки.

Таким образом, сформированная выборка является целевой и не претендует на статистическую репрезентативность по отношению ко всем субъектам Российской Федерации. Ее задача состоит не в экстраполяции результатов на все 85 регионов, а в углубленном анализе разнородных случаев, позволяющем выявить устойчивые взаимосвязи между цифровизацией и экономической активностью в различных структурных условиях. Соответственно, все группировки регионов и выводы о лидерах, средних и периферийных типах интерпретируются исключительно в рамках исследуемой выборки и не претендуют на абсолютное ранжирование всех субъектов РФ.

Таблица 2 – Типология регионов в исследуемой выборке

Тип региона	Критерии формирования	Регионы в выборке
Лидеры цифровизации	I_d ≥ 0,8; развитая цифровая инфраструктура; высокая доля услуг и инновационной активности	Москва, Санкт-Петербург, Республика Татарстан
Индустриальные регионы со средним уровнем цифровизации	0,5 ≤ I_d < 0,8; промышленная специализация; устойчивое внедрение цифровых решений в производстве и управлении	Свердловская область, Челябинская область, Самарская область, Нижегородская область, Пермский край
Диверсифицированные регионы переходного типа	Средние значения I_d; сочетание промышленности, услуг и развивающихся цифровых сервисов	Новосибирская область, Краснодарский край, Республика Башкортостан, Ростовская область, Красноярский край, Воронежская область
Периферийные / аграрно-сырьевые регионы	I_d < 0,5; ограниченная промышленная база; более слабая инфраструктура и кадровый потенциал	Саратовская область, Омская область, Кемеровская область, Волгоградская область, Костромская область
Регионы с низким уровнем цифровизации и ограниченным экономическим потенциалом	Низкие значения I_d; структурные и институциональные ограничения; фрагментарное внедрение цифровых решений	Республика Тыва

Индекс включает 12 частных индикаторов, сгруппированных в четыре блока: телекоммуникационная инфраструктура, использование цифровых технологий бизнесом и населением, человеческий капитал и инновационная активность. В совокупности они позволяют оценить не только наличие технологической базы, но и фактическое использование цифровых решений, кадровую обеспеченность и инновационный потенциал региона.

Выделение этих блоков соответствует международным подходам к измерению цифрового развития, ориентированным на сочетание инфраструктурных характеристик, использования технологий, цифровых навыков и инновационной активности (OECD, 2020). Отраслевые показатели цифровизации в индекс не включены, что следует рассматривать как ограничение исследования.

При формировании авторского интегрального индекса учитывались не только международные подходы к измерению цифрового развития, но и российские практики оценки цифровой зрелости регионов, в том числе методические материалы Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации. Вместе с тем официальные системы мониторинга ориентированы преимущественно на сравнительно-диагностические задачи и в меньшей степени адаптированы для эконометрического анализа причинно-следственных связей, что обусловило необходимость разработки специализированного интегрального показателя для целей настоящего исследования.

Выбор данных индикаторов обусловлен, во-первых, их соответствием ключевым направлениям оценки цифрового развития в рамках международных методик, а во-вторых, доступностью в официальных российских источниках за весь рассматриваемый период. Данный набор позволяет комплексно оценить не только наличие цифровой инфраструктуры, но и её фактическое использование, кадровую обеспеченность и инновационный потенциал, что соответствует целям настоящего исследования.

Весовые коэффициенты (ω_k) определялись на основе комбинированного подхода. Предварительные веса, полученные в результате опроса 12 экспертов методом парных сравнений, были скорректированы по итогам регрессионного анализа, оценивающего вклад каждого блока в динамику валового регионального продукта. Такой подход позволил учесть как экспертные представления о значимости компонентов цифровизации, так и их эмпирически наблюдаемое экономическое влияние.

Итоговые веса составили: $\omega_1 = 0{,}25$; $\omega_2 = 0{,}30$; $\omega_3 = 0{,}25$; $\omega_4 = 0{,}20$.

Схематично интегральный индекс рассчитывается следующим образом:

$$I_d = \sum_{k=1}^{4} \omega_k \cdot z_k$$

где I_d – интегральный индекс цифровизации в регионе; z_k – нормированные значения укрупнённых блоков; ω_k – веса блоков.

В качестве зависимых переменных использованы валовой региональный продукт на душу населения, производительность труда, инновационная активность и инвестиции в основной капитал. Эти показатели отражают ключевые каналы влияния цифровизации: экономический результат, эффективность использования ресурсов, способность к технологическому обновлению и накопление инвестиционного

потенциала.

Для оценки влияния цифровизации применяется панельная модель с фиксированными эффектами, выбор которой обоснован результатами теста Хаусмана. Такой подход позволяет учитывать неизменные во времени характеристики регионов и оценивать влияние изменения уровня цифровизации внутри региона во времени. В модель включены контрольные переменные, характеризующие урбанизацию, структуру занятости, отраслевую специализацию, демографические параметры и лаговые значения цифровизации. Устойчивость результатов проверялась с использованием кластеризации стандартных ошибок, тестов на мультиколлинеарность и сравнения альтернативных спецификаций. Эмпирическая база сформирована на основе официальных данных Росстата, Минцифры РФ, ЕМИСС, ЕПГУ и НИУ ВШЭ , что позволяет выявить устойчивые причинно-следственные связи между цифровизацией и экономической активностью регионов.

2. Результаты и обсуждение

2.1. Интегральное влияние цифровизации на экономическую активность регионов

Анализ данных по 20 регионам Российской Федерации за 2017–2024 гг. выявил устойчивую положительную взаимосвязь между уровнем цифровой зрелости и экономической активностью. Во всех субъектах наблюдался рост интегрального индекса цифровизации, однако его темпы существенно различались, что отражает неоднородность цифрового развития. Для наглядности представлены агрегированные панельные данные по репрезентативным регионам (Таблица 3).

Таблица 3. Динамика индекса цифровизации и ВРП в репрезентативных регионах РФ (2017–2024 гг.)*

Регион	2017 (I_d / ВРП)	2020 (I_d / ВРП)	2024 (I_d / ВРП)	Рост I_d, %	Рост ВРП, %
Москва	0,87 / 770	0,94 / 830	0,99 / 985	+13,8	+28,0
Санкт-Петербург	0,81 / 610	0,87 / 655	0,95 / 760	+17,3	+24,6
Республика Татарстан	0,69 / 480	0,75 / 515	0,84 / 610	+21,7	+27,1
Новосибирская область	0,64 / 430	0,70 / 450	0,78 / 530	+21,9	+23,2
Костромская область	0,10 / 235	0,13 / 250	0,16 / 310	+60,0	+31,9
Республика Тыва	0,05 / 210	0,06 / 220	0,07 / 260	+40,0	+23,8

* Составлено автором на основе данных Росстата и национального исследовательского университета «Высшая школа экономики».

В выборке выделяются регионы-лидеры цифровизации (Москва, Санкт-Петербург, Республика Татарстан) и периферийные регионы с более низкими значениями интегрального индекса (Костромская область, Республика Тыва). В последних проявляется компенсаторный механизм воздействия цифровизации: расширение цифровых сервисов и базовой инфраструктуры частично замещает дефицит традиционных факторов роста. Так, в Костромской области и Республике Тыва рост индекса цифровизации сопровождался положительной динамикой ВРП на душу населения, что свидетельствует о стимулирующей роли цифровых технологий даже в структурно более слабых экономиках.

Среди исследуемых регионов – регионы со средним уровнем цифровизации, включая Свердловскую, Новосибирскую, Нижегородскую области и др., демонстрируют умеренную, но устойчивую взаимосвязь между ростом цифрового индекса и динамикой производительности труда, инвестиционной активности и инновационной деятельности. Масштаб эффекта при этом ниже, чем у лидеров, что отражает зависимость результативности цифровизации от отраслевой структуры: в промышленно ориентированных регионах влияние цифровых технологий ограничено рамками традиционных моделей производства и носит точечный характер.

В анализируемой выборке периферийные регионы с низкими значениями интегрального индекса цифровизации, прежде всего Костромская область и Республика Тыва, характеризуются более ограниченной экономической отдачей от роста цифровизации. Это связано с институциональными ограничениями, дефицитом квалифицированного человеческого капитала и фрагментарным внедрением цифровых решений, не всегда интегрированных в производственные и управленческие процессы. В таких условиях цифровизация не формирует мгновенного мультипликативного эффекта, однако создает базовые предпосылки для последующего адаптивного роста.

В целом результаты подтверждают неоднородность воздействия цифровизации: в одних регионах она выступает драйвером структурных преобразований, в других – компенсаторным фактором, поддерживающим экономическую активность.

Для визуального представления различий в динамике цифровизации и экономического развития в контрастных группах регионов представлен Рисунок 1.

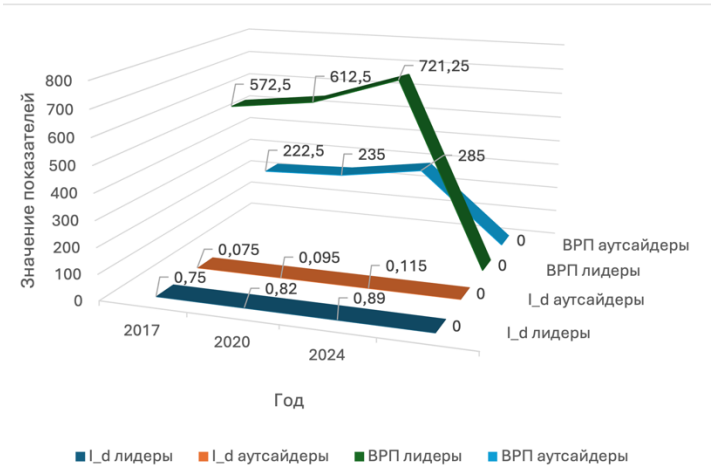


Рис. 1 Совместная динамика интегрального индекса цифровизации (I_d) и ВРП на душу населения в регионах-лидерах и аутсайдерах (2017–2024 гг.)

Рисунок 1 демонстрирует устойчивую положительную взаимосвязь между динамикой индекса цифровизации (I_d) и ВРП на душу населения. В регионах-лидерах – Москве и Санкт-Петербурге – рост цифровизации сопровождается опережающим увеличением ВРП, что отражает эффект масштаба и концентрацию цифровых, инфраструктурных и трудовых ресурсов. В регионах-аутсайдерах, таких как Костромская область и Республика Тыва, наблюдается параллельное повышение обоих показателей, что свидетельствует о компенсаторной роли цифровых технологий в условиях ограниченной промышленной базы и институциональных барьеров. Наблюдаемая динамика подтверждает значимость цифровой зрелости как фактора регионального развития и обосновывает необходимость дальнейшего количественного моделирования.

Показатели производительности труда также демонстрируют выраженный рост, особенно в Москве и Санкт-Петербурге (на 25–30 % относительно базового года). Положительная динамика наблюдается и в части периферийных регионов, включая Костромскую область и Республику Тыва, что указывает на влияние цифровизации на оптимизацию процессов как в высокотехнологичных, так и в традиционных секторах экономики, хотя масштаб эффекта здесь ниже, чем у цифровых лидеров.

Рост инновационной активности подтверждает положительное воздействие цифровизации: увеличение индекса на 0,1 пункта сопровождается приростом инновационной активности в среднем на 1,2–1,5 п.п. Особенно заметен эффект в регионах со слабой индустриальной базой, где цифровизация способствует распространению нематериальных форм инноваций и развитию сервисно-платформенных решений.

Исследования на уровне фирм показывают, что использование внешних знаний для инновационной деятельности зависит от способности компаний усваивать и комбинировать знания (Crescenzi, Gagliardi, 2018, p. 782–795). Влияние цифровой инфраструктуры на результаты деятельности фирм неоднородно: De Stefano и соавторы выявили положительное воздействие внедрения ИКТ на занятость и продажи, но не обнаружили эффекта на производительность (De Stefano et al., 2018, p. 110–139). Вместе с тем результаты цифровизации зависят от условий внедрения технологий и способности организаций использовать открывающиеся возможности (Paunov, Rollo, 2015). В более широком теоретическом контексте концепция экономической сложности связывает возможности диверсификации производства с накоплением и сочетанием производственных знаний и компетенций (Hidalgo, Hausmann, 2009, p. 10570–10575).

Инвестиционная динамика также подтверждает влияние цифровизации: после пандемийного спада в большинстве регионов наблюдалось восстановление инвестиций, причем в цифрово зрелых регионах оно происходило быстрее.

Таким образом, результаты подтверждают гипотезу о положительном влиянии цифровизации на экономическую активность регионов и позволяют рассматривать ее как структурный фактор формирования модели цифровой адаптации.

2.2. Влияние интегрального индекса цифровизации на ВРП, производительность, инновации и инвестиции

Корреляционный анализ подтверждает статистически значимую положительную взаимосвязь между цифровизацией и всеми ключевыми показателями экономической активности (Таблица 4).

Таблица 4. Корреляции между цифровизацией и экономическими показателями регионов РФ (2017–2024 гг.)

Показатель	I_d	ВРП	Производительность	Инновации	Инвестиции
Индекс цифровизации (I_d)	1.00	0.77	0.73	0.69	0.66
ВРП на душу населения	0.77	1.00	0.64	0.55	0.51
Производительность труда	0.73	0.64	1.00	0.52	0.49
Инновационная активность	0.69	0.55	0.52	1.00	0.46
Инвестиции	0.66	0.51	0.49	0.46	1.00

Корреляционный анализ подтверждает значимую положительную связь между уровнем цифровизации и ключевыми экономическими показателями. Наиболее высокая корреляция выявлена с производительностью труда (r = 0,73), что соответствует представлению о цифровых технологиях как драйвере

оптимизации бизнес-процессов и снижения транзакционных издержек.

Визуальным подтверждением этой зависимости служит диаграмма рассеяния (рисунок 2), демонстрирующая устойчивую положительную взаимосвязь между уровнем цифровизации и ВРП на душу населения.

Диаграмма рассеяния (Рисунок 2) позволяет выделить три группы регионов, различающихся по уровню цифрового развития и величине ВРП на душу населения. Регионы-лидеры (Москва, Санкт-Петербург, Республика Татарстан) демонстрируют высокие значения обоих показателей, что отражает эффект масштаба и концентрацию цифровых, инфраструктурных и человеческих ресурсов. Регионы со средним уровнем цифровизации характеризуются умеренной положительной зависимостью между интегральным индексом и ВРП, соответствующей стадии формирования цифрового потенциала. Периферийные регионы выборки, прежде всего Костромская область и Республика Тыва, располагаясь в нижней части распределения, также демонстрируют положительную динамику, что указывает на компенсаторную роль цифровизации в условиях ограниченных ресурсов.

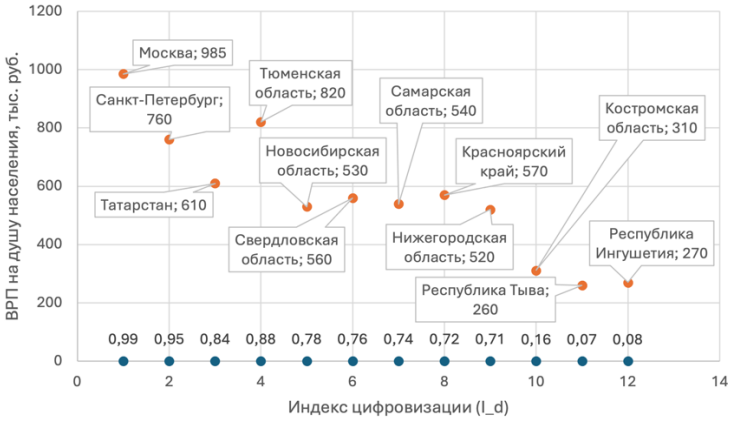


Рис. 2. Диаграмма рассеяния зависимости между уровнем цифровизации (I_d) и ВРП на душу населения регионов РФ в 2024 году

Полученная корреляция между цифровым индексом и ВРП на душу населения (r = 0,77) подтверждает, что цифровизация становится значимым фактором расширения экономической базы регионов, усиливая действие традиционных факторов экономического роста. Умеренные, но устойчивые коэффициенты корреляции с инновационной активностью (r = 0,69) и инвестициями (r = 0,66) свидетельствуют о формировании цифровой среды, способствующей внедрению новых технологий и повышению инвестиционной привлекательности. Установленный временной лаг в реакциях указанных показателей подтверждает инфраструктурный характер эффекта цифровизации.

Общая структура корреляций указывает на системное влияние цифровых технологий на региональную экономическую динамику и на их роль как элемента институционально-экономической инфраструктуры. Наиболее выраженный положительный эффект наблюдается в регионах с развитой цифровой и экономической средой, таких как Москва, Санкт-Петербург и Республика Татарстан. В то же время в периферийных регионах выборки, прежде всего в Костромской области и Республике Тыва, цифровизация выполняет компенсаторную функцию, частично замещая дефицит традиционных факторов роста и стимулируя улучшение экономических показателей.

Несмотря на отставание от цифровых лидеров, периферийные регионы – Костромская область и Республика Тыва – демонстрируют устойчивую положительную динамику цифровизации и соответствующих экономических индикаторов, что подтверждает универсальность компенсаторного механизма. Параллельность трендов индекса цифровизации и ВРП в этих регионах свидетельствует о возможности цифровизации выполнять роль драйвера адаптивного развития даже при ограниченных ресурсах.

Для углублённого анализа влияния цифровизации был проведён регрессионный анализ с фиксированными эффектами (Таблица 5).

Таблица 5. Результаты регрессионного анализа (FE-модель)

Зависимая переменная	β (I_d)	p-value	R^2	Интерпретация
ВРП на душу населения	+142.8	<0.001	0.81	+14,3 тыс. руб. при росте I_d на 0,1
Производительность труда	+4.85	<0.001	0.78	+4,8 % при росте I_d на 0,1
Инновационная активность	+1.14	0.004	0.71	+1,1 п.п. при росте I_d на 0,1
Инвестиции	+89.3	<0.001	0.76	+8–9 % роста инвестиций

Результаты регрессионного анализа подтверждают устойчивую и статистически значимую связь между уровнем цифровизации и основными экономическими показателями регионов. Во всех моделях коэффициент при индексе цифровизации оказался положительным и значимым на уровне $p < 0,01$, что позволяет рассматривать цифровизацию как структурный фактор регионального развития. Наиболее выраженный эффект наблюдается в отношении производительности труда, что отражает роль цифровых технологий в повышении организационной эффективности. Воздействие на ВРП проявляется с временным лагом, соответствующим инфраструктурной природе цифровых преобразований, тогда как влияние на инновационную активность и инвестиции носит опосредованный, но устойчивый характер и усиливается после 2020–2021 гг., периода ускоренной цифровой трансформации.

Для выявления временных лагов между уровнем цифровизации и экономическими эффектами были оценены модели с распределённым лагом и модели авторегрессии с распределённым лагом. В

качестве базовой спецификации использовалась модель следующего вида:

$$GRP_{it} = \alpha + \sum_{k=0}^{p} \beta_k I_{d,it-k} + \sum_{j=1}^{q} \gamma_j GRP_{it-j} + \delta X_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it}$$

где: GRP_{it}– валовой региональный продукт i -го региона в период t; $I_{d,it-k}$– интегральный индекс цифровизации региона с лагом k; X_{it} – вектор контрольных социально-экономических переменных (инвестиции в основной капитал, уровень занятости, доля промышленности в структуре ВРП и др.); μ_i– индивидуальные региональные эффекты, отражающие неизмеряемые постоянные характеристики регионов; ε_{it}– случайная ошибка; p, q – максимальные порядки лагов объясняющих и зависимой переменных соответственно.

Для оценки совокупного (накопленного) эффекта цифровизации на экономический рост применялась модель ограниченного распределённого лага, в которой коэффициенты при лагированных значениях индекса цифровизации аппроксимировались полиномом заданной:

$$\beta_k = a_0 + a_1 k + a_2 k^2$$

где: k – номер временного лага (год); a_0, a_1, a_2– параметры полиномиальной аппроксимации, оцениваемые методом наименьших квадратов.

Такой подход позволяет сгладить колебания коэффициентов и получить более устойчивую оценку совокупного эффекта цифровизации.

Выбор оптимальной длины лага осуществлялся на основе минимизации информационного критерия Акаике, а также с учётом статистической значимости коэффициентов при лагированных значениях индекса цифровизации. Это позволило выявить временной профиль воздействия цифровизации на экономическую динамику регионов и определить наличие отложенного эффекта (лаг-эффекта) в пределах рассматриваемого временного горизонта.

Таблица 6. Результаты анализа временных лагов влияния цифровизации (FE-модели с лагами)

Зависимая переменная	(l_d(t))	(l_d(t-1))	(l_d(t-2))	Совокупный эффект (t+2)	(R^2)
ВРП на душу населения	0,08*	0,21**	0,12*	0,41**	0,72
Производительность труда	0,06*	0,18**	0,10*	0,34**	0,69
Инновационная активность	0,04	0,09*	0,22**	0,35**	0,65
Инвестиции в основной капитал	0,03	0,11*	0,25**	0,39**	0,67

* – значимо на уровне 10%; ** – значимо на уровне 5%.

Результаты анализа временных лагов показывают, что влияние цифровизации на валовой региональный продукт и производительность труда носит отложенный характер. Наиболее сильный эффект для данных показателей наблюдается с лагом в один год, что соответствует гипотезе о необходимости временной адаптации цифровых технологий в производственных и управленческих процессах.

Для инновационной активности и инвестиций в основной капитал максимальный эффект цифровизации проявляется с лагом в два года. Это свидетельствует о более длительном цикле трансформации технологических решений в реальные инновационные результаты и инвестиционные проекты, что связано с институциональными и организационными ограничениями, а также с длительностью процессов внедрения новых цифровых решений.

Совокупный эффект цифровизации, рассчитанный как сумма коэффициентов при текущем и лагированных значениях индекса цифровизации за трёхлетний период, является статистически значимым для всех рассматриваемых показателей и превышает эффект текущего года в 2–4 раза. Это подтверждает кумулятивный характер влияния цифровизации на социально-экономическое развитие регионов.

Дополнительный анализ по типам регионов показал, что в регионах-лидерах цифровизации (Москва, Санкт-Петербург, Республика Татарстан) временные лаги короче и составляют в среднем один год для большинства исследуемых показателей, что объясняется более высокой адаптивностью экономики и развитой цифровой средой. В индустриальных регионах со средним уровнем цифровизации лаги, как правило, составляют 1–2 года, тогда как в периферийных регионах они оказываются более длительными (2–3 года), особенно в отношении инновационной активности и инвестиций. Это связано с инфраструктурными ограничениями, более низкой институциональной готовностью и ограниченной абсорбционной способностью региональной экономики.

Проверка спецификаций с использованием теста Хаусмана подтвердила предпочтительность модели фиксированных эффектов для большинства зависимых переменных. Это свидетельствует о систематическом характере межрегиональных различий и подтверждает, что цифровизация выступает фундаментальным фактором регионального развития, влияние которого проявляется как в экономически развитых, так и в периферийных регионах.

2.3. Дифференцированные эффекты цифровизации в регионах различных типов

В регионах-лидерах цифровизации – Москве, Санкт-Петербурге и Республике Татарстан – влияние цифровизации носит наиболее выраженный характер. Для данной группы характерны высокие значения интегрального индекса цифровизации, значимый положительный эффект на ВРП, производительность труда, инновационную активность и инвестиции, а также более короткий временной лаг реализации эффекта, составляющий в среднем около одного года. Это обусловлено развитой цифровой инфраструктурой, высоким уровнем человеческого капитала, значительной долей сервисного сектора и более зрелой инновационной средой, обеспечивающими быструю трансформацию цифровых ресурсов в экономические результаты.

В индустриальных регионах со средним уровнем цифровизации, включая Свердловскую, Челябинскую, Самарскую, Нижегородскую области и Пермский край, влияние цифровизации является умеренным и проявляется с лагом в пределах 1–2 лет. Положительный эффект фиксируется прежде всего в динамике производительности труда, инвестиционной активности и частично инновационного развития, однако его масштаб ниже, чем у цифровых лидеров. Это связано с промышленной специализацией экономики, точечным внедрением цифровых решений в производственные и управленческие процессы, а также с ограниченной глубиной структурной трансформации.

В периферийных и слабоцифровизированных регионах, прежде всего в Костромской области и Республике Тыва, эффект цифровизации ниже по масштабу, однако сохраняет положительный характер. Для данной группы регионов характерны более длительные временные лаги, достигающие 2–3 лет, особенно в отношении инновационной активности и инвестиций. Это объясняется более слабой инфраструктурной базой, дефицитом квалифицированного человеческого капитала и ограниченной институциональной готовностью к внедрению цифровых решений. Вместе с тем именно в этой группе цифровизация выполняет компенсаторную функцию, частично замещая недостаток традиционных факторов роста и создавая условия для адаптивного экономического развития.

Таблица 7. Характер воздействия цифровизации на экономическую активность регионов различных типов

Тип региона	Эффект на ВРП	Лаг	Эффект на инновации	Лаг	Характер влияния
Лидеры цифровизации	высокий	1 год	высокий	1 год	усиление существующих преимуществ
Индустриальные регионы среднего уровня	средний	1–2 года	умеренный	2 года	точечный и структурно ограниченный
Периферийные регионы	невысокий, но положительный	2–3 года	заметный	2 года	компенсаторный

Обобщающая визуализация представлена на рисунке 3, отражающем динамику цифровизации и экономического роста в репрезентативных регионах каждой группы.

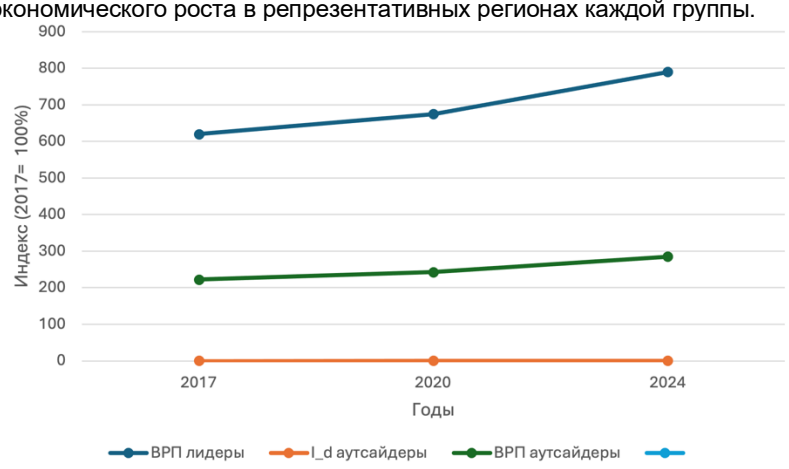


Рис. 3. Сравнительная динамика индекса цифровизации (I_d) и индекса ВРП (2017–2024 гг.)

Визуализации подтверждают, что цифровизация становится функциональным механизмом адаптации региональной экономики и важным фактором конкурентоспособности.

Полученные результаты согласуются с выводами современных исследований цифровой трансформации регионов. Так, в работе В.И. Абрамова и В.Д. Андреева показано, что стратегии цифровой трансформации субъектов Российской Федерации характеризуются выраженной отраслевой и территориальной дифференциацией, что коррелирует с выявленной в настоящем исследовании неоднородностью экономических эффектов цифровизации (Абрамов, Андреев, 2023, с. 89–119). В исследовании О.П. Овчинниковой и М.М. Харламова подчёркивается мультипликативный эффект цифровой зрелости градообразующих предприятий на социально-экономическое развитие территории, что позволяет сопоставить выводы исследования предприятий с результатами настоящего регионального анализа (Овчинникова, Харламов, 2022, с. 1249–1262). Аналогичные выводы представлены в работе А.Г. Саниной, В.А. Хомяковой и А.Г. Атаевой, где обосновывается взаимосвязь цифровой трансформации и устойчивого развития российских регионов, а также

подчёркивается значимость управленческих механизмов цифровизации для достижения социально-экономических эффектов (Санина и др., 2025, с. 67–88).

Заключение

Проведенное исследование на целевой выборке из 20 регионов подтвердило гипотезу о положительном влиянии цифровизации на экономическую активность регионов Российской Федерации. Оценки на основе панельных моделей с фиксированными эффектами показали, что рост интегрального индекса цифровизации сопровождается статистически значимым увеличением валового регионального продукта на душу населения, производительности труда, инновационной активности и инвестиций в основной капитал.

Установлено, что экономические эффекты цифровизации проявляются с временным лагом: максимальное воздействие на ВРП и производительность труда наблюдается с лагом в один год, а на инновационную активность и инвестиции – с лагом в два года. Это подтверждает инфраструктурный характер цифровизации и необходимость учета динамических эффектов при разработке региональной цифровой политики.

Выявлена дифференцированность воздействия цифровизации: в экономически развитых регионах она усиливает существующие конкурентные преимущества, тогда как в регионах с ограниченной промышленной базой выполняет компенсаторную функцию. Следовательно, максимальный эффект цифровизации достигается при ее увязке с отраслевой и кластерной политикой, а также при учете структурных особенностей региональных экономик.

В целом результаты подтверждают, что цифровизация становится значимым фактором трансформации региональной экономики России и формирует основу для перехода к технологически адаптивной и устойчивой модели развития.

Список литературы

4. Абрамов В.И., Андреев В.Д. Анализ стратегий цифровой трансформации регионов России в контексте достижения национальных целей // Вопросы государственного и муниципального управления. – 2023. – № 1. – С. 89–119. – DOI: 10.17323/1999-5431-2023-0-1-89-119.
5. Алмусаеди Х.К., Кельчевская Н.Р. Исследование детерминант цифровизации в России на основе кластеризации регионов и анализа уровня их зрелости // Вопросы инновационной экономики. – 2021. – Т. 11, № 4. – С. 1705–1720. – DOI: 10.18334/vinec.11.4.113928.
6. Вертакова Ю.В., Булгакова И.Н., Дин Ш. Методы и инструменты цифровой трансформации предприятий агропромышленного комплекса в условиях индустрии 4.0 // π-Economy. – 2023. – Т. 16, № 5. – С. 109–122. – DOI: 10.18721/JE.16508.
7. Ганичев Н.А., Кошовец О.Б. Цифровая экономика России: к стратегии развития в условиях санкций // Проблемы прогнозирования. – 2022. – № 6. – С. 94–108. – DOI: 10.47711/0868-6351-195-94-108.
8. Журавлев Д.М., Глухов В.В. Стратегирование цифровой трансформации экономических систем как драйвер инновационного развития // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. – 2021. – Т. 14, № 2. – С. 7–21. – DOI: 10.18721/JE.14201.
9. Кириченко И.А., Маршова Т.Н., Мигунов И.Н. Цифровая экономика: перспективы развития и возможные риски // Российский экономический журнал. – 2022. – № 6. – С. 31–46. – DOI: 10.33983/0130-9757-2022-6-31-46.
10. Красных С.С. Оценка уровня цифровизации регионов России с позиции межрегионального взаимодействия // Информационное общество. – 2023. – № 3. – С. 120–128. – DOI: 10.52605/16059921_2023_03_120.
11. Ленчук Е.Б. Россия в мировом процессе научно-технологического развития // Контуры глобальных трансформаций: политика, экономика, право. – 2021. – Т. 14, № 4. – С. 72–91. – DOI: 10.23932/2542-0240-2021-14-4-5.
12. Миролюбова Т.В., Радионова М.В. Оценка влияния факторов цифровой трансформации на региональный экономический рост // Регионология. – 2021. – Т. 29, № 3. – С. 486–510. – DOI: 10.15507/2413-1407.116.029.202103.486-510.
13. Овчинникова О.П., Харламов М.М. Цифровая зрелость градообразующего предприятия: оценка и влияние на развитие территории // Экономика региона. – 2022. – Т. 18, № 4. – С. 1249–1262. – DOI: 10.17059/ekon.reg.2022-4-20.
14. Санина А.Г., Хомякова В.А., Атаева А.Г. Цифровая трансформация и устойчивое развитие российских регионов: оценки соотношения и управленческие импликации // Вопросы государственного и муниципального управления. – 2025. – № 2. – С. 67–88. – DOI: 10.17323/1999-5431-2025-0-2-67-88.
15. Acemoglu D., Restrepo P. The race between man and machine: Implications of technology for growth, factor shares, and employment // American Economic Review. – 2018. – Vol. 108, No. 6. – P. 1488–1542. – DOI: 10.1257/aer.20160696.

16. Autor D.H., Levy F., Murnane R.J. The skill content of recent technological change: An empirical exploration // Quarterly Journal of Economics. – 2003. – Vol. 118, No. 4. – P. 1279–1333. – DOI: 10.1162/003355303322552801.
17. Bloom N., Sadun R., Van Reenen J. Americans do IT better: US multinationals and the productivity miracle // American Economic Review. – 2012. – Vol. 102, No. 1. – P. 167–201. – DOI: 10.1257/aer.102.1.167.
18. Brynjolfsson E., Hitt L.M., Kim H.H. Strength in Numbers: How Does Data-Driven Decision-Making Affect Firm Performance? // ICIS 2011 Proceedings. – 2011. – Paper 13.
19. Brynjolfsson E., Rock D., Syverson C. The productivity J-curve: How intangibles complement general purpose technologies // American Economic Journal: Macroeconomics. – 2021. – Vol. 13, No. 1. – P. 333–372. – DOI: 10.1257/mac.20180386.
20. Cardona M., Kretschmer T., Strobel T. ICT and productivity: conclusions from the empirical literature // Information Economics and Policy. – 2013. – Vol. 25, No. 3. – P. 109–125. – DOI: 10.1016/j.infoecopol.2012.12.002.
21. Crescenzi R., Gagliardi L. The innovative performance of firms in heterogeneous environments: The interplay between external knowledge and internal absorptive capacities // Research Policy. – 2018. – Vol. 47, No. 4. – P. 782–795. – DOI: 10.1016/j.respol.2018.02.006.
22. Czernich N., Falck O., Kretschmer T., Woessmann L. Broadband infrastructure and economic growth // The Economic Journal. – 2011. – Vol. 121, No. 552. – P. 505–532. – DOI: 10.1111/j.1468-0297.2011.02420.x.
23. De Stefano T., Kneller R., Timmis J. Broadband infrastructure, ICT use and firm performance: Evidence for UK firms // Journal of Economic Behavior & Organization. – 2018. – Vol. 155. – P. 110–139. – DOI: 10.1016/j.jebo.2018.08.020.
24. Forman C., Goldfarb A., Greenstein S. The Internet and local wages: A puzzle // American Economic Review. – 2012. – Vol. 102, No. 1. – P. 556–575. – DOI: 10.1257/aer.102.1.556.
25. Gal P., Nicoletti G., Renault T., Sorbe S., Timiliotis C. Digitalisation and productivity: In search of the holy grail – Firm-level empirical evidence from EU countries // OECD Economics Department Working Papers. – 2019. – No. 1533. – DOI: 10.1787/5080f4b6-en.
26. Haller S.A., Siedschlag I. Determinants of ICT adoption: Evidence from firm-level data // Applied Economics. – 2011. – Vol. 43, No. 26. – P. 3775–3788. – DOI: 10.1080/00036841003724411.
27. Hidalgo C.A., Hausmann R. The building blocks of economic complexity // Proceedings of the National Academy of Sciences. – 2009. – Vol. 106, No. 26. – P. 10570–10575. – DOI: 10.1073/pnas.0900943106.
28. Jorgenson D.W., Ho M.S., Stiroh K.J. A retrospective look at the U.S. productivity growth resurgence // Journal of Economic Perspectives. – 2008. – Vol. 22, No. 1. – P. 3–24. – DOI: 10.1257/jep.22.1.3.
29. Katz R., Callorda F. The Economic Contribution of Broadband, Digitization and ICT Regulation. – Geneva: International Telecommunication Union, 2018.
30. Koutroumpis P. The economic impact of broadband: Evidence from OECD countries // Technological Forecasting and Social Change. – 2019. – Vol. 148. – Article 119719. – DOI: 10.1016/j.techfore.2019.119719.
31. Niebel T. ICT and economic growth – Comparing developing, emerging and developed countries // World Development. – 2018. – Vol. 104. – P. 197–211. – DOI: 10.1016/j.worlddev.2017.11.024.
32. OECD. OECD Digital Economy Outlook 2020. – Paris: OECD Publishing, 2020. – 316 p. – DOI: 10.1787/bb167041-en
33. Oliner S.D., Sichel D.E. The resurgence of growth in the late 1990s: Is information technology the story? // Journal of Economic Perspectives. – 2000. – Vol. 14, No. 4. – P. 3–22. – DOI: 10.1257/jep.14.4.3.
34. Paunov C., Rollo V. Overcoming Obstacles: The Internet's Contribution to Firm Development // The World Bank Economic Review. – 2015. – Vol. 29, Suppl. 1. – P. S192–S204. – DOI: 10.1093/wber/lhv010.
35. Romer P.M. Endogenous Technological Change // Journal of Political Economy. – 1990. – Vol. 98, No. 5, Part 2. – P. S71–S102. – DOI: 10.1086/261725.
36. Van Ark B., O'Mahony M., Timmer M.P. The productivity gap between Europe and the United States: Trends and causes // Journal of Economic Perspectives. – 2008. – Vol. 22, No. 1. – P. 25–44. – DOI: 10.1257/jep.22.1.25.
37. Vu K.M. ICT as a source of economic growth in the information age: Empirical evidence from the 1996–2005 period // Telecommunications Policy. – 2011. – Vol. 35, No. 4. – P. 357–372. – DOI: 10.1016/j.telpol.2011.02.008.

References in Cyrillics

1. Abramov V.I., Andreev V.D. Analiz strategij cifrovoj transformacii regionov Rossii v kontekste dostizheniya nacional'nyh celej // Voprosy gosudarstvennogo i municipal'nogo upravleniya. – 2023. – № 1. – S. 89–119. – DOI: 10.17323/1999-5431-2023-0-1-89-119.

2. Almusaedi H.K., Kelchevskaya N.R. Issledovanie determinant cifrovizacii v Rossii na osnove klasterizacii regionov i analiza urovnya ih zrelosti // Voprosy innovacionnoj ekonomiki. – 2021. – T. 11, № 4. – S. 1705–1720. – DOI: 10.18334/vinec.11.4.113928.
3. Vertakova Yu.V., Bulgakova I.N., Din Sh. Metody i instrumenty cifrovoj transformacii predpriyatij agropromyshlennogo kompleksa v usloviyah industrii 4.0 // π-Economy. – 2023. – T. 16, № 5. – S. 109–122. – DOI: 10.18721/JE.16508.
4. Ganichev N.A., Koshovets O.B. Cifrovaya ekonomika Rossii: k strategii razvitiya v usloviyah sankcij // Problemy prognozirovaniya. – 2022. – № 6. – S. 94–108. – DOI: 10.47711/0868-6351-195-94-108.
5. Zhuravlev D.M., Gluhov V.V. Strategirovanie cifrovoj transformacii ekonomicheskih sistem kak drajver innovacionnogo razvitiya // Nauchno-tehnicheskie vedomosti SPbGPU. Ekonomicheskie nauki. – 2021. – T. 14, № 2. – S. 7–21. – DOI: 10.18721/JE.14201.
6. Kirichenko I.A., Marshova T.N., Migunov I.N. Cifrovaya ekonomika: perspektivy razvitiya i vozmozhnye riski // Rossijskij ekonomicheskij zhurnal. – 2022. – № 6. – S. 31–46. – DOI: 10.33983/0130-9757-2022-6-31-46.
7. Krasnyh S.S. Ocenka urovnya cifrovizacii regionov Rossii s pozicii mezhregionalnogo vzaimodejstviya // Informacionnoe obshchestvo. – 2023. – № 3. – S. 120–128. – DOI: 10.52605/16059921_2023_03_120.
8. Lenchuk E.B. Rossiya v mirovom processe nauchno-tehnologicheskogo razvitiya // Kontury globalnyh transformacij: politika, ekonomika, pravo. – 2021. – T. 14, № 4. – S. 72–91. – DOI: 10.23932/2542-0240-2021-14-4-5.
9. Mirolyubova T.V., Radionova M.V. Ocenka vliyaniya faktorov cifrovoj transformacii na regionalnyj ekonomicheskij rost // Regionologiya. – 2021. – T. 29, № 3. – S. 486–510. – DOI: 10.15507/2413-1407.116.029.202103.486-510.
10. Ovchinnikova O.P., Harlamov M.M. Cifrovaya zrelost' gradoobrazuyushchego predpriyatiya: ocenka i vliyanie na razvitie territorii // Ekonomika regiona. – 2022. – T. 18, № 4. – S. 1249–1262. – DOI: 10.17059/ekon.reg.2022-4-20.
11. Sanina A.G., Homyakova V.A., Ataeva A.G. Cifrovaya transformaciya i ustojchivoe razvitie rossijskih regionov: ocenki sootnosheniya i upravlencheskie implikacii // Voprosy gosudarstvennogo i municipal'nogo upravleniya. – 2025. – № 2. – S. 67–88. – DOI: 10.17323/1999-5431-2025-0-2-67-88.

Ключевые слова

Цифровизация; региональное экономическое развитие; уровень цифровизации (I_d); панельные данные; эконометрический анализ; экономический рост

Стенина Анна Игоревна, аспирантка кафедры «Цифровое управление процессами и системами нефтегазового комплекса»
ORCID: 0009-0005-7317-8947
stenina.omgtu@mail.ru

Keywords

Digitalization; regional economic development; digitalization level (I_d); panel data; econometric analysis; economic growth

Anna Igorevna Stenina is a postgraduate student at the Department of Digital Management of Processes and Systems in the Oil and Gas Complex

JEL classification: O33, R11, O15
DOI 10.34706/DE-2026-05-02

Abstract

The acceleration of digital transformation is accompanied by increasing interregional disparities in Russia's economic development, while the academic literature still lacks sufficient quantitative assessments of the contribution of digitalization to regional economic activity that account for time lags and structural differences in regional development. The purpose of the study is to quantitatively assess the impact of digitalization on the economic activity of Russian regions and to identify differences in the nature and intensity of this impact depending on the structural characteristics of regional development. The methodological framework is based on the theories of endogenous economic growth and the digital economy. The research methods include the construction of an integral index based on four blocks of indicators, correlation analysis, and fixed-effects panel regressions. The empirical base of the study comprises data from Rosstat, the Ministry of Digital Development of the Russian Federation, and the Higher School of Economics for 2017–2024. The findings reveal statistically significant positive effects of digitalization on all the indicators under consideration and demonstrate the heterogeneous nature of this impact: in more developed regions, digitalization strengthens competitive advantages, while in regions with limited industrial potential it performs a compensatory function. Conclusions. Digitalization acts as a structural factor in the formation of a sustainable model of regional economic growth and requires a differentiated regional policy that takes into account effect lags.

УДК: 332.1:004

1.3. Влияние информационно-коммуникационных технологий на техническую эффективность регионов России на основе концепции стохастической границы

Лысенкова М.А., Аний Л.Л., ЦЭМИ РАН, г. Москва, Россия

В статье рассматривается влияние информационно-коммуникационных технологий на техническую эффективность регионов России на основе многофакторной стохастической граничной производственной функции. В модель включены показатели, характеризующие как использование ИКТ в организациях, так и развитие ИКТ-инфраструктуры, что позволяет оценить вклад цифровых факторов в ВРП и построить рейтинг регионов по степени приближения к эффективной границе. Эмпирический анализ по данным субъектов РФ за 2022 год показывает, что традиционные факторы капитала и труда сохраняют ведущую роль, однако отдельные ИКТ-показатели, прежде всего внутренняя компьютеризация организаций, также связаны с повышением выпуска и технической эффективности. Полученные результаты подтверждают необходимость учитывать не только объем, но и качество цифровой среды при оценке регионального развития и разработке мер региональной политики.

Введение

Цифровая трансформация экономики усилила интерес к исследованию роли информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) как фактора производительности, структурных изменений и межрегиональной дифференциации (Ndubuisi et al., 2022; Pan et al., 2022). Для российской экономики этот вопрос особенно значим в условиях неоднородности цифровой инфраструктуры, различий в интенсивности затрат на ИКТ и неравномерного распространения современных технологий между регионами (Жданов, 2023). Существующие отечественные исследования показали, что включение нематериальных факторов, в том числе интеллектуального капитала и характеристик инновационной готовности, существенно влияет на оценки технической эффективности регионов (Макаров и др., 2014).

Вместе с тем влияние ИКТ на региональную эффективность пока недостаточно встроено в модели производственного потенциала, особенно в формате многофакторной стохастической граничной производственной функции. Часть исследований анализируют затраты на ИКТ, цифровое неравенство или цифровую зрелость изолированно, не связывая их напрямую с оценками технической эффективности и рейтингами регионов. Зарубежные исследования, напротив, показывают, что цифровая экономика и качество ИКТ-среды могут быть значимыми драйверами технической эффективности и совокупной факторной производительности.

В связи с этим цель данного исследования заключается в разработке и апробации модели, позволяющей оценить влияние ИКТ-факторов на техническую эффективность регионов России и построить рейтинг регионов на основе концепции стохастической границы.

Анализ цифрового регионального развития

В отечественной и зарубежной литературе (Земцов и др., 2022; Pieri et al., 2018; Untura, 2023) влияние информационно-коммуникационных технологий всё чаще рассматривается не как частный аспект «цифровизации», а как фактор, способный менять форму производственной функции, структуру транзакционных издержек и пространственную организацию хозяйственной деятельности. ИКТ выступают компонентом производственного потенциала, сопоставимым по значимости с физическим капиталом и человеческими ресурсами, а не просто вспомогательной инфраструктурой.

Сходный подход в российской литературе реализуется через исследования интеллектуального капитала, инновационной готовности, качества жизни, цифрового неравенства и структуры затрат на ИКТ. Работы (Аний, 2024; Макаров и др., 2014) показывают, что включение нематериальных и технологических факторов существенно меняет оценки технической эффективности регионов, позволяя выделить «локально эффективные» и «локально неэффективные» территории. Данный результат методологически важен для анализа ИКТ и подтверждает необходимость включения цифровых переменных в производственные функции не только как сопутствующей инфраструктуры, но и как факторов, влияющих на положение и форму эффективной границы, а также на распределение неэффективности.

Исследования (Аний, 2024), посвященные внутренним затратам на ИКТ и их связи с социально-экономическим развитием регионов, показывают, что связь ИКТ-затрат с развитием регионов носит неоднородный характер. Затраты на ИКТ тесно связаны с валовым региональным продуктом (ВРП), числом передовых производственных технологий и научно-образовательным потенциалом, однако структура детерминант различается по группам регионов. Для регионов-лидеров важнее масштаб экономики и уровень технологического развития, в то время как для отстающих регионов – человеческий капитал и образовательная база. Это означает, что цифровизация требует специфической институциональной и кадровой среды, чтобы стать источником повышения эффективности. Помимо этого, исследования (Аний,

2024; Земцов и др., 2022; Урасова, 2019) также фиксируют высокую пространственную концентрацию ИКТ-ресурсов: Москва, Санкт-Петербург и Московская область аккумулируют непропорционально большую долю затрат на ИКТ, причем разрыв в отдельные годы усиливается. С одной стороны, это свидетельствует о формировании «цифрового ядра» экономики, но одновременно порождает проблему эндогенности, так как высокие ИКТ-показатели могут быть следствием, а не причиной уже достигнутого уровня развития. Следовательно, при переходе от описательной статистики к моделям производственной функции и стохастической границы необходима более строгая идентификация причинно-следственных связей, иначе оценки влияния ИКТ на эффективность могут быть завышенными.

Также в литературе (Аний, 2024) цифровая зрелость рассматривается как многомерное явление, которое определяется не только объемом затрат, но и фактическим использованием цифровых технологий, поэтому простые финансовые показатели сами по себе плохо отражают качество цифровой среды. При этом межотраслевые различия остаются значительными, среди них лидируют финансы, связь и ИТ-сектор, тогда как промышленность и АПК отличаются меньшей цифровой зрелостью. Без учёта отраслевой структуры региона интеграция ИКТ-показателей в модели эффективности может приводить к систематическим смещениям.

Другой блок работ (Ганичев, Кошовец, 2022; Metlyakhin, 2020) касается цифрового неравенства и диффузии интернета. Авторы фиксируют опережающее развитие агломераций и северных ресурсных регионов при отставании периферии. Интенсивность использования интернета значимо связана с доходами, образованием и деловым климатом, а пандемия COVID-19 ускорила распространение онлайн-каналов даже в менее развитых территориях (Земцов и др., 2022). При этом сам доступ к интернету создаёт лишь базовое условие для роста производительности, но не гарантирует его без соответствующей институциональной среды.

Международная литература (Susiluoto, 2003; Rehman, Nunziante, 2023; Delorme et al., 1999) подтверждает нелинейный и контекст-зависимый характер влияния ИКТ на производительность и техническую эффективность. На основе данных китайских провинций (Li, Ma, 2024) эффект цифровой экономики на стохастическую граничную функцию становится значимым только после достижения определённого уровня развития цифровой инфраструктуры и инновационной активности. Аналогично (Untura, 2023; Жаркова, 2017; Pieri et al., 2018) цифровизация стимулирует технологический прогресс и структурные сдвиги, однако её влияние на собственную техническую эффективность может быть неоднозначным, так как в краткосрочной перспективе может сопровождаться временным ростом неэффективности несмотря на положительный долгосрочный эффект.

Помимо нелинейности самого эффекта цифровизации, также важна его пространственная природа. На данных Китая и европейских стран (Zou, Liao, Fan, 2024) показано, что развитие цифровой экономики в одном регионе создаёт положительные эффекты для соседних территорий — через диффузию знаний, цепочки поставок и сетевые эффекты цифровых платформ. Это означает, что техническая эффективность региона зависит не только от собственных ИКТ-характеристик, но и от положения в сети межрегиональных связей. При этом работы (Tan et al., 2023; Untura, 2023) показывают, что новые инфраструктурные объекты чаще строятся в перспективных регионах, усиливая проблему эндогенности, а её игнорирование в стохастических моделях приводит к завышению оценок инфраструктурных эффектов.

Таким образом, исследование продолжает линию работ (Untura, 2023; Аний, 2024; Макаров и др., 2014), демонстрирующих, что учёт нематериальных и цифровых факторов принципиально меняет представление о региональной эффективности, и одновременно переносит на российский материал идеи международной литературы о необходимости оценивать не только объём, но и качество ИКТ-среды, использовать интегральные цифровые индексы, тестировать нелинейные и пороговые эффекты, а также различать краткосрочные и долгосрочные последствия цифровизации для технической эффективности регионов.

Методология исследования

Исследование опирается на идею о том, что региональный выпуск определяется не только капиталом и трудом, но и качеством институционально-технологической среды, частью которой выступают информационно-коммуникационные технологии. В связи с этим ИКТ рассматриваются либо как самостоятельный фактор производства, либо как фактор, повышающий результативность использования традиционных ресурсов.

Одна из задач исследования состояла в спецификации многофакторной производственной функции с включением в нее факторов, характеризующих цифровое развитие регионов. Для решения поставленной задачи в работе была сформулирована следующая гипотеза:

Гипотеза 1. Цифровизация регионов (использование ИКТ в организациях и развитие ИКТ-инфраструктуры) статистически и экономически значимо повышает ВРП после учёта традиционных факторов капитала и труда.

В работе используется многофакторная стохастическая граничная производственная функция следующего вида:

$$\ln Y_i = \beta_0 + \beta_K \ln K_i + \beta_L \ln L_i + \beta_B \ln ict_{1i} + \cdots + \beta_B \ln ict_{8i} + v_i - u_i \quad \textbf{(1),}$$

где переменная Y_i определяет ВРП региона i. K_i — стоимость основных фондов. L_i — численность

занятых. ict_i — факторы, характеризующие цифровизацию регионов. β_0, β_K, β_L, β_{ict1},… β_{ict8} — параметры. Случайная составляющая $v_i - u_i$ отражает результаты воздействия на процесс инновационной деятельности региона факторов неопределенности и факторов эффективности. Для моделирования результатов воздействия факторов неопределенности используется нормально распределенная случайная величина v_i с нулевым математическим ожиданием $v_i \in N(0, \sigma_v^2)$. Для моделирования результатов воздействия факторов эффективности используется не зависящая от v_i неотрицательная случайная величина u_i, имеющая усеченное в нуле нормальное распределение с нулевым математическим ожиданием $u_i \in N^+(0, \sigma_u^2)$.

Эмпирическую базу исследования составляют данные по субъектам Российской Федерации за 2022 г. (табл. 1), включающие валовой региональный продукт, показатели капитала и занятости, а также восемь индикаторов цифрового развития. Четыре из них характеризуют использование ИКТ в организациях, а ещё четыре — инфраструктуру доступа. Рассматриваются спецификации модели (1): полная модель с организационный и инфраструктурный ИКТ-показателями (М1) и модели с укрупнёнными блоками цифровых переменных (М2 и М3).

Таблица 1. Исходные данные для моделирования влияния факторов цифрового развития на производственную функцию по данным регионов РФ за 2022 г.

Обозначение	Наименование показателя
Основные производственные факторы	
Y_i	ВРП региона
K_i	Стоимость основных фондов
L_i	Численность занятых
Организационные факторы цифрового развития	
ict_{1i}	Использование специальных программных средств в организациях: обучающие
ict_{2i}	Использование цифровых технологий в организациях: персональные компьютеры (в % от общего числа обследованных организаций)
ict_{3i}	Использование системы электронного документооборота в организациях: организации, использующие электронный обмен данными между своими и внешними информационными системами, по форматам обмена
ict_{4i}	Организации, имевшие веб-сайт (в % от общего числа обследованных организаций)
Инфраструктурные факторы цифрового развития	
ict_{5i}	Число активных абонентов фиксированного широкополосного доступа к сети Интернет, тыс.
ict_{6i}	Число активных абонентов мобильной связи, использующих услуги доступа к сети Интернет, тыс.
ict_{7i}	Число персональных компьютеров на 100 работников
ict_{8i}	Число подключенных абонентских устройств мобильной связи на 1 000 человек населения на конец года; единиц

Источник: Регионы России. Социально-экономические показатели. 2022: Р32 Стат. сб. / Росстат. - М., 2022

Результаты исследования

Оценивание стохастической граничной производственной функции для ВРП регионов России за 2022 г. показало устойчивую роль традиционных факторов производства и более сложную картину влияния показателей цифрового развития.

Таблица 2. Оценки стохастической граничной функции с включением факторов ИКТ по данным 2022 г.

	M1-2022	M2-2022	M3-2022
ln L ***(p-значения)***	0.530*** (0.141)	0.259*** (0.051)	0.459*** (0.137)
ln K ***(p-значения)***	0.759*** (0.037)	0.759*** (0.041)	0.792*** (0.036)
ln ict_1 ***(p-значения)***	0.127 (0.141)	0.071 (0.148)	–
ln ict_2 ***(p-значения)***	0.834* (0.498)	0.792 (0.512)	–
ln ict_3 ***(p-значения)***	−0.565* (0.328)	−0.826** (0.337)	–
ln ict_4 ***(p-значения)***	0.157 (0.304)	0.385 (0.307)	–
ln ict_5 ***(p-значения)***	−0.206*** (0.071)	–	−0.211*** (0.062)

ln ict₆ ***(p-значения)***	−0.053 (0.093)	–	−0.022 (0.096)
ln ict₇ ***(p-значения)***	0.360** (0.153)	–	0.223* (0.146)
ln ict₈ ***(p-значения)***	0.132* (0.083)	–	0.127* (0.085)
Const ***(p-значения)***	−1.358 (2.223)	3.628** (1.506)	1.911 (1.565)
σᵥ ***(p-значения)***	0.130*** (0.026)	0.169*** (0.043)	0.137*** (0.025)
σᵤ ***(p-значения)***	0.178*** (0.056)	0.122 (0.161)	0.182*** (0.056)
Log likelihood	30.89	23.13	27.44

Примечание: **** — значимо на уровне 1%; ** — на уровне 5%; * — на уровне 10%.*

Источник: результаты расчетов с помощью пакета STATA

Во всех рассмотренных спецификациях коэффициенты при логарифмах капитала и труда оказались положительными и высоко статистически значимыми. Суммарная эластичность по этим двум факторам превышает единицу, что может указывать на наличие эффекта масштаба, связанного с агломерацией, либо на то, что часть эффекта цифровизации де-факто «подхватывается» традиционными факторами.

Включение в модель **M2** организационных индикаторов использования ИКТ (***ict₁–ict₄***) привело к получению неоднозначных оценок. Распространённость обучающих программ (***ict₁***) и наличие у организаций собственных веб-сайтов (***ict₄***) связаны с положительным, но статистически незначимым эффектом, тогда как доля организаций, использующих персональные компьютеры (***ict₂***), демонстрирует положительный коэффициент порядка 0,8 с граничной значимостью на уровне 10%. В то же время показатель электронного обмена данными между информационными системами (***ict₃***) устойчиво оказывается отрицательным: в спецификации без инфраструктурных ИКТ он статистически значим на 5%-ном уровне и интерпретируется как снижение ВРП при прочих равных условиях. Можно предположить, что этот результат отражает селекционные и структурные эффекты, когда более проблемные и бюрократизированные регионы активнее формализуют электронный документооборот, а также влияние мультиколлинеарности между различными индикаторами цифровизации организаций.

Более последовательные результаты дают показатели ИКТ-инфраструктуры (***ict₅–ict₈***). В полной спецификации (**M1**) и в модели, включающей только инфраструктурные индикаторы (**M3**), единственным стабильно положительным и экономически содержательным фактором выступает насыщенность предприятий персональными компьютерами (***ict₇***), что указывает на прямую связь между уровнем компьютеризации рабочих мест и экономическими результатами региона. Этот вывод подтверждается исследованиями, показывающими, что именно внутренняя цифровая оснащённость фирм (а не только доступ к сети) в наибольшей степени коррелирует с ростом производительности и инновационной активности (Жданов, 2023).

Устойчиво отрицательный коэффициент при количестве активных абонентов фиксированного широкополосного доступа (***ict₅***) может отражать не столько негативное влияние соответствующей инфраструктуры, сколько структурные особенности экономики регионов: данный сегмент связи активно развивается, в том числе в сравнительно менее богатых регионах с высокой долей домохозяйств и бюджетного сектора, где широкополосная инфраструктура развивается быстрее, чем реальный выпуск.

Показатели мобильной связи (***ict₆*** и ***ict₈***) статистически незначимы во всех рассмотренных спецификациях. Это может быть связано с близкой к насыщению диффузией мобильной связи, в результате чего межрегиональные различия по числу мобильных абонентов и устройств относительно малы и плохо объясняют вариацию ВРП после учёта традиционных факторов и других ИКТ-индикаторов. Массовость мобильного доступа не гарантирует использования продвинутых цифровых сервисов в производственной сфере, что снижает объясняющую силу этих показателей (Смирнов, 2023).

Оценки технической эффективности с учетом факторов, характеризующих цифровое развитие региона

В соответствии с концепцией глокализации неэффективность региона в группе регионов, имеющих близкие характеристики дифференциации, обусловлена тем, что он не использует в полной мере свои особенности и доступные возможности развития, то есть относительно неэффективно использует свои ресурсы (Robertson, 1992). Поэтому техническая эффективность использования инновационного пространства может рассматриваться в качестве характеристики качества управления региональной инновационной системой (Aivazyan et al., 2018). Техническая эффективность рассматривается как мера соответствия фактического результата производственного процесса $exp\{c + \delta \ln V_i + v_i - u_i\}$ потенциально возможному результату $exp\{c + \delta\, ln\, V_i + v_i\}$.

То есть $TE_i = E(e^{-u_i}|v_i - u_i)$. При оцененных параметрах σ_v^2, σ_u^2 модели (1) в соответствии с (Battese, Coelli, 1988) оценка технической эффективности равна:

$$TE_i = E(e^{-u_i}|v_i - u_i) = \frac{\Phi(\tilde{\mu}_i/\sigma_* - \sigma_*)}{\Phi(\tilde{\mu}_i/\sigma_*)} exp\left\{\frac{1}{2}\sigma_*^2 - \tilde{\mu}_i\right\} \quad \textbf{(2)},$$

где $\tilde{\mu}_{it} = -(v_i - u_i)\sigma_u^2/\sigma^2$, $\sigma_*^2 = \sigma_u^2\sigma_v^2/\sigma^2$, $\sigma^2 = \sigma_u^2 + \sigma_v^2$.

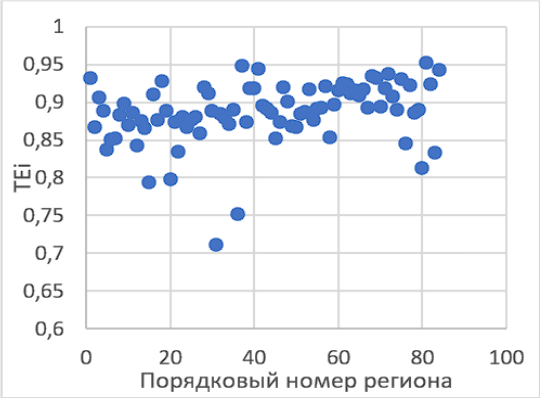


Рис. 1а. Оценки технической эффективности по М0

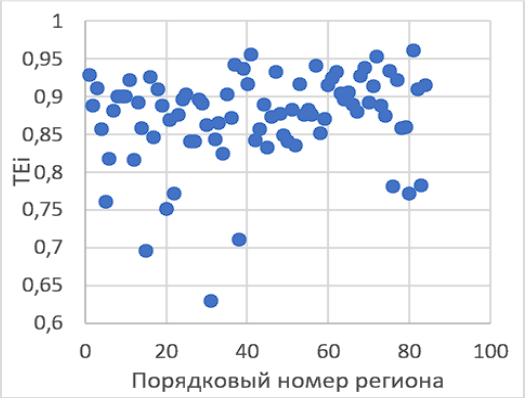


Рис. 1б. Оценки технической эффективности по М1

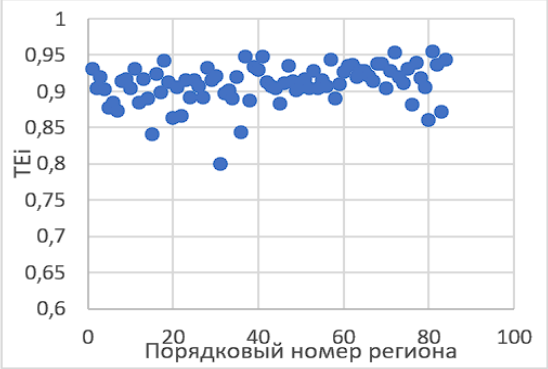


Рис. 1в. Оценки технической эффективности по М2

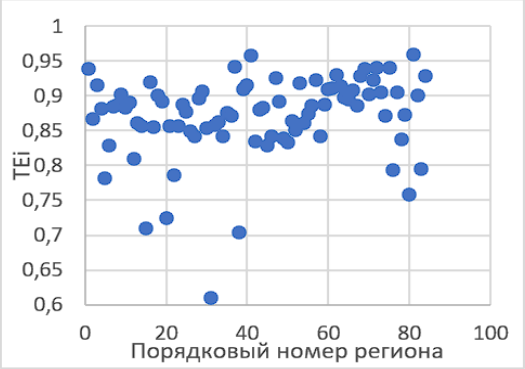


Рис. 1г. Оценки технической эффективности по М3

Источник: расчеты автора

Оценки технической эффективности $\boldsymbol{TE_i}$ находятся в интервале примерно от 0,61 (Республика Крым) до 0,96 (Магаданская область, Омская область, Северная Осетия и др). Такие значения говорят, что модель фиксирует относительно высокую среднюю эффективность и ограниченный резерв роста только за счёт повышения эффективности.

Регионы с высокими значениями $\boldsymbol{TE_i}$ (Белгородская, Московская, Ростовская области, Санкт-Петербург, Татарстан и др.) практически находятся на стохастической границе: при текущих ресурсах регион реализует большую часть производственного потенциала. Для данной группы регионов дальнейший рост ВРП требует сдвига самой границы вверх за счет дополнительного капитала, более квалифицированного труда и качественного ИКТ-капитала.

Регионы с $\boldsymbol{TE_i}$<0,8 (Республика Крым, Республика Коми, Тверская область, Забайкальский край, Амурская область, Еврейская АО и др.) используют свой производственный потенциал менее полно, что может быть связано с сочетанием институциональных, транспортно-логистических, периферийных и структурных ограничений, а также с более высокой зависимостью от бюджетного сектора и ресурсной специализации.

Региональные различия в эффективности устойчивы к изменению набора ИКТ-показателей в модели, однако для ряда территорий (Крым, Тверская область, Забайкальский край) учёт организационных аспектов цифровизации повышает оценку эффективности по сравнению с моделью, учитывающей лишь инфраструктуру доступа.

Низкоэффективные регионы требуют не только наращивания капитала, но и институциональных и организационных реформ, направленных на использование существующей ИКТ-инфраструктуры для повышения производительности.

Обсуждение результатов

Полученные оценки показывают, что включение ИКТ-показателей в стохастическую граничную производственную функцию действительно меняет интерпретацию региональной эффективности, однако характер этого влияния существенно зависит от типа используемых цифровых индикаторов.

В отличие от традиционных факторов капитала и труда, цифровые показатели действуют менее

однозначно: часть из них отражает не прямой производственный эффект, а структурные особенности экономики регионов, различия в отраслевой специализации и степень зрелости цифровой среды. Это особенно заметно для организационных показателей цифровизации. Их статистическая нестабильность указывает на то, что формальное распространение отдельных цифровых практик само по себе ещё не гарантирует роста выпуска, если не сопровождается изменениями в управлении, кадровом составе и производственных процессах.

Более содержательным выглядит влияние показателей, характеризующих внутреннюю цифровую оснащённость организаций. Положительная связь компьютеризации рабочих мест с выпуском позволяет предположить, что на региональном уровне наибольшее значение имеет не просто доступ к инфраструктуре, а глубина включения цифровых технологий в повседневную хозяйственную деятельность. Напротив, отрицательный знак при фиксированном широкополосном доступе, вероятно, отражает не негативное влияние самой инфраструктуры, а различия в траекториях регионального развития, при которых расширение доступа может опережать рост выпуска.

Оценки технической эффективности регионов лежат в диапазоне примерно от 0,61 до 0,96, что указывает на достаточно высокий средний уровень использования производственного потенциала при заметной межрегиональной дифференциации. Для большинства регионов потенциал «догоняющего» роста относительно собственной границы оценивается на уровне 5–15%, тогда как для группы отстающих регионов недоиспользование производственного потенциала достигает 20–40%. Это означает, что для части регионов резерв роста связан прежде всего с институциональными и организационными изменениями, тогда как для регионов, близких к эффективной границе, ключевым становится уже не сокращение неэффективности, а сдвиг самой производственной границы за счёт накопления капитала, повышения качества труда и развития более зрелой цифровой среды.

Заключение

Цифровая трансформация усиливает роль ИКТ как фактора региональной производительности и межтерриториальной дифференциации, что для России особенно существенно с учётом выраженной неоднородности инфраструктуры, различий в цифровой зрелости организаций и устойчивого разрыва между ядром и периферией. При этом отечественные работы, как правило, либо оценивают техническую эффективность регионов без явного включения ИКТ, либо рассматривают цифровизацию вне рамок стохастических граничных моделей производственного потенциала.

С методологической точки зрения результаты показывают, что компонент технической неэффективности с полунормальным распределением оказывается слабо идентифицируемым, а проведённые тесты не позволяют однозначно отвергнуть гипотезу о его нулевом значении, что фактически сближает оценённую спецификацию с обычной регрессией и сужает возможности надёжного ранжирования регионов по уровню неэффективности. Вместе с тем включение ИКТ-показателей даёт возможность уточнить эластичности по традиционным факторам производства и выявить специфические цифровые эффекты, прежде всего значимость внутренней компьютеризации организаций и неоднозначное влияние инфраструктуры фиксированного доступа.

Полученные выводы развивают подход стохастической производственной границы, интегрируя в него блок ИКТ-показателей и тем самым приближая анализ к современной повестке исследований цифрового неравенства и цифрового капитала. С практической позиции оценки технической эффективности и установленная связь между цифровыми характеристиками и выпуском могут служить опорой для региональной политики, ориентированной на повышение качества использования ресурсов и последовательное сокращение цифрового разрыва. Политика поддержки должна ориентироваться не только на расширение доступа, но и на внутреннюю цифровизацию организаций.

Литература

1. Айвазян, С. А. К вопросу о параметризации национальной инновационной системы / С. А. Айвазян, М. Ю. Афанасьев, А. В. Кудров, М. А. Лысенкова // Прикладная эконометрика. – 2017. – № 1(45). – С. 29-49. – EDN YIUFRP.
2. Аний, Л. Л. Оценка взаимосвязи внутренних затрат на ИКТ и социально-экономических показателей развития регионов России / Л. Л. Аний // Цифровая экономика. – 2024. – № 3(29). – С. 88-98. – DOI 10.34706/DE-2024-03-10. – EDN SONWQM.
3. Аний, Л. Л. Оценка факторов, влияющих на формирование затрат на ИКТ в домашних хозяйствах в регионах РФ / Л. Л. Аний // Системное моделирование социально-экономических процессов: труды 45-ой Юбилейной международной научной школы-семинара, д. Красновидово Московской области, 03–09 октября 2022 года. – Воронеж: Издательство «Истоки», 2022. – С. 87-92. – DOI 10.5281/zenodo.7390965. – EDN KXTPUN.
4. Ганичев Н.А., Кошовец О.Б. «Новый цифровой разворот» — от дискурса экономического роста к технологическому расколу мира и принудительной рационализации // Вопросы теоретической экономики. 2022. №4. С. 7–24. DOI: 10.52342/2587-7666VTE_2022_4_7_24.
5. Ганичев Н.А., Кошовец О.Б. Принуждение к цифровой экономике: как изменится структура цифровых рынков под влиянием пандемии COVID-19? // Проблемы прогнозирования. 2021. № 1. С. 19-35. DOI: 10.47711/0868-6351-184-19-35.

6. Ганичев Н.А., Кошовец О.Б. Цифровая экономика России: к стратегии развития в условиях санкций // Проблемы прогнозирования. 2022. № 6(195). С. 94-108. DOI: 10.47711/0868-6351-195-94-108.
7. Жаркова, К. С. Разработка системы статистических показателей влияния информационных технологий на экономическую эффективность // Приоритетные научные направления и критические технологии : сборник материалов I Международной научно-практической конференции, Новосибирск, 06–31 октября 2017 года. – Новосибирск: Общество с ограниченной ответственностью "Центр развития научного сотрудничества", 2017. – С. 103-107. – EDN ZQPHDN.
8. Жданов Д.А. (2023). Цифровизация отечественных производственных компаний: состояние и перспективы // Экономическая наука современной России. № 2 (101). С. 127–141. DOI: 10.33293/1609 1442-2023-2(101)-127-141. EDN: ENNKQF.
9. Земцов С. П., Демидова К. В., Кичаев Д. Ю. Распространение Интернета и межрегиональное цифровое неравенство в России: тенденции, факторы и влияние пандемии // Балтийский регион. 2022. Т. 14, № 4. С. 57—78. doi: 10.5922/2079-8555-2022-4-4.
10. Клейнер Г.Б., Ганичев Н.А., Рыбачук М.А. Стратегические приоритеты системного управления российскими компаниями как средство преодоления технологических дисбалансов цифровизации // Проблемы прогнозирования. 2025. № 6 (213). С. 70-85. DOI: 10.47711/0868-6351-213-70-85.
11. Макаров В. Л. Оценка эффективности регионов РФ с учетом интеллектуального капитала, характеристик готовности к инновациям, уровня благосостояния и качества жизни населения / В. Л. Макаров, С. А. Айвазян, М. Ю. Афанасьев [и др.] // Экономика региона. – 2014. – № 4(40). – С. 9-30. – DOI 10.17059/2014-4-1. – EDN TFGKJZ.
12. Нанавян, А. М. Оценка затрат на развитие информационно-коммуникационных технологий в регионах Российской Федерации / А. М. Нанавян, Л. Л. Аний // Концепции. – 2022. – № 1(41). – С. 78-84. – DOI 10.34705/KO.2022.86.20.008. – EDN AMEITP.
13. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2022: Р32 Стат. сб. / Росстат. - М., 2022.- 1122 с.
14. Смирнов, С. Н. Цифровизация в Российских домохозяйствах: региональные различия / С. Н. Смирнов // Социально-трудовые исследования. – 2023. – № 2(51). – С. 100-108. – DOI 10.34022/2658-3712-2023-51-2-100-108. – EDN ROCEPK.
15. Урасова, А. А. Региональный промышленный комплекс в цифровую эпоху: информационно-коммуникационное измерение / А. А. Урасова // Экономика региона. – 2019. – Т. 15, № 3. – С. 684-694. – DOI 10.17059/2019-3-5. – EDN YXPRZY.
16. Aivazyan S., Afanasyev M. Kudrov A. Indicators of Regional Development Using Differentiation Characteristics // Montenegrin Journal of Economics. – 2018. – Vol. 14, No.3. – Pp. 7–22.
17. Battese G. E., Coelli T. J. Prediction of Firm-level Technical Efficiencies with a Generalized Frontier Production Function and Panel Data // Journal of Econometrics. – 1988. – Vol. 38. – Pp. 387–399.
18. Delorme C. D., Thompson H. G., Warren R. S. Public infrastructure and private productivity: a stochastic-frontier approach // Journal of Macroeconomics. – 1999. – Vol. 21, No. 3. – P. 563–576. DOI: 10.1016/S0164-0704(99)00116-0.
19. Li G., Ma D. Does the digital economy improve comprehensive total factor productivity in China? // Frontiers in Public Health. – 2024. – Vol. 12. – Art. 1352754. DOI: 10.3389/fpubh.2024.1352754.
20. Metlyakhin A. I., Nikitina N. A., Yarygina L. V., Orlova E. O. Analysis of the impact of economy digitalization on labor productivity in Russia // St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics. – 2020. – Vol. 13, No. 2. – Pp. 7–17. DOI: 10.18721/JE.13201. – EDN ZATUWZ.
21. Ndubuisi G., Otioma C., Owusu S., Tetteh G. K. ICTs quality and technical efficiency: an empirical analysis // Telecommunications Policy. – 2022. – Vol. 46, No. 10. – Art. 102439. DOI: 10.1016/j.telpol.2022.102439.
22. Pan W., Xie T., Wang Z., Ma L. Digital economy: an innovation driver for total factor productivity // Journal of Business Research. – 2022. – Vol. 139. – P. 303–311. DOI: 10.1016/j.jbusres.2021.09.061.
23. Pieri F., Vecchi M., Venturini F. Modelling the joint impact of R&D and ICT on productivity: A frontier analysis approach // Research Policy. – 2018. – Vol. 47, No. 9. – Pp. 1842–1852.
24. Rehman N. U., Nunziante G. The effect of the digital economy on total factor productivity in European regions // Telecommunications Policy. – 2023. – Vol. 47, No. 10. DOI: 10.1016/j.telpol.2023.102650.
25. Robertson Globalization: Social Theory and Global Culture. L., 1992.
26. Susiluoto I. Effects of ICT on Regional Economic Efficiency, 2003. URL: https://www.hel.fi/hel2/tietokeskus/julkaisut/pdf/03_12_30_susiluoto_vj16.pdf
27. Tan R., Cui L., Meng X., Xu M. Towards energy conservation by constructing more transportation infrastructure?: An endogenous stochastic frontier analysis framework // Journal of environmental management. – 2023. – Vol. 346. – Art. 118992. DOI: 10.1016/j.jenvman.2023.118992.
28. Untura, G. A. The Knowledge Economy and Digitalization: Assessing the Impact on Economic Growth of Russian Regions // Regional Research of Russia. – 2023. – Vol. 13, No. 3. – P. 397-406. – DOI: 10.1134/s2079970523700909. – EDN VVSJSX.
29. Zou S., Liao Z., Fan X. The impact of the digital economy on urban total factor productivity: mechanisms and spatial spillover effects // Scientific Reports. – 2024. – Vol.14. – Art. 396. DOI: 10.1038/s41598-023-49915-3.

References in Cyrillics

1. Ajvazyan, S. A. K voprosu o parametrizacii nacional`noj innovacionnoj sistemy` / S. A. Ajvazyan, M. Yu. Afanas`ev, A. V. Kudrov, M. A. Ly`senkova // Prikladnaya e`konometrika. – 2017. – № 1(45). – S. 29-49. – EDN YIUFRP.
2. Anij, L. L. Ocenka vzaimosvyazi vnutrennix zatrat na IKT i social`no-e`konomicheskix pokazatelej razvitiya regionov Rossii / L. L. Anij // Cifrovaya e`konomika. – 2024. – № 3(29). – S. 88-98. – DOI 10.34706/DE-2024-03-10. – EDN SONWQM.
3. Anij, L. L. Ocenka faktorov, vliyayushhix na formirovanie zatrat na IKT v domashnix xozyajstvax v regionax RF / L. L. Anij // Sistemnoe modelirovanie social`no-e`konomicheskix processov: trudy` 45-oj Yubilejnoj mezhdunarodnoj nauchnoj shkoly`-seminara, d. Krasnovidovo Moskovskoj oblasti, 03–09 oktyabrya 2022 goda. – Voronezh: Izdatel`stvo «Istoki», 2022. – S. 87-92. – DOI 10.5281/zenodo.7390965. – EDN KXTPUN.
4. Ganichev N.A., Koshovecz O.B. «Novy`j cifrovoj razvorot» — ot diskursa e`konomicheskogo rosta k texnologicheskomu raskolu mira i prinuditel`noj racionalizacii // Voprosy` teoreticheskoj e`konomiki. 2022. №4. S. 7–24. DOI: 10.52342/2587-7666VTE_2022_4_7_24.
5. Ganichev N.A., Koshovecz O.B. Prinuzhdenie k cifrovoj e`konomike: kak izmenitsya struktura cifrovy`x ry`nkov pod vliyaniem pandemii COVID-19? // Problemy` prognozirovaniya. 2021. № 1. S. 19-35. DOI: 10.47711/0868-6351-184-19-35.
6. Ganichev N.A., Koshovecz O.B. Cifrovaya e`konomika Rossii: k strategii razvitiya v usloviyax sankcij // Problemy` prognozirovaniya. 2022. № 6(195). S. 94-108. DOI: 10.47711/0868-6351-195-94-108.
7. Zharkova, K. S. Razrabotka sistemy` statisticheskix pokazatelej vliyaniya informacionny`x texnologij na e`konomicheskuyu e`ffektivnost` // Prioritetny`e nauchny`e napravleniya i kriticheskie texnologii : sbornik materialov I Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Novosibirsk, 06–31 oktyabrya 2017 goda. – Novosibirsk: Obshhestvo s ogranichennoj otvetstvennost`yu Centr razvitiya nauchnogo sotrudnichestva, 2017. – S. 103-107. – EDN ZQPHDN.
8. Zhdanov D.A. (2023). Cifrovizaciya otechestvenny`x proizvodstvenny`x kompanij: sostoyanie i perspektivy` // E`konomicheskaya nauka sovremennoj Rossii. № 2 (101). S. 127–141. DOI: 10.33293/1609 1442-2023-2(101)-127-141. EDN: ENNKQF.
9. Zemczov S. P., Demidova K. V., Kichaev D. Yu. Rasprostranenie Interneta i mezhregional`noe cifrovoe neravenstvo v Rossii: tendencii, faktory` i vliyanie pandemii // Baltijskij region. 2022. T. 14, № 4. S. 57—78. doi: 10.5922/2079-8555-2022-4-4.
10. Klejner G.B., Ganichev N.A., Ry`bachuk M.A. Strategicheskie prioritety` sistemnogo upravleniya rossijskimi kompaniyami kak sredstvo preodoleniya texnologicheskix disbalansov cifrovizacii // Problemy` prognozirovaniya. 2025. № 6 (213). S. 70-85. DOI: 10.47711/0868-6351-213-70-85.
11. Makarov V. L. Ocenka e`ffektivnosti regionov RF s uchetom intellektual`nogo kapitala, xarakteristik gotovnosti k innovaciyam, urovnya blagosostoyaniya i kachestva zhizni naseleniya / V. L. Makarov, S. A. Ajvazyan, M. Yu. Afanas`ev [i dr.] // E`konomika regiona. – 2014. – № 4(40). – S. 9-30. – DOI 10.17059/2014-4-1. – EDN TFGKJZ.
12. Nanavyan, A. M. Ocenka zatrat na razvitie informacionno-kommunikacionny`x texnologij v regionax Rossijskoj Federacii / A. M. Nanavyan, L. L. Anij // Koncepcii. – 2022. – № 1(41). – S. 78-84. – DOI 10.34705/KO.2022.86.20.008. – EDN AMEITP.
13. Regiony` Rossii. Social`no-e`konomicheskie pokazateli. 2022: R32 Stat. sb. / Rosstat. - M., 2022.- 1122 s.
14. Smirnov, S. N. Cifrovizaciya v Rossijskix domoxozyajstvax: regional`ny`e razlichiya / S. N. Smirnov // Social`no-trudovy`e issledovaniya. – 2023. – № 2(51). – S. 100-108. – DOI 10.34022/2658-3712-2023-51-2-100-108. – EDN ROCEPK.
15. Urasova, A. A. Regional`ny`j promy`shlenny`j kompleks v cifrovuyu e`poxu: informacionno-kommunikacionnoe izmerenie / A. A. Urasova // E`konomika regiona. – 2019. – T. 15, № 3. – S. 684-694. – DOI 10.17059/2019-3-5. – EDN YXPRZY.

Лысенкова Мария Александровна, к.э.н., с.н.с. ЦЭМИ РАН
ORCID 0000-0002-2381-9807
lysenkovam@gmail.com

Аний Людмила Леонидовна, м.н.с. ЦЭМИ РАН
ORCID 0000-0001-6703-1504
aniyl@bk.ru

Ключевые слова:
Техническая эффективность; стохастическая граница; производственная функция; регионы России; ИКТ; цифровая экономика; рейтинг регионов.

Maria Lysenkova, Lyudmila Anii, The impact of information and communication technologies on the technical efficiency of Russian regions within the stochastic frontier framework

Keywords
Technical efficiency, stochastic frontier, production function, Russian regions, ICT, digital economy, regional ranking.
DOI: 10.34706/DE-2026-05-03
JEL classification: C13, C51, O33, R11

Abstrac*t*
This article examines the impact of information and communication technologies (ICT) on the technical efficiency of Russian regions using a multifactor stochastic frontier production function. The model incorporates indicators reflecting both the use of ICT in organizations and the development of ICT infrastructure, enabling an assessment of the contribution of digital factors to gross regional product (GRP) and the construction of a ranking of regions by their proximity to the efficiency frontier. An empirical analysis based on data from the constituent entities of the Russian Federation for 2022 shows that traditional factors of capital and labor retain a leading role; however, certain ICT indicators, particularly the internal computerization of organizations, are also associated with increased output and technical efficiency. The results highlight the importance of considering not only the volume but also the quality of the digital environment when assessing regional development and designing regional policy measures.

УДК 004.9:330.34

1.4. Проблема совершенствования цифровой трансформации общества и экономики России и пути ее решения

Осипов В.Ю., Федорченко Л.Н.,
СПБ ФИЦ РАН, Санкт-Петербург

Поставлена актуальная проблема по совершенствованию цифровой трансформации общества и экономики России на основе развития соответствующей теории. С системных позиций рассмотрены ее цели и задачи с учетом активного использования систем искусственного интеллекта и роботов. Отражены свойственные цифровой трансформации тенденции и противоречия. Математически сформулирована в обобщенном виде задача по поиску целесообразных решений по цифровой трансформации на основе анализа многомерных временных рядов параметров. Раскрыты показатели и критерии оценивания эффективности цифровой трансформации, позволяющие формулировать множество частных новых оптимизационных задач. Предложено обосновывать решения по цифровой трансформации с использованием усовершенствованного прогнозирующего нейроуправления. Приведен пример нейросетевого моделирования процессов цифровой трансформации, подтверждающий работоспособность предлагаемого подхода.

Информация о финансировании.
Авторы выполняли исследование в рамках Государственного научно-исследовательского задания (тема № FFZF-2025-0006).

Введение

Цифровизация промышленности и социальной сферы, перевод многих сервисов и услуг в цифровой формат, новые вызовы приводят к повышению требований к цифровой трансформации общества и экономики России. Требуется регулярное совершенствование процессов функционирования информационного общества с цифровой экономикой. Несомненно, успешность внедрения и совершенствования цифровых информационных технологий (ИТ) зависит от технологического, научно-методического и законодательного обеспечения цифровой трансформации экономики и общества. Необходимо прогнозирование эффективности использования информационных систем и технологий с использованием научно обоснованных моделей и методов, а также разработка перспективных интеллектуальных систем и технологий. Особенно это актуально при использовании новых цифровых технологий в виде систем искусственного интеллекта (ИИ) и когнитивных роботов. Анализ известных подходов (Методические рекомендации по цифровой трансформации государственных корпораций и компаний с государственным участием. 2022; Цифровая трансформация. Основные принципы, этапы и результаты реализации, 2024; Measuring the Digital Transformation: A Roadmap for the Future, 2019), математических моделей, методов и технологий (Баланов, 2024; Вертакова, Булгакова, 2023; Цифровая трансформация. Основные принципы, этапы и результаты реализации, 2024; Цифровая трансформация: эффекты и риски в новых условиях, 2024; Ronzhin et al., 2025) цифровой трансформации общества и экономики России показывает, что существует несоответствие между уровнем развития теории и технологий такой трансформации потребностям практики. Специфика состоит в том, что процессы цифровой трансформации общества и экономики России являются многоцелевыми, обусловленными множеством различных условий, очень сложными и трудно формализуемыми. Законы поведения этих процессов изменяются во времени. Им свойственны как линейные, так и нелинейные зависимости очень большого число параметров, циклические действия, самовоспроизведение событий и другие особенности. Не всегда для формализации этих процессов можно использовать традиционные аналитическое и имитационное моделирование.

Необходимо развитие теории цифровой трансформации общества и экономики России, разработка новых моделей и методов обоснования решений по такой трансформации, по использованию современных информационных технологий, включая системы искусственного интеллекта и когнитивных роботов.

1. Цифровая трансформация как объект исследования

Цифровую трансформацию общества и экономики России с учетом (Методические рекомендации по цифровой трансформации государственных корпораций и компаний с государственным участием, 2022; Цифровая трансформация. Основные принципы, этапы и результаты реализации, 2024; Measuring the Digital Transformation: A Roadmap for the Future, 2019) можно определить, как комплексный процесс, связанный с радикальными изменениями в жизни общества и в экономической деятельности за счет повсеместной разработки, внедрения и использования цифровых технологий. В настоящее время в качестве таких ключевых технологий выступают различные системы искусственного интеллекта (СИИ) и многофункциональные роботы. Идет развитие интернета вещей, накопление данных и знаний, получаемых человечеством. Появились большие интеллектуальные языковые и генеративные модели, умные

мобильные средства коммуникации, оперативного поиска и обработки разнородной информации. С одной стороны, это существенно расширило возможности человека по решению рутинных и творческих задач, а с другой стороны - обострило проблемы, связанные с другими аспектами.

В обобщенном виде процесс цифровой трансформации общества и экономики можно представить в виде рисунка 1. Использование цифровых технологий потенциально возможно во всех сферах общественной жизни (духовной, социальной, экономической, политической и других). За счет применения цифровых технологий люди могут находиться постоянно на связи, оперативно получать необходимые информационные услуги, облегчать себе труд при выполнении различных работ, возлагать многие функции на интеллектуальные машины и роботы. За счет цифровых технологий удается существенно продвинуться в производстве различных средств и товаров, в транспортной, космической, медицинской, сельскохозяйственной и других областях. Несомненно, это положительно влияет на процессы внедрения, производства цифровых технологий, а также на генерацию новых знаний и разработку новых перспективных цифровых решений.

В качестве целей цифровой трансформации на верхнем уровне согласно рисунку 1 могут выступать расширение возможностей людей по взаимодействию, повышение уровня образования, культуры, увеличение доходов населения, улучшение жизнеобеспечения. Также к этим целям относятся повышение эффективности целых отраслей и предприятий, освоение новых рынков, улучшение продуктов и услуг, другие.

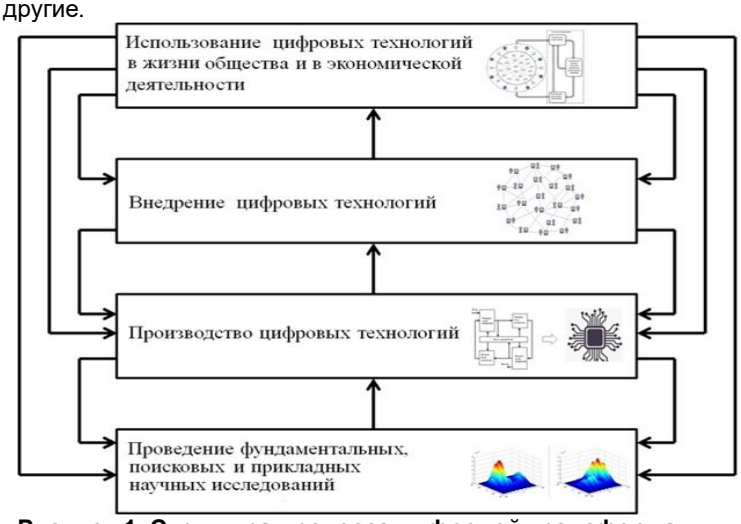


Рисунок 1. Структура процесса цифровой трансформации

На уровне внедрения цифровых технологий к достигаемым целям можно отнести оперативное и точное внедрение, снижение различных видов затрат, получение максимальных доходов.

При производстве цифровых технологий в качестве главных целей выступают: максимальное количество выпускаемой продукции с заданным качеством на заданном интервале времени, минимизация производственных затрат.

При проведении фундаментальных, поисковых и прикладных исследований в области цифровых технологий стремятся на заданном интервале времени получить новые знания и решения, позволяющие существенно, а в ряде случаев кардинально улучшить способы и средства цифровизации прикладных процессов.

Для того чтобы цифровая трансформация на различных уровнях протекала организованно ею определенным образом необходимо управлять. Такое управление с учетом (Цифровая трансформация. Основные принципы, этапы и результаты реализации, 2024; Measuring the Digital Transformation: A Roadmap for the Future, 2019) может предусматривать сначала планирование на различных этапах, включающее постановку целей и разработку планов с анализом ситуаций, определением заинтересованных сторон, распределением полномочий, оценкой имеющихся ресурсов. Затем эти планы должны быть реализованы. При этом должна осуществляться проверка достижимости целей на основе мониторинга реализации планов и анализа результатов. В случаях несоответствия получаемых результатов запланированным показателям, требуется коррекция планов, выработка мер по их улучшению. При этом должны учитываться объективные ограничения на формирование и реализацию планов.

Заметим, что для реализации управления цифровой трансформацией как на отдельных уровнях, так и в целом необходимо наличие соответствующих моделей и методов. Среди них особое место занимают методы прогнозирования эффективности цифровой трансформации при планировании внедрения конкретных цифровых технологий в социальные и производственные процессы. Они должны позволять оперативно находить приемлемые для практики управляющие решения. Если при анализе простых процессов это не составляет особого труда, то для структурно сложных систем прогнозирование эффективности цифровой трансформации проблематично. Очень высок уровень неопределенности информации об этих системах, чрезвычайно сложно строить для таких систем аналитические модели. При этом особенности выработки и реализации управляющих решений по цифровой трансформации сложных процессов состоят в быстром развитии самих цифровых технологий, смене одних на другие, а на саму реализацию требуются значительные временные затраты. В этом плане при выработке управляющих решений должны учитываться прогнозы появления новых цифровых решений.

Принимаемые решения по цифровой трансформации должны базироваться не только на мониторинге автоматизируемых объектов, процессов и текущих возможностей применяемых технологий, но и на возможностях науки, а также промышленности по реализации научных достижений.

В качестве обобщенных задач цифровой трансформации общества и экономики России предлагается выделить:

1. Формирование и реализация программ цифровой трансформации и экономики России, ориентированных на текущие и перспективные внутренние и внешние проблемные вызовы.
2. Подготовку квалифицированных кадров по разработке перспективных цифровых технологий и реализации их на практике.
3. Проведение фундаментальных, поисковых и прикладных научных исследований, направленных на опережающее получение прорывных результатов в области ИИ и умных мобильных роботов с пониманием возможных последствий.
4. Модернизацию промышленного производства с ориентацией на использование передовых цифровых технологий и разработку нового поколения аппаратных и программных средств, реализующих методы искусственного интеллекта.
5. Планомерное обоснованное и сбалансированное внедрение систем доверенного искусственного интеллекта и умных роботов во все сферы деятельности человека.

В качестве частных задач цифровой трансформации могут выступать: внедрение цифровых технологий, включая методы искусственного интеллекта, в процессы государственного управления на различных уровнях, на транспорте, в медицине при диагностике и лечении заболеваний, в промышленности, сельском хозяйстве, рыбной отрасли, научных исследованиях, учебном процессе, торговле и других сферах. Примерами цифровизации процессов выступают внедрение электронного документооборота, программ автоматизации бухгалтерского учета, мобильных приложений для работы сотрудников, интеллектуальных систем контроля качества продукции, систем автоматизированного проектирования, интеллектуальных автономных систем управления и другие.

С учетом (Цифровая трансформация. Основные принципы, этапы и результаты реализации, 2024) необходимо стремиться, чтобы цифровая экономика имела сбалансированное место в экономической статистике. Следует понять предельные возможности цифровой трансформации общества и экономики России и возможные экономические последствия. Необходимо иметь методы оценивания влияния цифровой трансформации на социальные и экономические цели. Актуален поиск новых междисциплинарных подходов к сбору и обработке данных. Требуется совершенствовать мониторинг технологий, лежащих в основе цифровой трансформации. Необходимо совершенствовать проверку доверия к информации, получаемой в интернете.

2. Тенденции и противоречия в цифровой трансформации

Опираясь на современные исследования (Мониторинг развития информационного общества в Российской Федерации, 2025; Тринадцать главных ИТ-трендов, 2025; Mickiewicz, Volkava, 2022), с учетом структуры процесса на рисунке 1, определимся с тенденциями и противоречиями в цифровой трансформации общества и экономики.

К таким тенденциям на уровне использования цифровых технологий в жизни общества и экономической деятельности можно отнести следующие:

– повышается уровень цифровизации населения и экономических процессов;

– растет доля населения, использующего интернет для заказа товаров, получения государственных и муниципальных услуг;

– увеличивается спрос на внедрение цифровых технологий с элементами искусственного интеллекта и умных многофункциональных роботов не только в традиционном производстве, но и в аэропортах, крупноформатных магазинах, ресторанах, складах, гостиничном бизнесе, сельском хозяйстве;

– за счет внедрения передовых цифровых технологий идет существенная трансформация космической отрасли, медицины, биоинженерии, образования и других сфер деятельности;

– активно развиваются автономные интеллектуальные транспортные средства, электромобили, беспилотные подводные, наземные, морские и воздушные аппараты;

– повышается производительность труда посредством внедрения интеллектуальных цифровых технологий в различные сферы деятельности людей;

– цифровая трансформация постепенно затрагивает все секторы экономики, но идет с разной скоростью и в разных масштабах;

– снижаются расходы на использование цифровых технологий. Эти технологии при массовом внедрении становятся дешевле;

– возрастает потребность в специалистах по интеллектуальным цифровым технологиям;

– при цифровой трансформации существенного сокращения кадров в организациях не наблюдается, идет переориентация работников на решение других творческих задач.

Однако возникают **противоречия** между:

– уровнем цифровизации и правилами, нормами поведения в цифровом пространстве с учетом обеспечения безопасности;

– применением цифровых технологий и необходимостью защиты от дезинформации, компьютерных деструктивных воздействий;

– высокопроизводительными вычислениями и энергопотреблением;

– использованием устаревших цифровых технологий и внедрением вместо них новых цифровых решений;

– уровнем развития моделей, методов и методик прогнозирования эффективности, оптимизации цифровой трансформации и потребностями практики.

Среди тенденций на уровне внедрения цифровых технологий можно выделить:

– сокращаются сроки внедрения и увеличиваются его объемы;

– снижаются сопутствующие риски;

– повышается уровень обоснованности внедрения интеллектуальных цифровых технологий в конкретные процессы;

– растет интеллектуальность и удаленность самого внедрения, предоставление периферийного искусственного интеллекта.

Примерами противоречий на этом уровне иерархии цифровой трансформации выступают несоответствия между:

– затратами времени на внедрение и отведенными сроками;

– затратами материальных ресурсов и запасами;

– гарантийными сроками и возникающими техническими проблемами в работе цифровых технологий;

– требуемым уровнем квалификации специалистов по внедрению цифровых технологий и возможностями персонала;

– существующими моделями, методами внедрения цифровых технологий и потребностями исполнителей.

Тенденции цифровой трансформации на уровне производства цифровых технологий это:

– разработка более совершенных систем искусственного интеллекта, ориентированных на конкретные области применения;

– повышение внимания к разработке многоагентных интеллектуальных систем;

– увеличение числа разрабатываемых средств на основе генеративного ИИ;

– дальнейшая разработка и совершенствование средств для облачных и периферийных вычислений;

– разработка интеллектуальных систем для многофункциональных роботов бытового назначения;

– ориентация на специализированные полупроводниковые средства для реализации методов искусственного интеллекта (разработка новых ускорителей на базе графических процессоров, интегральных схем специального назначения и программируемых вентильных матриц;

– разработка энергоэффективных микросхем с применением мемристивных технологий для реализации на них когнитивных машин различного прикладного назначения. В ближайшие 7–10 лет возможно создание биоподобных умных чипов с энергонезависимой памятью;

– повышение уровня цифровизации самого процесса разработки цифровых технологий.

Среди противоречий цифровой трансформации на уровне производства цифровых технологий выступают:

– неполное соответствие применяемых средств производства цифровых технологий потребностям разработчиков. В частности, постоянно требуется совершенствовать программные средства автоматизированного проектирования и средства изготовления перспективных микросхем. Россия остро нуждается в перспективных литографах;

– противоречия между устоявшими технологиями производства и нововведениями из-за сопутствующих дополнительных затрат на их внедрение;

– несоответствие уровня квалификации сотрудников предприятий требованиям по освоению новых способов и средств разработки интеллектуальных цифровых технологий.

К **тенденциям цифровой трансформации** фундаментальных, поисковых и прикладных научных исследований можно отнести:

– повышение уровня автоматизации, доступности информационных, программных и вычислительны ресурсов для проведения исследований по цифровой трансформации;

– усиление внимания к системному исследованию цифровой трансформации больших и сверхсложных социальных и экономических систем;

– рост исследований по изучению биологических объектов для последующей реализации, вскрытых принципов и механизмов функционирования в интеллектуальных программных и аппаратных средствах;

– активное развитие и использование идей искусственного интеллекта на основе нейросетевых технологий;

– снижение энергопотребления интеллектуальных устройств и систем;

– разработка квантовых и постквантовых информационных технологий;

– развитие идей слияния разнородной информации, интерфейсов взаимодействия человека с интеллектуальными машинами и другие.

Основные противоречия цифровой трансформации применительно к научным исследованиям сводятся к:

– несоответствию потребностей исследователей реальным возможностям по обеспечению работ необходимыми информационными, программными, математическими, вычислительными и другими средствами;

– необходимости повышения уровня подготовки научных кадров для решения фундаментальных задач по цифровой трансформации;

– разрозненности проводимых исследований по такой трансформации;

– отсутствию стройной системы взглядов на цифровую трансформацию общества и экономики России.

Обобщая сформулированные противоречия в цифровой трансформации, сведем их в таблицу 1. Из анализа таблицы 1 видно, что на текущий момент времени исследованиям цифровой трансформации общества и экономики России уделяется недостаточное внимание.

Таблица 1. Противоречия в цифровой трансформации

Содержание противоречий между:
Применением цифровых технологий и необходимостью защиты от дезинформации, компьютерных деструктивных воздействий.
Уровнем цифровизации и правилами, нормами поведения в цифровом пространстве.
Высокопроизводительными вычислениями и энергопотреблением при цифровой трансформации.
Использованием устаревших цифровых технологий и внедрением вместо них новых цифровых решений.
Уровнем развития моделей, методов и методик прогнозирования эффективности, оптимизации цифровой трансформации и потребностями практики.
Затратами времени на внедрение цифровых технологий и отведенными сроками.
Требуемым уровнем квалификации персонала по научным исследованиям, производству, внедрению цифровых технологий и реальными возможностями.
Неполным соответствием применяемых средств производства цифровых технологий потребностям разработчиков.
Устоявшими технологиями производства и нововведениями из-за сопутствующих дополнительных затрат на их внедрение.
Несоответствием потребностей исследователей реальным возможностям по обеспечению работ необходимыми информационными, программными, математическими, вычислительными и другими средствами.
Необходимостью объединения усилий и разрозненностью проводимых исследований по цифровой трансформации.
Необходимостью наличия и отсутствием стройной системы взглядов на цифровую трансформацию общества и экономики России.

Учитывая стремительное развитие искусственного интеллекта и роботов, внедрение их во все сферы жизни и деятельности общества, следует снизить стихийность цифровой трансформации и повысить уровень управления ею.

Для повышения эффективности управления цифровой трансформацией общества и экономики России требуется наличие качественных моделей, методов и технологий обоснования решений по этой трансформации. Необходимо своевременное и точное прогнозирования возможных событий, связанных с цифровой трансформацией, и учета результатов прогноза при принятии управляющих решений.

3. Анализ известных моделей, методов

Известны математические модели, методы и технологии, применимые для обоснования решений по цифровой трансформации (Баланов, 2024; Вертакова, Булгакова, 2023; Вертакова, Клевцова М, Положенцева, 2018; Прохоров, Минашкин, 2021; Цифровая трансформация. Основные принципы, этапы и результаты реализации, 2024; Цифровая трансформация: эффекты и риски в новых условиях, 2024; Measuring the Digital Transformation: A Roadmap for the Future, 2019; Ronzhin et al., 2025). Еще до появления термина «цифровая трансформация» с помощью ряда моделей и методов обосновывались мероприятия по цифровизации различных процессов (Справочник по теории автоматического управления, 1987; Haykin, 2008). В настоящее время с активным развитием искусственного интеллекта и роботов ситуация с цифровизацией резко начала меняться, сводиться к полноценной цифровой трансформации (Цифровая трансформация: эффекты и риски в новых условиях, 2024; Measuring the Digital Transformation: A Roadmap for the Future, 2019) на различных уровнях иерархии общества и экономики России. Сложилась ситуация, что уровень развития теории цифровой трансформации (принципов, моделей и методов) не соответствует потребностям практики. Необходима разработка новых подходов, математических моделей, методов и технологий по обоснованию решений по цифровой трансформации.

Все возможные модели процессов цифровой трансформации можно разделить по видам пространств состояний и времени на четыре группы (Справочник по теории автоматического управления, 1987). Это модели с формализацией процессов в:

– непрерывном пространстве состояний и (непрерывном/ дискретном) времени;

– дискретном пространстве состояний и (непрерывном/ дискретном) времени;

Примерами моделей с непрерывным пространством состояний и непрерывным временем выступают формализация процессов с использованием дифференциальных и интегральных уравнений. Дискретное пространство состояний и непрерывное время свойственно Марковским и полумарковским процессам, часто отражаемых графами состояний. Моделям в виде автоматов характерно дискретное пространство состояний и дискретное время.

В зависимости от видов входящих в модели параметров они могут быть детерминированными и стохастическими.

Различают линейные и нелинейные модели, с обучением и без него, формируемые вручную или автоматически (Haykin, 2008). К обучаемым моделям относятся байесовские сети, аналитические регрессионные модели, различные нейронные сети и другие. При этом обучение возможно с учителем и без него.

Модели могут строиться с различными целями и представляться в виде целевых функций и условий их достижения. В зависимости от специфики цифровой трансформации, преследуемых целей и условий их достижения возможны различные модели, отражающие объективные закономерности реальных процессов.

С использованием моделей процессов в зависимости от задаваемых начальных условий различают задачи и методы прямого и обратного анализа, а также синтеза. Прогнозирование эффективности цифровой трансформации относится к задаче прямого анализа. В простых случаях, когда законы поведения процессов мало изменяются, можно поступать следующим образом. Это строить аналитические модели и с помощью их обосновывать решения по цифровой трансформации на заданных интервалах времени. Затем модели с учетом изменившихся законов поведения анализируемых процессов можно корректировать и снова использовать. Когда идет речь о формализации процессов сложных систем с изменяющимися законами поведения, такой подход не всегда приемлем. На построение и перестройку сложных моделей требуются значительные людские, материальные и временные ресурсы. При этом могут иметь место жесткие временные ограничения на обоснование управляющих решений.

Из-за высокой сложности анализируемых процессов в обществе и экономике, трудностей их формализации, необходимости учета большого числа неявно связанных факторов, задачи прогнозирования цифровой трансформации во многом не проработаны. Часто подобные задачи сводят к прогнозированию многомерных временных рядов (ВР), несущих информацию о характеристиках (показателях) анализируемых систем. Количество этих рядов может исчисляться десятками. Если ограничиться анализом небольшого числа ВР, то можно не учесть важные факторы и потерять в точности получаемых прогнозов. За счет увеличения числа ВР при многомерном анализе достижимо повышение точности прогнозирования, но требуются значительные временные и другие затраты. Переменные временных рядов могут находиться в различных пределах, а влияние отдельных элементов временных рядов друг на друга в общем случае носит нелинейный характер.

Известны подходы (Mendis et al., 2024) к решению подобных задач. К ним относятся методы на основе векторной авторегрессии (Bragoudakis, Krompas, 2025; Hana, Othman, 2025; Tänzer, 2024), нейросетевых и других моделей (Домащенко, Никулин, 2017; Chege et al., 2025; Mardjo, Choksuchat, 2024; Shen et al., 2025; Shibo et al., 2025; Tänzer, 2024). Они применяются для прогнозирования валового внутреннего продукта, инфляции, процентных ставок, обменных курсов, производственных показателей, спроса на товары. Известны также публикации, посвященные непосредственно прогнозированию цифровой трансформации (Вертакова, Булгакова, 2023; Вертакова и др., 2018; Ермакова, 2022; Прохоров, Минашкин, 2021). В частности, в (Прохоров, Минашкин, 2021) напрямую отражаются аспекты анализа и прогнозирования динамики цифровой трансформации экономики Российской Федерации. В статье (Ермакова, 2022) анализируется воздействие развития цифровых технологий на экономический рост ведущих стран Латинской Америки. Отметим особенности этих методов. Исходная векторная авторегрессия (Vector Auto Regression (VAR)) (Hana, Othman, 2025), предусматривает построение системы уравнений. Согласно этой системе каждая переменная представляется как линейная функция своих прошлых значений и прошлых значений других переменных в системе. Выделяют структурную (SVAR) и байесовскую (BVAR) векторные авторегрессии (Bragoudakis, Krompas, 2025; Hana, Othman, 2025), позволяющие выявлять структурные шоки и избегать проблем с перепараметризацией. К основным недостаткам методов VAR относятся невозможность учитывать нелинейные связи между переменными и требуется пересчитывать коэффициенты применяемых уравнений при изменении параметров обрабатываемых временных рядов.

К наиболее перспективным подходам анализа многомерных временных рядов в интересах прогнозирования цифровой трансформации общества и экономики можно отнести нейросетевые решения. Находят применение нелинейные авто регрессионные нейронные сети (Домащенко, Никулин, 2017), нейронные сети с долгой кратковременной памятью (Long short-term memory (LSTM)) ((Mardjo, Choksuchat, 2024; Shibo et al., 2025), комбинированные нейронные сети (Shibo et al., 2025), а также нейронные сети совместно с VAR (Мониторинг развития информационного общества в Российской Федерации, 2025). Несмотря на ряд преимуществ, все эти подходы предусматривают обучение моделей с учителем, на что затрачиваются значительные временные, вычислительные и другие ресурсы. При этом используемые в них модели не способны оперативно адаптироваться к изменениям законов поведения многомерных ВР. Требуется поиск новых методов, позволяющих существенно расширить возможности по прогнозированию многомерных ВР, снизить расходы на обучение и повысить уровень адаптации к

изменяющимся условиям.

Среди возможных новых решений может выступать применение для прогнозирования цифровой трансформации потоковых импульсных рекуррентных нейронных сетей (РНС) с управляемыми элементами (Osipov et al., 2020; Osipov, Osipova, 2018). Еще до появления нейронных сетей – трансформеров (Vaswani et al., 2017), составляющих основу современных больших языковых моделей ChatGPT, DeepSeek и подобных, в (Осипов, 2011) показаны возможности генерации потоковыми РНС последовательностей сигналов с продвижением их по сети без искажений. При этом обращено внимание на необходимость обеспечения устойчивого функционирования этих РНС, как при непрерывном обучении, так и генерации сигналов с запоминанием результатов. Для этого предусматривался поиск методов, обеспечивающих баланс между возбуждающими и тормозящими воздействиями в потоковых РНС. Эти нейронные сети в отличие от моделей подобных ChatGPT, DeepSeek обладают возможностями непрерывно обучаться и рекуррентно вызывать информацию из памяти, однако вопросы применения их для прогнозирования цифровой трансформации трудно формализуемых процессов, отражаемых многомерными временными рядами во многом не проработаны, включая обеспечение устойчивого функционирования. Оставлены без должного внимания аспекты предобработки и постобработки многомерных временных рядов, задания параметров и структуры РНС, управления процессом прогнозирования и оценивания результатов.

Помимо разработки новых моделей и методов нейросетевого прогнозирования эффективности цифровой трансформации общества и экономики необходимо также развитие уже известных аналитических методов с адаптацией к новым целям и условиям. Во многом остаются непроработанными вопросы целочисленной оптимизации структурно сложных процессов цифровой трансформации, обоснования целесообразных решений, предусматривающих синтез этих процессов. Требуют дальнейшего развития модели и методы анализа саморазвивающихся и перестраивающихся систем, подвергающихся цифровой трансформации. Необходима разработка более совершенных языков моделирования процессов такой трансформации. Например, исследования (Novikov et al., 2024; Novikov et al., 2025) по развитию технологии автоматизации построения систем со сложным поведением описываются автоматными моделями с использованием специальных языковых средств. Данная технология позволяет на основе неформального описания реагирующей системы формально определять требуемое поведение. В качестве языка спецификации поведения объектов был предложен язык CIAO (Cooperative Interaction Automata Objects), моделирующий поведение распределенных и параллельных систем, управляемых дискретными событиями. В работах (Федорченко, 2006; Федорченко, 2013; Fedorchenko, 2011; Fedorchenko, Baranov, 2015) обсуждается альтернативный к взаимодействующим автоматам подход автоматизированной обработки информации, а именно, методика и технологическое решение, в основе которой лежит процессор, управляемый не дискретными событиями, а цепочками языка из класса контекстно-зависимых и который является основным элементом процесса трансляции. Идеи, положенные в основу данной методики, связаны с возможностью использования обобщенных регулярных выражений в правилах грамматики, специфицирующей реализуемый язык и представляемых в форме синтаксических графов.

Во всех случаях необходимо опираться на теоретические результаты как методологической основы цифровой трансформации.

4. Показатели и критерии эффективности цифровой трансформации

В обобщенном виде задачу прогнозирования эффективности и оптимизации цифровой трансформации общества и экономики с учетом (Ogiy, Osipov, 2025) предлагается сформулировать в следующем виде. Известны временные ряды

$$\{z_1(t_k) \in \mathbf{E}_1, z_2(t_k) \in \mathbf{E}_2, \dots, z_i(t_k) \in \mathbf{E}_2, \dots, z_n(t_k) \in \mathbf{E}_n; k = \overline{1,K}\} \quad (1)$$

$$\{c_1(t_k) \in \mathbf{D}_1, c_2(t_k) \in \mathbf{D}_2, \dots, c_j(t_k) \in \mathbf{D}_2, \dots, c_n(t_k) \in \mathbf{D}_n; k = \overline{1,K}\} \quad (2)$$

Согласно (1) *i*-е ряды несут информацию *о трансформируемых прикладных процессах* посредством внедрения цифровых технологий. Это информация дана в виде значений показателей в моменты времени k и задается как

$$z_1(t_k), z_2(t_k), \dots, z_i(t_k), \dots, z_n(t_k)$$

В соответствии с (2) *j*-е временные ряды характеризуют процессы внедрения цифровых технологий, *отражаемых показателями*

$$c_1(t_k), c_2(t_k), \dots, c_j(t_k), \dots, c_n(t_k)$$

В (1), (2) переменные $\mathbf{E}_1$, $\mathbf{E}_2$,..., $\mathbf{E}_n$, $\mathbf{D}_1$, $\mathbf{D}_2$,..., $\mathbf{D}_n$ – допустимые множества значений. Иногда вместо (1), (2) можно использовать соответствующие им ряды просуммированных переменных с учетом их веса. В таких рядах

$$z_\Sigma(t_k) = \sum_{i=1}^{I} A_i z_i(t_k), \quad k = \overline{1,K} \quad (3)$$

$$c_\Sigma(t_k) = \sum_{j=1}^{J} B_j c_j(t_k), \quad k = \overline{1,K} \quad (4)$$

также может задаваться множество альтернативных временных рядов $\{c_1^*(t_g) \in \mathbf{D}_1, c_2^*(t_g) \in \mathbf{D}_2, \dots, c_q^*(t_g) \in \mathbf{D}_2, \dots, c_m^*(t_g) \in \mathbf{D}_n; g = \overline{K+1, K+b}\}$, определяющих внедрения цифровых технологий, ко-

торые могут планироваться для цифровой трансформации основных процессов на горизонте прогнозирования от $K+1$ до $K+b$.

Необходимо посредством нейросетевого прогнозирования показателей трансформируемых процессов найти целесообразный временной ряд внедрения цифровых технологий, при котором достигается экстремум принятой целевой функции $c_{opt}^{*}(t_g; g=\overline{K+1,K+b})$. Если речь идет о рядах просуммированных показателей с учетом (3), (4), то требуется найти функцию

$$F_{opt}\left(c_{opt}^{*}(t_g; g=\overline{K+1,K+b})\right)=\underset{q\in Q}{extr}F_q\left(c_q^{*}(t_g; g=\overline{K+1,K+b}), z_q^{*}(t_g; g=\overline{K+1,K+b})\right) \quad (5)$$

при ограничениях

$$c_q^{*}(t_g)\in \mathbf{D}, \quad z_q^{*}(t_g)\in \mathbf{E} \quad (6)$$

где $z_q^{*}(t_g)\in \mathbf{E}$ – прогнозируемые значения параметров трансформируемых процессов.

В ряде случаев в качестве функции F_q может выступать усредненное значение показателя на заданном интервале времени

$$F_q\left(c_q^{*}(t_g; g=\overline{K+1,K+b})\right)=\frac{1}{b}\sum_{g=K+1}^{K+b} z_q^{*}(t_g)$$

где при b=1 анализируется только одно значение.

Целесообразно оценивать эффективность цифровой трансформации также по абсолютным или относительным приращениям основных показателей.

В качестве показателей эффективности цифровой трансформации общества и экономики России могут выступать приращения основных показателей. В частности, в соответствии с системой Росстата для статистической оценки уровня технологического развития отраслей экономики к таким показателям можно отнести следующие приращения:

– доля продукции высокотехнологичных и наукоемких отраслей в ВВП;

– индекс изменения производительности труда по основным отраслям экономики;

– доля машин, оборудования в общем объеме основных фондов по отраслям экономики, относящимся к высокой, средней, и низкой степени технологичности;

– удельный вес внутренних затрат на научные исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники, в общем объеме внутренних затрат на исследования и разработки;

– удельный вес организаций, осуществлявших технологические инновации, в общем числе обследованных организаций;

– инновационные товары, работы, услуги, вновь внедренные или подвергшиеся значительным технологическим изменениям;

– число разработанных передовых производственных технологий;

– число принципиально новых разработанных передовых производственных технологий;

– число используемых передовых производственных технологий;

– число разработанных нанотехнологий и другие показатели.

К известным показателям развития информационного общества России относятся:

– число персональных компьютеров на 100 домашних хозяйств;

– доля домашних хозяйств, имеющих доступ к сети интернет;

– доля населения, использовавшего сеть интернет для получения государственных и муниципальных услуг и другие показатели.

Заметим, что для этих показателей Росстата временные ряды находятся в открытом доступе. На более низких уровнях можно использовать как абсолютные значения, так и приращения основных показателей.

На уровне внедрения цифровых технологий в основные процессы в ряде случаев можно не учитывать их детальные особенности, а оперировать числом и ценностью решаемых задач. В частности, ценность результатов решения задач цифровой трансформации может оцениваться по вносимому эффекту, по достигаемым приращениям взвешенных показателей более высокого уровня.

Эти показатели зависят от времени и точности решения задач цифровой трансформации. Точность можно оценить через среднюю абсолютную ошибку (MAE – Mean Absolute Error), среднюю абсолютную ошибку в процентах (MAPE – Mean Absolute Percentage Error) и среднеквадратическую ошибку (RMSE – Root-Mean-Square Error). Несомненно, все эти показатели зависят от затрат технических, материальных и других ресурсов, а также вспомогательных показателей.

Говоря о критериях эффективности цифровой трансформации общества и экономики России, то среди них могут использоваться как оптимизационные, так и критерии предпочтения. В качестве последних могут выступать равенства и неравенства, принадлежности областям значений характеристик. На основе их могут задаваться ограничения на время цифровой трансформации, на затрачиваемые материальные и другие ресурсы, на необходимость соблюдения требований безопасности, надежности и другие.

С использованием рассмотренных показателей и критериев эффективности можно сформулировать множество различных новых оптимизационных задач по поиску целесообразных процессов цифровой трансформации для конкретных условий.

К одному из перспективных подходов к решению подобных задач предлагается отнести нейросетевую обработку временных рядов, отражающих процессы цифровой трансформации, и поиск целесообразных управляющих решений. При этом предлагается ориентироваться на непрерывное обучение используемых нейронных сетей при обработке временных рядов. Последнее позволяет исключать трудоемкое периодическое переобучение нейронных сетей в условиях изменения законов поведения временных рядов.

5. Пример моделирования процессов цифровой трансформации

В качестве системы для решения подобных задач применима система нейроуправления с непрерывным обучением со структурой на рис. 2 (Огий, Осипов, 2023), но с расширяемыми функциями блока управления. Объектом управления в нашем случае выступают процессы цифровой трансформации.

Особенность этой системы состоит в том, что первая рекуррентная импульсная нейронная сеть (РНС 1) функционирует в режиме непрерывного обучения. Именно в ней непрерывно формируется модель обрабатываемых временных рядов с учетом изменения законов их поведения. С использованием РНС 2, идентичной первой сети, осуществляется прогнозирование событий на основе информации, периодически считываемой с РНС 1. В блоке управления РНС 1, РНС 2 из всех полученных результатов прогнозирования выделяется наилучший. Блок декодирования осуществляет преобразование поступающих на него временных рядов в последовательности совокупностей единичных образов. В блоке декодирования реализуется обратное преобразование.

Для пояснения предлагаемого подхода рассматривалось два временных ряда, содержащих данные по разработке в России принципиально новых производственных технологий и данные по проникновению подвижной радиотелефонной (сотовой) связи на 100 человек в РФ (таблица 2).

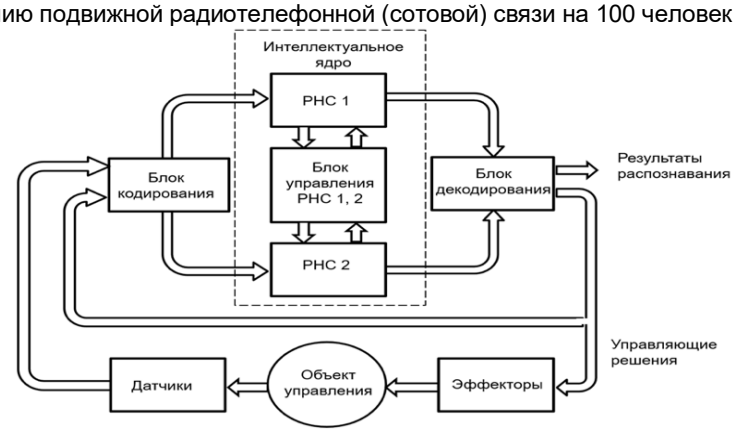


Рисунок 2. Структура системы нейроуправления управления цифровой трансформацией с непрерывным обучением.

Таблица 2 составлена на основе известных статистических данных [Мониторинг развития информационного общества в Российской Федерации, 2025; Передовые технологии для производства: сделано в России, 2025; Разработка в России передовых производственных технологий, 2021]. В явном виде связь этих двух временных рядов не просматривается, однако может иметь место. Необходимо оценить, как могут влиять друг на друга эти процессы. В интересах этого сначала можно получить прогнозы событий при анализе каждого отдельного временного ряда. Затем осуществимо многомерное нейросетевое прогнозирование ВР. В качестве РНС 1, РНС 2 применялась потоковая нейронная сеть со слоями по 1260 нейронов, разбитых на 30 логических полей размером 6*7=42 нейронов. Для введения и обработки информации в РНС о значениях переменных каждого временного ряда логические поля разбивались на два одинаковых подполя по 21 нейрону.

При нейросетевом прогнозировании рассматриваемых временных рядов были получены результаты, отраженные в таблице 3.

Анализ точности прогнозирования (таблица 4) на горизонт четыре года при глубине 10 показал, что значения MAE, MAPE и RMSE для случая совместно прогнозирования временных рядов меньше, чем при прогнозировании этих рядов по отдельности. Это свидетельствует, что между анализируемыми временными рядами есть связь, результаты совместного прогнозирования точнее отражают будущие события.

В графическом виде ожидаемые значения анализируемых временных рядов отражены на рисунке 3, где 1 – ожидаемые значения ежегодно разрабатываемых в РФ принципиально новых производственных технологий (ПНПТ) с учетом проникновения подвижной радиотелефонной (сотовой) связи на 100 человек в РФ, 2 – ожидаемые ежегодные значения показателя проникновения подвижной радиотелефонной (сотовой) связи на 100 человек в РФ с учетом прогнозируемых значений разработки ПНПТ.

Таблица 2 – Анализируемые временные ряды

Временной ряд	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**
Значения, разработанных в РФ принципиально новых производственных технологий	102	110	135	153	164	175	192	190
Значения показателя проникновения подвижной радиотелефонной (сотовой) связи на 100 человек в РФ	166	178	182	193	187	193	197	199
Временной ряд	**2018**	**2019**	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**	**2024**	**2025**
Значения, разработанных в РФ принципиально новых производственных технологий	181	217	201	260	307	332	272	-
Значения показателя проникновения подвижной радиотелефонной (сотовой) связи на 100 человек в РФ	195	209	206	219	215	219	219	-

Таблица 3 – Результаты прогнозирования

Временной ряд	**2025**	**2026**	**2027**	**2028**	**2029**	**2030**	**2031**	**2032**
Прогнозируемые значения разработанных в РФ принципиально новых производственных технологий с учетом прогнозируемых значений проникновения подвижной радиотелефонной (сотовой) связи на 100 человек / без этого учета	302 / 307	286 / 291	34 / 350	393 / 397	428 / 453	424 / 447	463 / 486	509 / 533
Прогнозируемые значения проникновения подвижной радиотелефонной (сотовой) связи на 100 человек в РФ с учетом прогнозируемых значений разработки принципиально новых производственных технологий / без этого учета	213 / 209	220 / 229	233 / 226	219 / 239	213 / 235	235 / 259	228 / 256	254 / 269

Таблица 4 – Оценка точности результатов прогнозирования

Виды оценок	**Оцениваемые показатели**		
	MAE	**MAPE**	**RMSE**
Оценка точности прогнозирования разработки в РФ принципиально новых производственных технологий с учетом проникновения подвижной радиотелефонной (сотовой) связи на 100 человек в РФ.	53,5	22,5	61,1
Оценка точности прогнозирования проникновения подвижной радиотелефонной (сотовой) связи на 100 человек в РФ с учетом разработки в РФ принципиально новых производственных технологий.	15,0	6,3	16,8

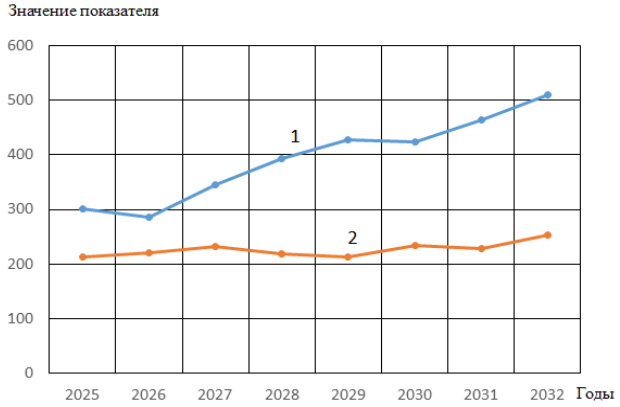


Рисунок 3. Итоговые результаты прогнозирования

Согласно рис. 3 к 2032 году число ежегодно разрабатываемых в РФ принципиально новых производственных технологий может превысить 500 единиц. Также к 2032 году проникновение подвижной радиотелефонной (сотовой) связи на 100 человек в РФ может достигнуть значения 254.

В результате применения рассмотренного подхода не требуется разрабатывать аналитические модели. Формирование альтернативных вариантов возможных прогнозов при различных управляющих решениях осуществимо путем ассоциативного вызова этих прогнозов из нейросетевой памяти анализируемым управлением. Выбор наилучшего из них реализуем по одному из принятых целевых показателей в блоке управления системы нейроуправления.

Заключение

Уточнены цели и задачи цифровой трансформации общества и экономики России с активным использованием систем искусственного интеллекта и роботов. Систематизированы тенденции и противоречия, свойственные этой трансформации. На основе анализа известных моделей и методов сделан вывод о необходимости развития теории цифровой трансформации общества и экономики России, разработки новых моделей и методов обоснования решений по такой трансформации. В обобщенном виде математически сформулирована задача по поиску целесообразных решений по цифровой трансформации на основе анализа многомерных временных рядов параметров. Приведены показатели и критерии

оценивания эффективности этой трансформации, позволяющие сформулировать новые оптимизационные задачи применительно к ней. Предложено обосновывать решения по цифровой трансформации в рамках усовершенствованного прогнозирующего нейроуправления с непрерывным обучением. Приведены результаты нейросетевого моделирования процессов цифровой трансформации. Согласно им ожидаемые к 2032 году значения ежегодно разрабатываемых в РФ принципиально новых производственных технологий по сравнению с 2025 годом увеличатся в 1,7 раза. Предлагаемые в статье решения могут позволить существенно сократить расходы на моделирование сложных трудно формализуемых процессов цифровой трансформации.

Список литературы

1. Баланов А. Н. (2024) Автоматизация производства. Разработка и внедрение систем управления. – Санкт-Петербург – Москва – Краснодар: Лань, 2024. – 392 с. https://reader.lanbook.com/book/417776?demoKey=5c3e211910b4d12bd57ccd5308f23637#1
2. Вертакова Ю. В., Булгакова И.Н. (2023) Методы и инструменты цифровой трансформации агропромышленного комплекса в условиях индустрии 4.0 // p-Economy.–2023. – Т.16. – №5. – С.109–122. https://economy.spbstu.ru/userfiles/files/articles/2023/5-2023/08_Vertakova%2C-Bulgakova%2C-Din.pdf
3. Вертакова Ю. В., Клевцова М. Г., Положенцева Ю. С. (2018) Прогнозирование цифровой трансформации экономики на основе опережающих и сигнальных индикаторов // Экономика и управление. – 2018. – №11(157). – С. 47 – 56. https://emjume.elpub.ru/jour/article/view/498
4. Домащенко Д. В., Никулин Э. Е. (2017) Прогнозирование рядов динамики рыночных индикаторов на основе нелинейной авторегрессионной нейронной сети // Статистика и экономика. – 2017. – Т.14. – №3. https://doi.org/10.21686/2500-3925-2017-3-4-9
5. Ермакова А. (2022) Среднесрочный прогноз влияния цифровой трансформации на экономику: страны Латинской Америки // Международный аспект. – 2022. – № 1-2 (7-8). – С. 53 -75. https://www.intaspect.ru/jour/article/view/5
6. Методические рекомендации по цифровой трансформации государственных корпораций и компаний с государственным участием. (2022) Утверждено Минцифры России. КонсультантПлюс. 29.12.2022. https://digital.gov.ru/documents/metodicheskie-rekomendaczii-po-czifrovoj-transformaczii-gosudarstvennyh-korporaczij-i-kompanij-s-gosudarstvennym-uchastiem
7. Мониторинг развития информационного общества в Российской Федерации. (2025) 25.04.2025. Федеральная служба государственной статистики. Официальная статистика. Информационное общество. https://rosstat.gov.ru (дата обращения 22.09.2025)
8. Огий О.Г., Осипов В.Ю. (2023) Метод нейросетевого прогнозирования трудового потенциала. Цифровая экономика. 2023. №5(26). С. 45 – 56.
9. Осипов В. Ю. (2011) Устойчивость рекуррентных нейронных сетей с управляемыми синапсами // Информационные технологии. – 2011. – № 9. – С. 69 – 73.
10. Передовые технологии для производства: сделано в России. (2025) 9 июня 2025 г. ИСИЭЗ. https://issek.hse.ru/news (дата обращения 22.09.2025)
11. Прохоров П. Э., Минашкин В. Г. (2021) Анализ и прогнозирование динамики цифровой трансформации экономики Российской Федерации // Вопросы статистики. – 2021. – Т. 28. – №4. – С. 107 – 120. https://doi.org/10.34023/2313-6383-2021-28-4-107-120.
12. Разработка в России передовых производственных технологий. (2021) 14 июля 2021 г. ИСИЭЗ. https://issek.hse.ru/news (дата обращения 22.09.2025)
13. Справочник по теории автоматического управления (1987) / Под ред. А.А.Красовского. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. Лит. 1987. – 712 с.
14. 14. McKinsey определила 13 главных технологических трендов 2025 года (2025) https://www.itweek.ru/digitalization/article/detail.php?ID=232631 (дата обращения 24.10.2025)
15. Федорченко Л.Н. (2006) О регуляризации контекстно-свободных грамматик. // Изв. вузов. Приборостроение, 2006. Т.49, №11, с.50–54.
16. Федорченко Л.Н. (2013) Синтаксически управляемая обработка данных для практических задач. // Вестник БГУ. 2013. № 9. С 87–99.
17. Цифровая трансформация. Основные принципы, этапы и результаты реализации. (2024) – М. 2024. https://roskachestvo.gov.ru/about/competence/digital/ docs/standart.pdf (дата обращения 22.09.2025)
18. Цифровая трансформация: эффекты и риски в новых условиях. (2024) Под ред. И.Р.Агамирзяна, Л. М. Гохберга, Т.С. Зининой, П.Б. Рудника. Нац. Исслед. Ун-т, «Высшая школа экономики». – М.: ИСИЗЭ ВШЭ, 2024. – 156 с.
19. Bragoudakis Z., Krompas I. (2025) Greek GDP forecasting using Bayesian multivariate models // Bulletin of Applied Economics. – 2025. – No. 12(2). – P. 63 – 76. https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4764854
20. Chege C., Kithinji M., Gachoki P. (2025) A hybrid VAR-LSTM-GARCH model for multivariate volatility forecasting // International Journal of Data Science and Analysis. – 2025. – No. 11(4). P. 99 – 113. doi: https://doi.org/10.11648/j.ijdsa.20251104.11
21. Fedorchenko, L.: (2011) Regularization of Context-Free Grammars. LAP LAMBERT Academic Publishing, Saarbrucken. 2011, 188p.

22. Fedorchenko L. and Baranov S. (2015) Equivalent Transformations and Regularization in Context–Free Grammars, // Bulgarian Academy of Sciences/ Cybernetics and Information Technologies (CIT) Volume 14, No 4, pp.11–28. Sofia 2015.
23. Figurek A., Semenov A.V., Ronzhin A. and Semenova E. I., (2025) Smart Land Use for Territorial Restructuring: Digital Agriculture as a Tool for Rural Revitalization and Spatial Integration in Cyprus by Land 2025, 14(12), 2409; https://doi.org/10.3390/land14122409 – 12 Dec 2025.
24. Hana D., Othman S. A. (2025) Multivariate time series analysis of the USD/IQD exchange rate using VAR, SVAR, and SVECM models // Statistics Optimization & Information Computing. – 2025. – No. 13(5). – P. 1899 - 1915. https://doi.org/10.19139/soic-2310-50702371
25. Haykin, S., (2008) Neural Networks and Learning Machines, third ed., Prentice Hall, New York, 2008. http://dai.fmph.uniba.sk/courses/NN/haykin.neural-networks.3ed.2009.pdf
26. Mardjo A., Choksuchat C. (2024) HyBiLSTM: Multivariate bitcoin price forecasting using hybrid time series models with bidirectional LSTM //IEEE Access. – 2024. – Vol. 12. doi: 10.1109/ACCESS. 2024.3386029
27. Measuring the Digital Transformation: A Roadmap for the Future, (2019) OECD Publishing. – Paris, 2019. https://doi.org/10.1787/9789264311992-en
28. Mendis K., Wickramasinghe M., Marasinghe P. (2024) Multivariate time series forecasting: A review // CVIPPR 2024: 2024 2nd Asian Conference on Computer Vision, Image Processing and Pattern Recognition, 2024, no. 58. doi.org/10.1145/3663976.366424
29. Mickiewicz B., Volkava K. (2022) Current trends, assessment and directions of digital economy development // VUZF REVIEW. – 2022. – No. 7(2). – P. 78 – 87. doi: 10.38188/2534-9228.22.2.08
30. Novikov F.A., Afanasieva I.V., Fedorchenko L.N., Kharisova T.A. (2024) Specification language for automata-based objects cooperation // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2024. № 6. С. 907–915.
31. Novikov F.A., Afanasieva I.V., Fedorchenko L.N., Kharisova T.A. (2025) Verification of automaton objects cooperation // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. Т.25, № 2 2025.
32. Ogiy, O.G., Osipov, V.Y. (2025) Informative and Comprehensive Model for Managing the Fishery Complex Enterprises Labor Potential. In: In, C.S., Londhe, N.S., Bhatt, N., Kitsing, M. (eds) Information Systems for Intelligent Systems. ISBM 2024 // Smart Innovation, Systems and Technologies. – 2025. – Vol 430. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-96-1206-2_20
33. Osipov V., Nikiforov V., Zhukova N., Miloserdov D. (2020) Urban traffic flows forecasting by recurrent neural networks with spiral structures of layers // Neural Computing and Applications. – 2020. – No. 32. – P. 14885-14897. https://doi.org/10.1007/s00521-020-04843-5
34. Osipov, V., Osipova, M. (2018) Space-time signal binding in recurrent neural networks with controlled elements // Neurocomputing. – 2018. – No. 308. – P. 194–204.
35. Ronzhin, A.; Figurek, A.; Surovtsev, V.; Dibirova, K. (2025) Digital Transformation and Precision Farming as Catalysts of Rural Development // Land. – 2025. – 14. – 1464. https://doi.org/10.3390/land14071464
36. Shen L., Wang Y., Fan X., Qiu H., et al. (2025) Variable- dynamic multivariate time series forecasting for IoT systems // IEEE Internet of Things Journal. – 2025. Vol. 12. – Issue: 14, 15. – P. 28479 – 28492. doi: https://doi.org/10.1109/JIOT.2025.3565737
37. Shibo F., Zhao P., Liu L., et. al. (2025) HDT: Hierarchical discrete transformer for multivariate time series forecasting // Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence. – 2025. – No. 39(1). – P. 746 – 754. https://doi.org/10.48550/arXiv.2502.08302
38. Tänzer A. (2024) Multivariate macroeconomic forecasting: From DSGE and BVAR to artificial neural networks // IMFS Working Paper Series. No. 205. Frankfurt am Main: Goethe University Frankfurt, Institute for Monetary and Financial Stability (IMFS)
39. Vaswani A., Shazeer N., Parmar N., Uszkoreit J.,Jones L.,Gomez A., Kaiser L., Polosukhin I. (2017) Attention is all you need // 31 st Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS 2017), Long Beach, CA, USA, 2017.

References in Cyrillics

1. Balanov A. N. (2024) Avtomatizaciya proizvodstva. Razrabotka i vnedrenie sistem upravleniya. – Sankt-Peterburg – Moskva – Krasnodar: Lan', 2024. – 392 s. https://reader.lanbook.com/book/417776?demoKey=5c3e211910b4d12bd57ccd5308f23637#1
2. Vertakova Yu. V., Bulgakova I.N. (2023) Metody i instrumenty cifrovoj transformacii agropromyshlennogo kompleksa v usloviyah industrii 4.0 // p-Economy.–2023. – T.16. – №5. – S.109–122. https://economy.spbstu.ru/userfiles/files/articles/2023/5-2023/08_Vertakova%2C-Bulgakova%2C-Din.pdf
3. Vertakova Yu. V., Klevcova M. G., Polozhenceva Yu. S. (2018) Prognozirovanie cifrovoj transformacii ekonomiki na osnove operezhayushchih i signal'nyh indikatorov // Ekonomika i upravlenie. – 2018. – №11(157). – S. 47 – 56. https://emjume.elpub.ru/jour/article/view/498
4. Domashchenko D. V., Nikulin E. E. (2017) Prognozirovanie ryadov dinamiki rynochnyh indikatorov na osnove nelinejnoj avtoregressionnoj nejronnoj seti // Statistika i ekonomika. – 2017. – T.14. – №3. https://doi.org/10.21686/2500-3925-2017-3-4-9

5. Ermakova A. (2022) Srednesrochnyj prognoz vliyaniya cifrovoj transformacii na ekonomiku: strany Latinskoj Ameriki // Mezhdunarodnyj aspekt. – 2022. – № 1-2 (7-8). – C. 53 -75. https://www.intas-pect.ru/jour/article/view/5
6. Metodicheskie rekomendacii po cifrovoj transformacii gosudarstvennyh korporacij i kompanij s gosudarstvennym uchastiem. (2022) Utverzhdeno Mincifry Rossii. Konsul'tantPlyus. 29.12.2022. https://digital.gov.ru/documents/metodicheskie-rekomendaczii-po-czifrovoj-transformaczii-gosudarstvennyh-korporaczij-i-kompanij-s-gosudarstvennym-uchastiem
7. Monitoring razvitiya informacionnogo obshchestva v Rossijskoj Federacii. (2025) 25.04.2025. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoj statistiki. Oficial'naya statistika. Informacionnoe obshchestvo. https://rosstat.gov.ru (data obrashcheniya 22.09.2025)
8. Ogij O.G., Osipov V.Yu. (2023) Metod nejrosetevogo prognozirovaniya trudovogo potenciala. Cifrovaya ekonomika. 2023. №5(26). S. 45 – 56.
9. Osipov V. Yu. (2011) Ustojchivost' rekurrentnyh nejronnyh setej s upravlyaemymi sinapsami // Informacionnye tekhnologii. – 2011. – № 9. – S. 69 – 73.
10. Peredovye tekhnologii dlya proizvodstva: sdelano v Rossii. (2025) 9 iyunya 2025 g. ISIEZ. https://issek.hse.ru/news (data obrashcheniya 22.09.2025)
11. Prohorov P. E., Minashkin V. G. (2021) Analiz i prognozirovanie dinamiki cifrovoj transformacii ekonomiki Rossijskoj Federacii // Voprosy statistiki. – 2021. – T. 28. – №4. – S. 107 – 120. https://doi.org/10.34023/2313-6383-2021-28-4-107-120.
12. Razrabotka v Rossii peredovyh proizvodstvennyh tekhnologij. (2021) 14 iyulya 2021 g. ISIEZ. https://issek.hse.ru/news (data obrashcheniya 22.09.2025)
13. Spravochnik po teorii avtomaticheskogo upravleniya (1987) / Pod red. A.A.Krasovskogo. – M.: Nauka. Gl. red. fiz.-mat. Lit. 1987. – 712 s.
14. McKinsey opredelila 13 glavnyh tekhnologicheskih trendov 2025 goda (2025) https://www.itweek.ru/digitalization/article/detail.php?ID=232631 (data obrashcheniya 24.10.2025)
15. Fedorchenko L.N. (2006) O regulyarizacii kontekstno-svobodnyh grammatik. // Izv. vuzov. Priborostroenie, 2006. T.49, №11, c.50–54.
16. Fedorchenko L.N. (2013) Sintaksicheski upravlyaemaya obrabotka dannih dlya prakticheskih zadach. // Vestnik BGU. 2013. № 9. Pp. 87–99.
17. Cifrovaya transformaciya. Osnovnye principy, etapy i rezul'taty realizacii. (2024) – M. 2024. https://roskachestvo.gov.ru/about/competence/digital/ docs/standart.pdf (data obrashcheniya 22.09.2025)
18. Cifrovaya transformaciya: effekty i riski v novyh usloviyah. (2024) Pod red. I.R.Agamirzyana, L. M. Gohberga, T.S. Zininoj, P.B. Rudnika. Nac. Issled. Un-t, «Vysshaya shkola ekonomiki». – M.: ISIZE VShE, 2024. – 156 s.

Осипов Василий Юрьевич – доктор технических наук, Директор СПИИРАН-СПБ ФИЦ РАН
0000-0001-5905-4415
osipov.v@iias.spb.su

Федорченко Людмила Николаевна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, СПИИРАН-СПБ ФИЦ РАН
ORCID 0000-0002-4008-9316
lnf@iias.spb.su

Ключевые слова
Цифровая трансформация, тенденции и противоречия развития, методы и обоснования решений.

Vasiliy Osipov, Ludmila Fedorchenko. The problem of improving the digital transformation of society and the Russian economy and ways to solve it

Keywords
Digital transformation, development trends and contradictions, methods and rationale for decisions.
DOI: 10.34706/DE-2026-05-04
JEL classification: O33, O38, C53

Abstract
This article addresses the pressing issue of improving the digital transformation of Russian society and the economy, based on the development of a relevant theory. Its goals and objectives are examined from a systemic perspective, taking into account the active use of artificial intelligence systems and robots. The trends and contradictions inherent in digital transformation are highlighted. A generalized mathematical formulation of the problem of finding feasible digital transformation solutions is provided, based on the analysis of multidimensional time series of parameters. Indicators and criteria for assessing the effectiveness of digital transformation are identified, enabling the formulation of a variety of specific new optimization problems. It is proposed to substantiate digital transformation decisions using advanced predictive neural control. An example of neural network modeling of digital transformation processes is provided, confirming the viability of the proposed approach.

УДК 004

1.5. Разработка имитационной модели для определения оптимального расположения нового склада маркетплейса OZON и маршрутов доставки для снижения нагрузки на логистические операции[1]

Иншаков А.А., м.н.с., ЦЭМИ РАН, Москва, Россия
Балмакова М.А., Яковлев Т.А., Харьков А.И.,
Школа на проспекте Вернадского, Москва, Россия

Стремительный рост популярности маркетплейсов, в частности Ozon, создает необходимость в оптимизации логистической инфраструктуры для обеспечения своевременной доставки товаров и снижения нагрузки на складские комплексы. В статье представлена разработка агент-ориентированной имитационной модели, созданной в программном обеспечении AnyLogic, с целью определения оптимального местоположения нового склада и перераспределения маршрутов доставки в Московской области. Модель учитывает реальные данные 2024–2025 годов: географическое расположение действующих складов и пунктов выдачи заказов (ПВЗ), объемы товарооборота, загруженность складов и особенности транспортных потоков. В ходе работы модели были определены наиболее загруженные районы и предложено расположение для нового склада. Итоговые результаты показали эффективность добавления нового складского комплекса, который сократил логистическую нагрузку определенной области.

Введение

Последние пару лет популярность и используемость маркетплейсами не перестает расти. По данным 2025 года более 84% россиян заказывают что-либо на маркетплейсах, где уже в 2024 году только на двух самых крупных платформах количество продавцов перевалило за 700 тысяч. Самым часто посещаемым и распространенным маркетплейсом по статистике 2025 года является Ozon.

Современные онлайн-рынки приобрели свою популярность относительно недавно. Они начали появляться на рубеже 2000-х годов как площадки продажи конкретной категории товара. Возможность доставки и низкая цена обеспечили изначальный приток выручки. Однако небольшой ассортимент замедлял развитие спроса и рост популярности. Владельцы маркетплейсов постепенно накапливали капитал и расширялись, а после модернизации и расширения ассортимента товаров популярность резко увеличилась. Резкий скачок произошел в 2021 году, когда сумма продажи товаров на маркетплейсах была около полутриллиона рублей, в 2022 уже около триллиона, а в 2023 перевалила далеко за эту сумму.

Последние пару лет популярность и используемость маркетплейсами не перестает расти. Больше всего оборотов по продажам и популярности имеют такие онлайн-рынки, как Ozon, Wildberries и Яндекс-Лавка, но как говорилось ранее, в этой работе будет рассматриваться Ozon. Из-за резко выросшего количества пользователей и заказов, маркетплейс не успевает расширяться и обслуживать такой большой поток заказов с разных стран[2]. Недостаточное место для товара на складах, нехватка грузового транспорта и партнеров-перевозчиков приводят к задержкам товаров на несколько недель[3]. Это вызывает массовое недовольствие потребителей, вследствие чего увеличивается количество негативных отзывов, что ведет к снижению продаж, ухудшению репутации.

Данная инфраструктура пользуется большой популярностью, потому что существование таких маркетплейсов с быстрой доставкой и низкими ценами сильно упрощает жизнь, особенно если нет времени лично ходить по магазинам. Задержки доставок приносят дискомфорт каждому пользователю маркетплейса.

Выявление новой точки для склада, а также переформирование маршрутов помогут оптимизировать работу и сократить время на доставку, что означает решение проблемы с задержками и недовольством клиентов. На основе имитационной модели можно наглядно и просто рассмотреть все точки доставок и маршруты к ним, что поможет выявить самые медленные и проблемные, чтобы перенаправить их в новый склад без потерь по времени доставки.

[1] Статья подготовлена в рамках Государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, тема «Программно-аналитические комплексы для повышения эффективности принимаемых управленческих решений в Российской Федерации» № FMGF-2025-0001, № ЕГИСУ НИОКТР 125031003392-3

[2] Маркетплейсы России и мира // СРАВНИ URL: https://www.sravni.ru/biznes-marketplace/info/top-marketplejsov-rossii-i-mira/ (дата обращения: 28.10.2025).

[3] Не успевают: почему клиенты Ozon и Wildberries столкнулись с задержками доставки? // Деловой квартал URL: https://www.dk.ru/news/237230884 (дата обращения: 28.10.2025).

Логистическая отрасль России в сфере маркетплейсов

В последнее время стремительно растет количество производимых товаров, поэтому появляется необходимость в планировании их доставки. В этом помогает логистика, которая является важной составляющей товарооборота в современном мире. Логистика – это инфраструктура, отвечающая за оптимальное движение товаров и услуг от поставщика к потребителю. Другими словами, логистика позволяет создать наиболее удобный, но при этом менее затратный путь для товара или услуги от поставщика к производителю.

За последние несколько лет логистика стала неотъемлемой для предприятий из-за роста объема производимых товаров и необходимости иметь конкурентное преимущество. Именно она позволяет оптимизировать и модифицировать работу на предприятиях, тем самым развивая их.

Инновационная логистика позволяет не просто проводить оптимизацию работу предприятий, а еще внедрять новейшие технологии. Они упрощают и ускоряют работу, а за счет отлаженного роботизированного механизма ошибки сводятся к минимуму.

С недавнего времени цифровизация процессов в логистике растет. По данным «СберКорус», доля цифровых решений в 2025 году достигнет 29%[4]. Самыми популярными технологиями в логистической отрасли являются:

- Internet of Things (IoT) – это огромная и сложная система. Ее основная задача заключается в сборе данных через установленные сенсоры (о температуре, влажности, состояние и т.д. объекта/помещения), передачу полученных данных в облако, общую систему, где происходит анализ и при необходимости система запускает какие-либо действия дистанционно, для поддержания необходимых условий.
- Искусственный интеллект (ИИ) – это ресурс, позволяющий проводит анализ больших данных, выявлять слабые места и предлагать варианты оптимизации, повышая производительность. Так же на основе получаемых баз данных, ИИ способен составлять прогнозы для предприятия.
- Машинное обучение – это процесс, который помогает автоматизировать многие процессы. Роботизация позволяет так же повысить производительность, при этом минимизируя ошибки. McKinsey отмечает, что автоматизация снижает трудозатраты на 30%[4].
- Блокчейн – это большая база данных, хранящая информацию одновременно на многих узлах сети. Она представляет собой цепочку с множеством связей, которая хранит информацию о товаре и позволяет отслеживать его путь от поставщика к потребителю.

Стремительное развитие логистики в цифровой области дает предприятию возможность акцентировать свое внимание и ресурсы на другие области производства, например увеличение объема или качества производимой продукции. Инновационная логистика также дает преимущество в нарастающей конкуренции. В последние годы, за которые на рынок вышло большое количество новых продавцов, отлаженная автоматизированная логистическая система дает большое преимущество за счет точности процессов, которые минимизируют ошибки.

Логистика маркетплейсов

Электронная коммерция сильно увеличила обороты продаж за последние годы из-за больших изменений в отрасли. За быстрым ростом последовала необходимость в создании удобной логистической системы. Сейчас практически все маркетплейсы пользуются фулфилментом. Фулфилмент – циклическая система для обработки интернет-заказов от приема заказа до доставки клиенту[5]. Данная система не разделяется на логистику и доставку, она содержит обе эти составляющие. За пять лет, к 2024 году, оборот рынка фулфилмента вырос с 28 млрд руб. до 128,8 млрд руб[6]. Выделяют три самых распространенных модели в фулфилменте (Е.А. Травкина, 2024):

1. Fulfillment by Operator (FBO)

Данная модель предполагает, что всю работу с товаром забирает на себя оператор (маркетплейс). Ответственность за весь путь товара от момента заказа до доставки покупателю лежит на специализированном операторе. Продавец поставляет свой товар в некотором количестве на склад маркетплейса, который отвечает за его хранение на складе до момента заказа покупателем. После этого товар сортируется и упаковывается по нормам склада и отправляется в конечную точку своего назначения. В FBO основную часть работы и затрат оператор берет на себя, а поставщику остается только заплатить за эти услуги.

2. Fulfillment by Seller (FBS)

FBS подразумевает, что все взаимодействия с товаром, кроме доставки, осуществляет продавец. Он самостоятельно хранит товар, принимает и обрабатывает заказы, упаковывает их и отправляет в сортировочные центры маркетплейса. Оттуда доставить товар до покупателя должен оператор. То есть

[4] Чего ожидать специалистам логистического сектора России в 2025 году? // TransRussia URL: https://transrussia.ru/ru/media/news/2025/june/17/main-trends-in-logistics/ (дата обращения: 28.10.2025).

[5] Фулфилмент: что это и как его открыть // Совкомблог URL: https://journal.sovcombank.ru/biznesu/chto-takoe-fulfillment (дата обращения: 28.10.2025).

[6] Анализ рынка фулфилмента в России в 2020-2024 гг, прогноз на 2025-2029 гг // BusinesStat URL: https://businesstat.ru/images/demo/fulfillment_russia_demo_businesstat.pdf (дата обращения: 28.10.2025).

маркетплейс отвечает только за передачу товара покупателю. Преимущество данной модели заключается в возможности поставщиком контролировать весь процесс выполнения заказов.

3. Delivery by Seller (DBS)

Эта модель фулфилмента оставляет полную ответственность за товар на продавца. Здесь маркетплейс выступает исключительно в роли платформы для выставления товара, витриной. Весь процесс выполнения заказа от его обработки до доставки покупателю лежит непосредственно на поставщике, работа оператора минимальна.

Наиболее используемыми крупными предприятиями являются FBO и FBS, потому что они сильно упрощают работу поставщикам и являются выгодными в финансовом плане. У развитых предприятий большой объем продаж, им выгоднее отправить товар оператору, у которого уже есть готовая система приема, хранения и отправки товара, нежели заниматься этим самостоятельно. Существование подобных систем позволяет продавцам сосредоточиться на производстве товара, доверив остальные процессы специализированному оператору. DBS используют начинающие предприниматели, у которых объемы продаж не настолько масштабны. Они могут самостоятельно справляться с хранением товара, операциями приема и обработки заказов, упаковки и т.д. Им нет необходимости платить за ту помощь, в которой они не нуждаются. Системой DBS также могут пользоваться продавцы, которые пользуются популярностью, но специализируются не на массовом производстве, а на качестве. Чаще всего это продукция ручной работы.

В таких случаях продавцам нет смысла перекладывать ответственность за хранение, обработку заказов и доставку на оператора, так как им необходимо лично контролировать хранение и передвижение товара, и для них DBS является оптимальной системой, чтобы использовать площадки как витрины.

Каждая из трех вышеперечисленных моделей имеет свои преимущества и недостатки. Их использование зависит не только от упомянутых условий, но и от многих других, как общих, так и индивидуальных. Все они применяются в своих случаях на усмотрение поставщика и помогают ему продвигать свою продукцию.

Характеристика маркетплейса

За последние несколько лет на рынке образовалось несколько ведущих компаний, среди них: Wildberries, Ozon, Yandex market и Aliexpress. В 2023 году был сильный скачок продаж на электронных площадках, после чего большую долю рынка стали занимать маркетплейсы[7] (Рисунок 1).

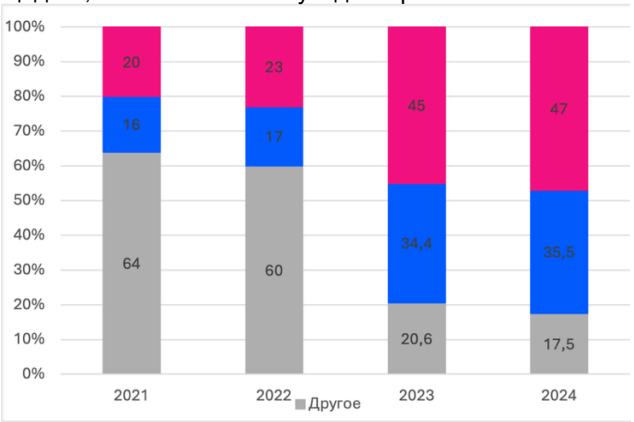


Рис. 1. Распределение рынка маркетплейсов в процентах в период с 2021 по 2024 гг.

Источник: Составлено авторами на основании источника[7]

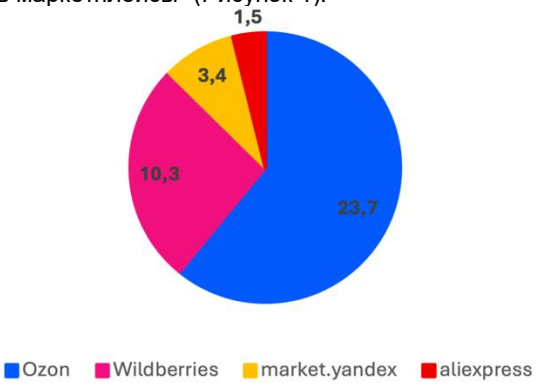


Рис. 2. Топ маркетплейсов России по запросам в Яндекс за апрель 2025 (млн/месяц).

Источник: Составлено авторами на основании источника[7]

Несмотря на то, что на диаграмме, представленной выше, наглядно видно превосходство Wildberries по занимаемой доле рынка, Ozon является более популярной и узнаваемой площадкой. Так, по данным за апрель 2025 года, в поисковых запросах российского браузера «Яндекс» первое место занимает Ozon с 23,7 млн поисками в месяц, а Wildberries с 10,3 млн поисками в месяц только второе[7] (Рисунок 2).

Помимо простой заинтересованности в площадке, люди также активно посещают ее. По данным на март 2025 года, Ozon является самым посещаемым сайтом в России. Его посещения достигают 463 млн в месяц, в то время как отметка посещаемости конкурентных маркетплейсов не доходит и до 350 млн, что на 21,5% меньше, чем у Ozon[7] (Рисунок 3).

[7] Статистика маркетплейсов в России // ИНКЛИЕНТ URL: https://inclient.ru/marketplaces-stats/ (дата обращения: 28.10.2025)

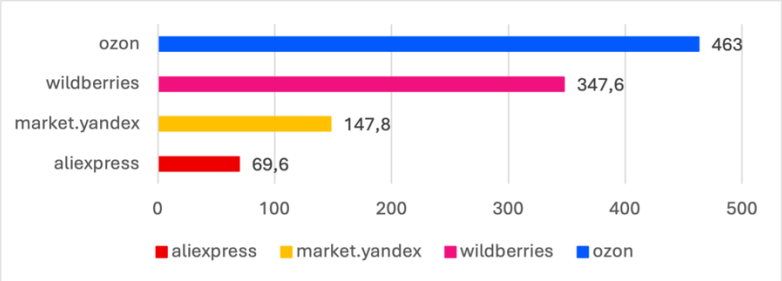


Рис. 3. Посещаемость маркетплейсов в марте 2025 (млн. человек)[8].

Источник: Составлено авторами на основании источника

Из всех данных, приведенных выше, можно сказать, что, несмотря на наличие большей доли рынка у Wildberries, Ozon является более популярным среди всех онлайн-рынков, а узнаваемость ему сделала его история.

Ozon был основан в 1998 году как книжный онлайн-магазин, но уже в 2000 году оборот магазина составил $1,3 млн[9]. На данный момент маркетплейс является огромной торговой платформой, которая также имеет дополнительные сервисы: Ozon Fintech, Ozon Fresh, Ozon Travel, Ozon Банк[8]. Для пользователей маркетплейс довольно прост и понятен в использовании. Покупатель заходит в каталог товаров, выбирает и заказывает в выбранный ПВЗ, откуда заберет его. Пользователи имеют возможность купить что-то по более приятной цене, чем в магазине, так еще и с доставкой. Они не задумываются, как и откуда приезжает товар, что это отдельная система. Для продавцов же маркетплейс в первую очередь служит витриной, где они могут выставлять свой товар. А будет ли оператор доставлять, хранить или проводить какие-либо другие операции с товаром зависит от поставщика. Он может доверять маркетплейсу и использовать системы FBO или FBS, а может самостоятельно отвечать за товар.

Ozon продолжает непрерывно расти, с 2020 по 2024 его товарооборот вырос почти в 10 раз до 303 млрд руб., а число покупателей достигло 56,5 млн. Значительный рост также демонстрируют GMV (общий объем продаж товаров и услуг)[10] (Рисунок 4) и количество заказов[9] (Рисунок 5).

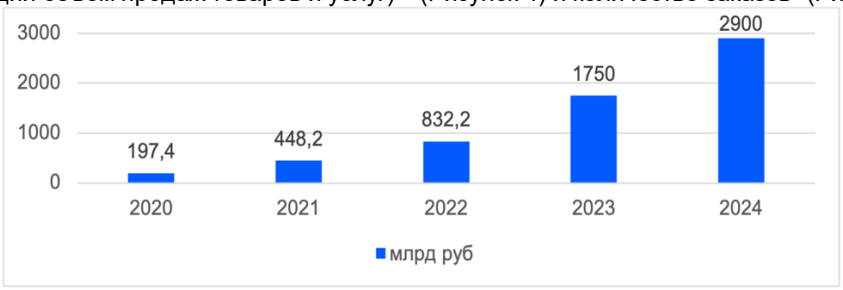


Рис. 4. Рост GMV г/г маркетплейса Ozon в период с 2020 по 2024 год (млрд руб.).

Источник: Составлено авторами на основании источника[9]

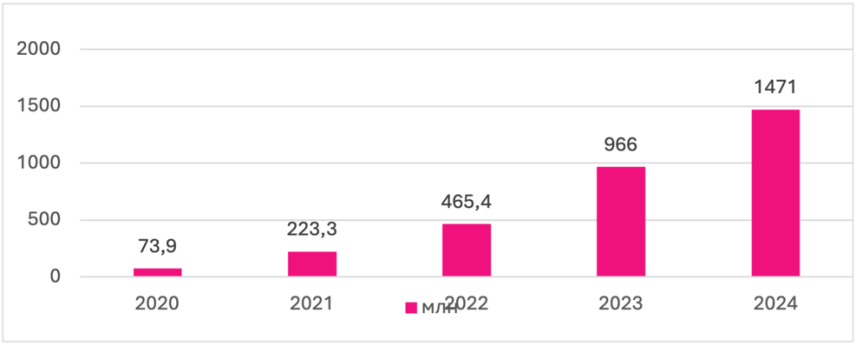


Рис. 5. Количество заказов в год на маркетплейсе Ozon в период с 2020 по 2024 год (млн).

Источник: Составлено авторами на основании источника[9]

Анализ работы складов Московской области

По данным 2024 Ozon имеет складскую площадь более 3,5 млн кв. м. в общей сложности, которая существенно увеличилась в последние годы (рисунок 6). На территории стали часто Московской области приходится 11 складов. Однако, несмотря на такое большое количество точек, за последние годы пользователи маркетплейса стали частно сталкиваться с проблемой задержки товара до нескольких недель.

[8] Статистика маркетплейсов в России // ИНКЛИЕНТ URL: https://inclient.ru/marketplaces-stats/ (дата обращения: 28.10.2025)

[9] Ozon: первопроходец среди маркетплейсов // Газпромбанк Инвестиции URL: https://gazprombank.investments/blog/reviews/ozon/ (дата обращения: 15.11.2025).

[10] Ozon инвесторам // Официальный сайт Ozon URL: https://ir.ozon.com/?__rr=1 (дата обращения: 17.12.2025).

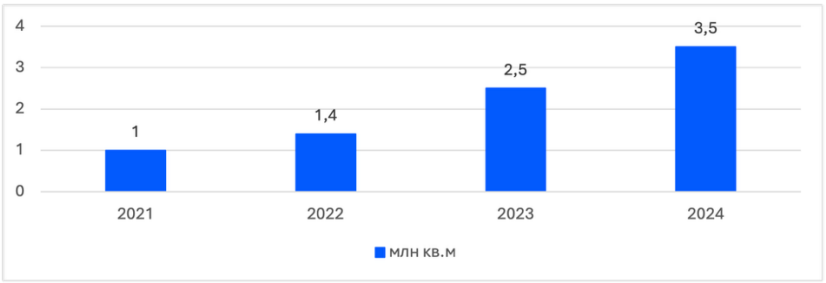


Рис. 6. Площадь складских помещений Ozon в период с 2021 по 2024 год (млн. кв. м.).

Источник: Составлено авторами на основании открытых данных

Обычно задержки характерны в преддверии сезона массовых закупок, к примеру Новый год или 1 сентября, но за последние годы эта проблема все набирает обороты. Официально Ozon объясняет это несвойственно большой нагрузкой, но эксперты считают иначе. С 1 августа 2025 маркетплейс ввел в работу новую платформу Ozon Job, которая повела за собой сокращения кадров. Людям необходимо время, чтобы перестроятся на новую систему работы и разобраться в ней, поэтому, каким бы потенциалом ни обладало нововведение, на первых порах продуктивность снижается. Особенно повлияло введение новой системы перед первым сентябрем, что негативно сложилось на работе маркетплейса в разгар сезона. Это привело к большим задержкам и недовольству покупателей.

По данным за 2024 год, склад площадью около 50 тыс. кв. м.[11], получает и обрабатывает в среднем около 1 млн заказов ежедневно в обычное время, а в сезоны это число может достигать 1,5 млн и более. Во время повышенного спроса, на склады и ПВЗ маркетплейса часто выстраиваются большие очереди из грузовиков с товаром, который необходимо разгрузить, но из-за большой нагрузки работники не успевают, тем самым заставляют ждать водителей по несколько дней. Помимо большого количества работы, которое не успевают выполнять работники, на ситуацию также влияют большие объемы поставок, которые быстро занимают все свободное место на складе, не оставляя его для нового поступающего товара. В таблице 1 приведена обобщенная характеристика склада в Московской области.

Таблица 1. Характеристика склада ОЗОН в Московской области

Средняя площадь склада	Вместимость	Количество обрабатываемых заказов в сутки	Количества отправляемых заказов в сутки
50 тыс. кв. м	30 млн единиц	900 тыс. единиц	63 000 заказов

Источник: Составлено авторами на основе[10].

В Московской области находится 11 складов, каждый из которых в сутки обрабатывает около 63 000 заказов, которые доставляют от 80 до 120 автомобилей, в зависимости от автопарка склада.

Задержки на начальном этапе поступления и сортировки товара приводят к дальнейшим смещениям в графике доставки, так называемому «эффекту домино». Из-за того, что товар долго ждет свою очередь на разгрузку и распределение, задерживается погрузка на автопарк, следовательно, и доставка. Даже задержки по одному дню на каждом этапе могут привести к общей задержке в неделю, так как будут накладываться друг на друга.

Подобные ситуации сильно сбивают работу всей логистической системы, которая берет начало от складов. Ozon постоянно совершенствует свою систему, однако он все равно сталкивается с регулярной перегрузкой складов, особенно в сезонные нагрузки.

Имитационная модель и ее возможности

Данная логистическая агент-ориентированная модель создана для симуляции маршрутов доставки товаров Ozon в Московской области от склада до пункта выдачи заказа.

Имитационная модель функционирует в соответствии с официальными данными 2024 года по загруженности складов, количественному товарообороту маркетплейса и активными путями доставки, а пространство смоделировано с помощью встроенной функции карты ГИС и координат действующих складов и ПВЗ в МО (количество ПВЗ взято в соотношение 1:20 и во всех соответствующих показателях данное соотношение учтено для упрощения процесса моделирования). Для анализа были добавлены привязанные числовые значения, которые показывают загруженность складов в реальном времени, и индикаторы, показывающие уровень забитости складов.

Модель состоит из четырех основных агентов: Main, Retailer, Distributor и Truck.

Агент Main содержит карту ГИС, на которой изображены карта Москвы и агенты. Также в окне Main расположены Excel файлы и блоки с кодом, что представлено на рисунке 7.

[11] Склады Ozon // tadviser URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Склады_Ozon (дата обращения: 15.11.2025).

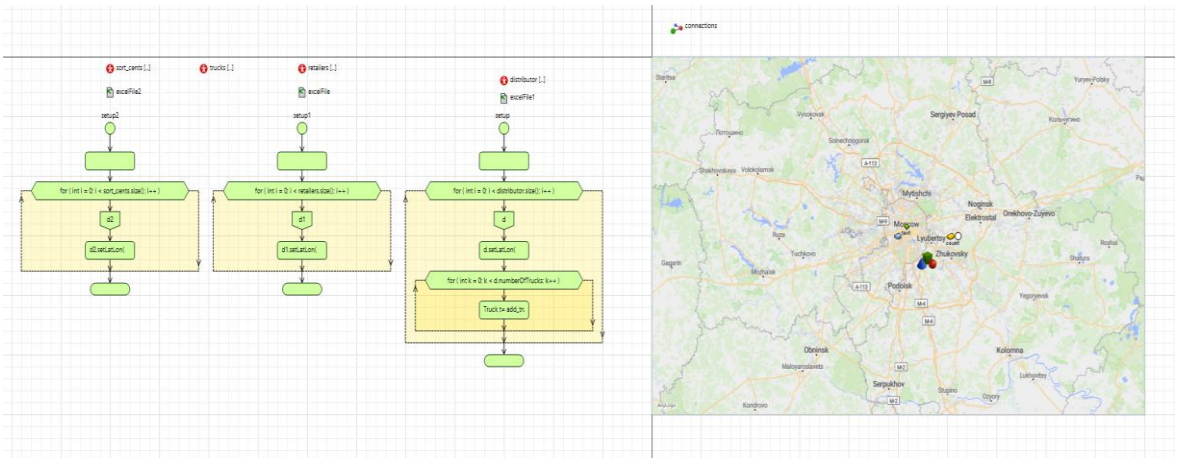


Рис. 7. Рабочее окно модели.

При запуске модели срабатывает команда setup(), с помощью которой активируются блоки с кодом setup, setup1, setup2 и расставляют агентов Distributor, Retailer, Sort_cent по координатам реальных предприятий из файлов Excel, а также генерирует агентов Truck.

Следующий агент Retailer (ПВЗ) представлена на рисунке 8. Он представляет собой 2 параметра fulness и capacity. Capacity отвечает за максимальное возможное количество товара на ПВЗ, а fullness за текущую заполненность.

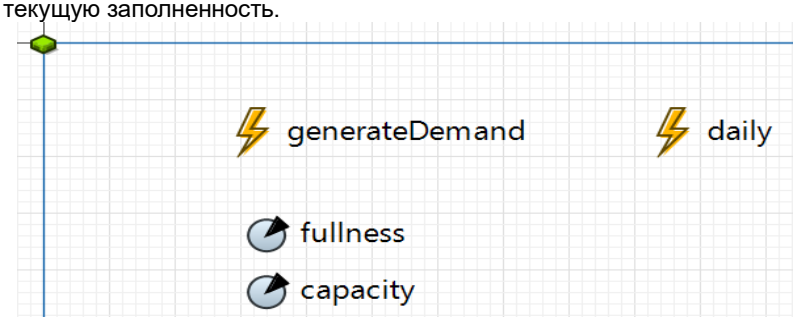


Рис. 8. Параметры агента Retailer.

Также в агенте есть события generateDemand и daily.generateDemand выполняет следующую проверку: если значение fullness достигает значения capacity, в консоль выводится, что мест нет. В ином случае отправляется сообщение агенту Distributor с заказом от 6500 до 8500 единиц товара, после чего агент Truck забирает товар со склада и направляется к агенту Retailer. ПВЗ передается количество товара из заказа и грузовик едет обратно.

Событие Daily отвечает за сдачу товара с ПВЗ, каждые 12 часов из параметра fullness вычитается 15% товара.

Структура агента Distributor представлена на рисунке 9.

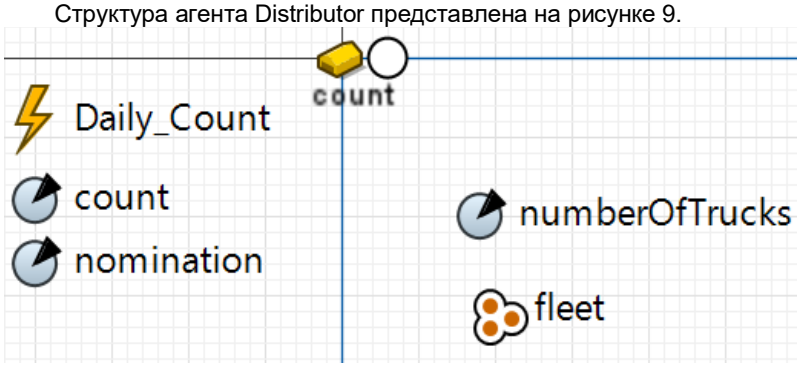


Рис. 9. Параметры агента Distributor.

В агенте Distributor (склад) находятся 3 параметра: count, nomination и numberOfTrucks, коллекция fleet и событие Daily_Count. Параметр numberOfTrucks отвечает за количество агентов Truck, которое определяется случайным образом на основе равномерного распределения от 5 до 7 машин. Параметр Count содержит количество товара, находящееся на складе, а nomination является номером склада. Коллекция fleet – группа агентов Truck.

Событие Daily_Count каждые 2 дня делает проверку: если параметр count достигает 20 млн. единиц товара, то в консоль выводится сообщение, что склад забит. В ином случае прибавляется 150 тыс. единиц товара.

В агенте содержится код, который в зависимости от количества товара меняет цвет индикатора склада: меньше 5 млн. – зеленый, от 5 млн. до 15 млн. – желтый, от 15 млн. до 19,9 млн. – красный и при 20 млн. товара бордовый.

Последним агентом является Truck. Его структура представлена на рисунке 10.

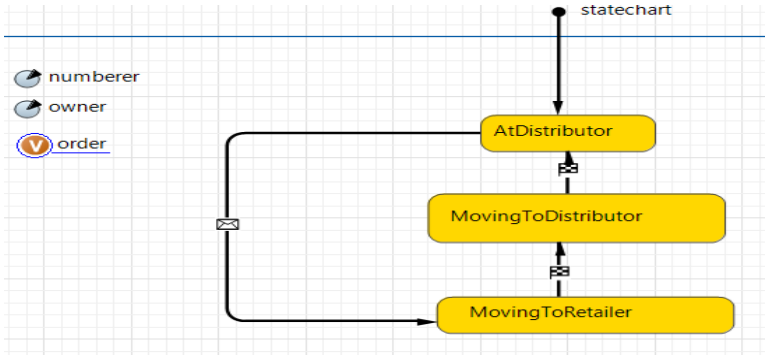


Рис. 10. Вид агента Truck.

Он содержит: диаграмму состояний, которая отвечает за логику передвижения грузовиков, параметры numberer, owner и переменную order, Параметр numberer отвечает за номер грузовика, owner отвечает за то, к какому складу принадлежит агент Truck. Переменная order отслеживает размер заказа используя данные с агента Order.

Логика поведения агента представляет собой следующий цикл: изначально машина находится в состоянии AtDistributor, то есть занимает местоположение у склада. Следом от ПВЗ поступает заказ с определенным количеством товара, и агент-грузовик переходит из состояния AtDistributor в состояние MovingToRetailer, в котором выполняется код передвижения грузовика. Когда грузовик приезжает на ПВЗ, используя кратчайший маршрут, происходит его разгрузка, после чего машина переходит в состояние MovingToDistributor и возвращается на склад.

После создания рабочей имитационной модели статистические данные пополнения и сбора товара были интегрированы в код для проведения анализа и поиска возможных проблемных районов. Модель показала стабильную работу: машины перемещаются от складов к ПВЗ и обратно, индикаторы меняют цвет в зависимости от загруженности складов. Симуляция с подставленными значениями отлично показывает работу операций доставки маркетплейса.

Выявление самого загруженного района

Для определения проблемных районов, модель работала некоторое время в ускоренном режиме. После проведения анализа симуляции были определены 2 склада с максимальной загрузкой. На рисунке 11 они представлены с багровым индикатором.

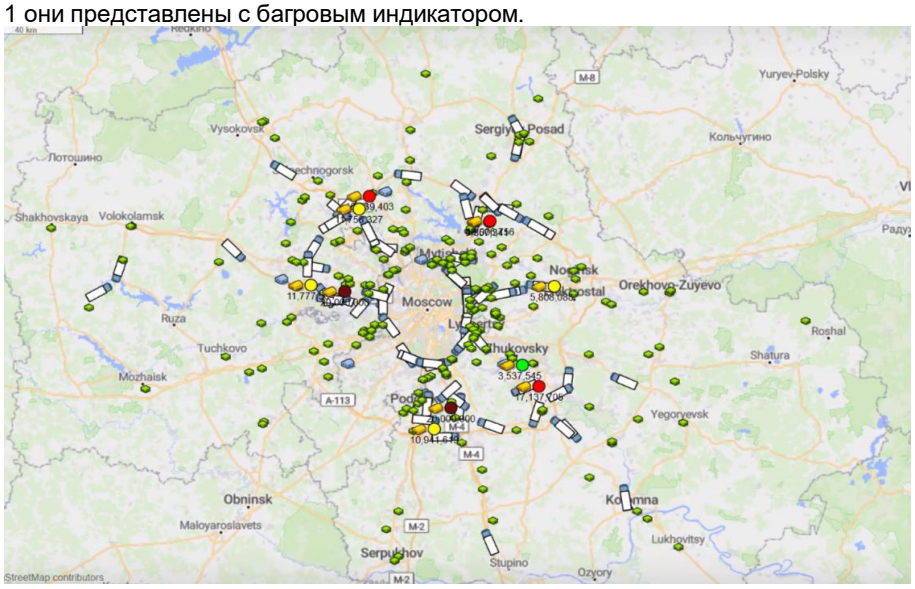


Рис. 11. Работа модели без нового склада.

В нижней области, что соответствует юго-восточному направлению от Москвы, заметен склад с минимальной забитостью, который имеет зеленый индикатор. Этот склад, при необходимости, можно использовать для перераспределения нагрузки со склада с максимальной забитостью, расположенному в южном направлении от Москвы. В свою очередь, территории к северу от Москвы не имеют свободных складов, поэтому было принято решение о расположении нового склада в той области.

Проведя осмотр потенциальных мест, было определено, что оптимальным месторасположением будет территория недалеко от города Красногорск. В таблицу Excel были занесены координаты пустого участка, где может находиться склад, после чего модель была снова запущена. Результаты симуляции, представленные на рисунке 12, показывают, что новый склад смог улучшить ситуацию с забитостью складов.

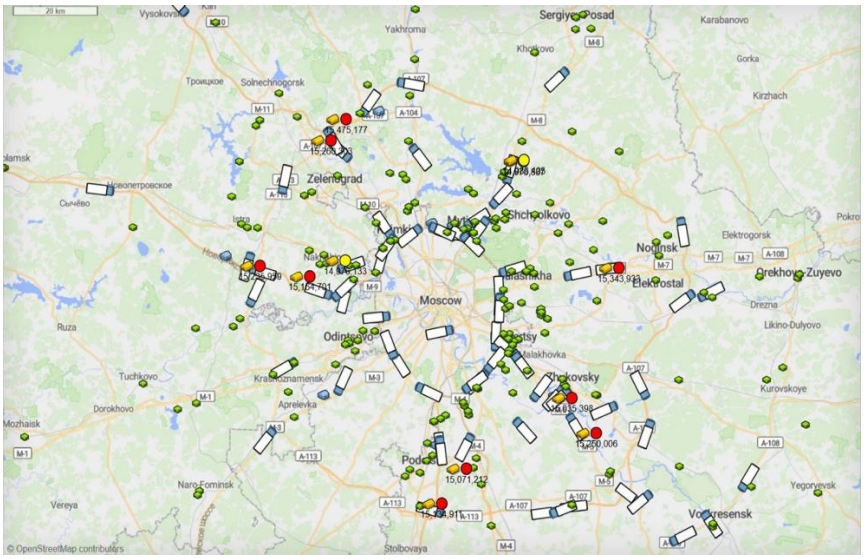


Рис. 12. Работа модели с новым складом.

Заключение

Основной целью работы являлось создание имитационной транспортно-складской модели логистической инфраструктуры Ozon в Московской области в ПО AnyLogic. Модель позволяет наглядно оценить загруженность складов в имеющимся количестве и их же загруженность, если установить новый склад. Имитационная модель функционирует в соответствии с реальной загруженностью складов и ПВЗ, учитывая их расположение и маршруты доставки. Ключевой задачей модели является выявление района с самыми загруженными складами для определения места для нового склада. После обработки результатов и сравнения работы двух сценариев логистической системы (при существующем количестве складов и с новым) выяснилось, что несмотря на то, что нагрузка на склады осталась на высоком уровне, своего предела склады больше не достигали, что позволяет им работать в соответствии с графиком и избегать перегрузки.

Данное исследование показывает – имитационное моделирование помогает наглядно представить выбранное решение проблемы. Транспортно-логистические модели могут быть использованы для симуляции работы инфраструктуры, что может помочь в их анализе для совершенствования системы и раннего выявления возможных неполадок и сбоев.

Список литературы

1. Травкина, Е. А. Фулфилмент как фактор роста электронной торговли в России / Е. А. Травкина // Вектор экономики. – 2024. – № 9(99). – EDN NAOGCC.

Источники данных

1. Ozon инвесторам // Официальный сайт Ozon URL: https://ir.ozon.com/?__rr=1 (дата обращения: 17.12.2025).
2. Ozon: первопроходец среди маркетплейсов // Газпромбанк Инвестиции URL: https://gazprombank.investments/blog/reviews/ozon/ (дата обращения: 15.11.2025).
3. Анализ рынка фулфилмента в России в 2020-2024 гг, прогноз на 2025-2029 гг // BusinesStat URL: https://businesstat.ru/images/demo/fulfillment_russia_demo_businesstat.pdf (дата обращения: 28.10.2025).
4. Склады Ozon // tadviser URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Склады_Ozon (дата обращения: 15.11.2025).
5. Статистика маркетплейсов в России // ИНКЛИЕНТ URL: https://inclient.ru/marketplaces-stats/ (дата обращения: 28.10.2025)
6. Фулфилмент: что это и как его открыть // Совкомблог URL: https://journal.sovcombank.ru/biznesu/chto-takoe-fulfillment (дата обращения: 28.10.2025).

References in Cyrillics

1. Travkina. E. A. Fulfilment kak faktor rosta elektronnoy torgovli v Rossii / E. A. Travkina // Vektor ekonomiki. – 2024. – № 9(99). – EDN NAOGCC.

Data sources

1. Ozon investoram // Ofitsialnyy sayt Ozon URL: https://ir.ozon.com/?__rr=1 (data obrashcheniya: 17.12.2025).
2. Ozon: pervoprokhodets sredi marketpleysov // Gazprombank Investitsii URL: https://gazprombank.investments/blog/reviews/ozon/ (data obrashcheniya: 15.11.2025).
3. Analiz rynka fulfilmenta v Rossii v 2020-2024 gg. prognoz na 2025-2029 gg // BusinesStat URL: https://businesstat.ru/images/demo/fulfillment_russia_demo_businesstat.pdf (data obrashcheniya: 28.10.2025).
4. Sklady Ozon // tadviser URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Statia:Sklady_Ozon (data obrashcheniya: 15.11.2025).

5. Statistika marketpleysov v Rossii // INKLIyeNT URL: https://inclient.ru/marketplaces-stats/ (data obrashcheniya: 28.10.2025)
6. Fulfilment: chto eto i kak ego otkryt // Sovkomblog URL: https://journal.sovcombank.ru/biznesu/chto-takoe-fulfillment (data obrashcheniya: 28.10.2025).

Иншаков Андрей Алексеевич
Младший научный сотрудник, Центральный экономико-математический институт РАН
ORCID: 0009-0002-0892-3988
inchakov695@gmail.com

Балмакова Маргарита Антоновна
Школа на проспекте Вернадского
margo030679@yandex.ru

Яковлев Тимофей Андреевич
Школа на проспекте Вернадского
ti.iakovlev@gmail.com

Харьков Андрей Игоревич
Школа на проспекте Вернадского
kharkov_andrey09@mail.ru

Ключевые слова
Имитационное моделирование, логистика, Ozon, маркетплейс, агент-ориентированная модель, логистические маршруты, доставка товаров.

Inshakov A., Balmakova M., Yakovlev T., Kharkov A. Developing a simulation model to determine the optimal location of the new OZON marketplace warehouse and delivery routes to reduce the burden on logistics operations

DOI: 10.34706/DE-2026-05-05
JEI Classification – L86
Key words
Simulation modeling, logistics, Ozon, marketplace, agent-based model, logistics routes, delivery of goods

Abstract
The rapid growth of marketplaces, particularly Ozon, necessitates the optimization of logistics infrastructure to ensure timely delivery of goods and reduce the burden on warehouses. This article presents the development of an agent-based simulation model, created in AnyLogic software, to determine the optimal location for a new warehouse and redistribute delivery routes in the Moscow region. The model takes into account real-world data for 2024–2025: the geographic locations of existing warehouses and pickup points (POPs), turnover volumes, warehouse utilisation, and traffic flow patterns. The model identified the most congested areas and proposed a location for the new warehouse. The final results demonstrated the effectiveness of adding a new warehouse complex, which reduced the logistics burden in a specific area.

УДК 339.138:159.9

1.6. Квиз-аукцион как механизм доверия

Ратман Л. П., ФГБОУ ВО ГАУГН, г. Москва, Россия
Костина Т.А., ЦЭМИ РАН, г. Москва, Россия

В статье рассматривается теоретическая модель рекламной кампании строительной компании в форме квиза-аукциона. Кампания пока не проводилась и только планируется, поэтому задача работы состоит в описании самого механизма и его экономико-психологической логики. Потенциальному клиенту предлагается вместо готовой комбинации продукта и цены возможность самому обозначить приемлемые условия по двум вариантам строительства – «коробка» и «под ключ». Экономическая часть модели опирается на идеи ассортиментного аукциона, его практического применения Банком Англии и совместимости со стимулами. Для наглядного представления механизма выбора используется аппарат тропической геометрии, позволяющий визуализировать области предпочтения различных вариантов и границы перехода между ними. Психологическая часть связана с доверием как готовностью делегировать контроль. Наряду с этим рассматриваются и другие психологические механизмы: субъективная ценность контроля, неприятие потерь, якорение, диалогичность взаимодействия, воспринимаемая справедливость процедуры и взаимность. Предлагается понятие встречного делегирования контроля, когда продавец первым ограничивает собственную свободу действий и передает покупателю часть права определять условия взаимодействия.

Выбор подрядчика для строительства дома происходит в ситуации, где проверить будущее качество заранее почти невозможно. Покупатель видит проект, сайт, фотографии объектов, смету, общается с менеджером, но не может до начала работ убедиться, насколько хорошо будет выполнен фундамент, скрытые узлы или гидроизоляция. В этом смысле строительство имеет признаки блага доверия, описанного М. Дарби и Э. Карни (Darby, Karni, 1973): значимая часть качества остается для покупателя непроверяемой.

Когда реальную компетентность проверить трудно, возрастает роль впечатления о компетентности. Как отмечают А. В. Белянин и В. П. Зинченко, больше доверия вызывает необязательно тот, кто действительно компетентнее, но тот, кто «производит более сильное впечатление врача или мэра» (Белянин, Зинченко, 2010). Для малоэтажного строительства это особенно важно – решение о дорогой и длительной сделке нередко принимается раньше, чем у клиента появляются собственные основания судить о качестве работы. В такой ситуации внешние признаки профессионализма подрядчика могут становиться важным основанием первоначального доверия, даже если они не позволяют объективно оценить качество будущего строительства.

Но цифровизация изменила цену самого впечатления. Профессиональный сайт, качественный текст, архитектурный рендер и рекламный ролик сегодня доступны гораздо большему числу компаний. Генеративные технологии усиливают этот эффект. Если воспользоваться логикой теории сигналов М. Спенса (Spence, 1973), чем легче воспроизвести внешний признак профессионализма, тем меньше его способность различать сильного и слабого участника рынка. Этот процесс можно условно назвать «инфляцией впечатления». Само впечатление не исчезает и не становится обязательно ложным. Оно просто теряет часть различающей силы.

Отсюда возникает вопрос: можно ли усилить не только рекламное сообщение, но и сами правила взаимодействия с клиентом? Именно такой попыткой является предлагаемая модель квиза-аукциона.

Модель квиза-аукциона

Обычный рекламный квиз задает клиенту вопросы о площади дома, сроках, количестве этажей и бюджете, но практически не меняет положение сторон. Компания по-прежнему сама формирует предложение, а ответы используются для сегментации клиента и последующей работы менеджера. В предлагаемой модели логика иная.

Экономическим прототипом такой конструкции является ассортиментный аукцион П. Клемперера (Klemperer, 2008), разработанный для распределения взаимозаменяемых, но неодинаковых продуктов. В теории аукционов аналогичные механизмы применялись для продажи наборов неделимых продуктов, а на практике – для распределения кредитов центральным банком Англии. В аукционе, введенном в 2010 г., банки получали деньги взаймы под залог ценных бумаг. В одной заявке банк указывал сумму займа и две процентные ставки, которые был готов платить при разных вариантах залога. Эти условия были альтернативными – участник рассчитывал получить одну сумму по одному из двух вариантов. По итогам аукциона для каждого вида залога устанавливалась общая ставка, которая могла быть ниже указанной в заявке. Если участнику подходили оба варианта, выбирался тот, где разница между заявленной и итоговой ставкой была больше, то есть условия оказывались более выгодными относительно его собственной оценки (Bank of England, 2010).

Для нашего квиза важен тот же принцип: участник может сообщить условия по двум вариантам, но

получить предложение только по одному. В банковском случае это два способа получить заем, а в строительном – две комплектации одного дома. Клиент называет максимально приемлемую цену за «коробку» и за дом «под ключ» либо указывает цену только интересующего его варианта. Затем его ответы сопоставляются с общими ценами отсечения. Если приемлемы оба варианта, выбирается тот, у которого разница между названной клиентом суммой и итоговой ценой больше. Таким образом, квиз позволяет учесть не только бюджет покупателя, но и то, насколько для него привлекателен каждый вариант строительства.

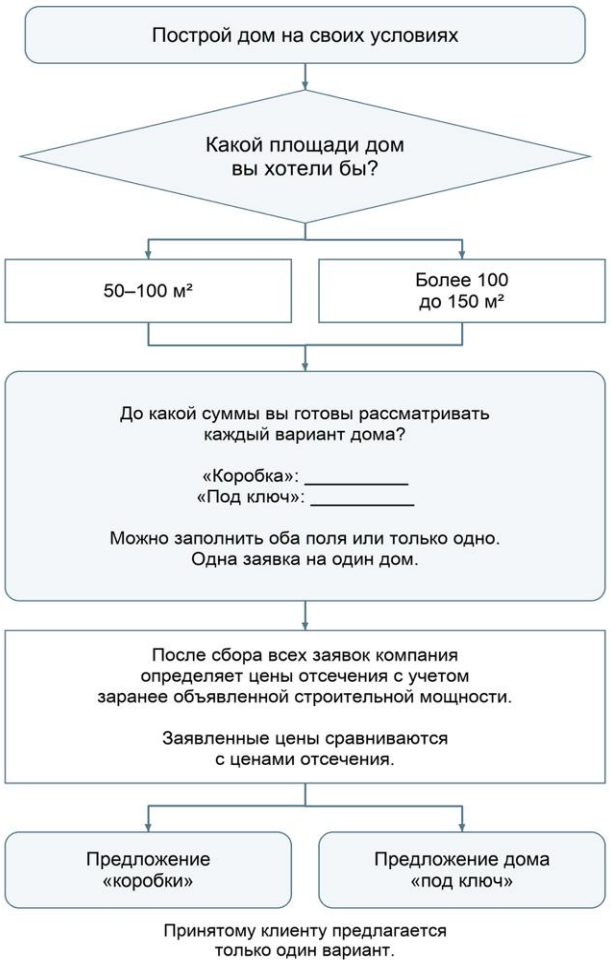


Рисунок 1. Схема прохождения квиза и формирования предложения

Предлагаемый квиз-аукцион рассматривается как теоретическая модель, не прошедшая эмпирической апробации. Кампания строится под слоганом «Построй дом на своих условиях». В квизе клиент выбирает площадь дома и указывает приемлемые цены (табл. 1). Он выбирает заранее описанный типовой дом в одном из двух диапазонов площади: 50–100 м² или более 100 до 150 м². Для этого дома заранее указаны технология строительства и состав работ в двух комплектациях – «коробка» и «под ключ».

Затем клиент отвечает на вопрос: «До какой суммы вы готовы рассматривать каждый вариант дома?» Для ответа предусмотрены два поля: «коробка» и «под ключ». Можно заполнить оба или только одно. Если одна из комплектаций неинтересна, ее поле остается пустым, а при обработке заявки цена этого варианта принимается равной нулю. Клиент подает одну заявку на один дом: указание двух цен не означает заказ двух домов. Этот путь показан на рисунке 1.

Перед началом кампании компания объявляет, сколько домов может принять в работу за выбранный период. После сбора всех заявок определяются общие цены отсечения по двум комплектациям, при которых принятые заявки заполняют объявленную мощность. Всем принятым клиентам предлагается дом по цене отсечения соответствующей комплектации, а не по сумме, указанной в заявке. Как правило, эта цена ниже заявленной. Если заявленные суммы ниже обеих цен отсечения, предложение не формируется.

В данном случае ограниченность предложения – заранее объявленное количество домов – играет очень важную роль, у покупателя не должно быть иллюзий относительно возможности торговаться о цене. Он либо вписывается в процесс, либо нет.

Таблица 1. Два вопроса квиза и их роль в механизме

№	Вопрос квиза	Роль в механизме
1	Какой площади дом вы хотели бы? Выбор типового дома: 50-100 м² или 100 -150 м².	Выбор дома. Для него заранее описаны две комплектации: «коробка» и «под ключ».
2	До какой суммы вы готовы рассматривать каждый вариант дома? Два поля: «коробка» и «под ключ». Можно заполнить оба или одно.	Одна заявка на один дом. Итоговое предложение – только по одной комплектации.

Чтобы снизить тревогу участников и уменьшить искажение ответов, квиз должен сопровождаться короткими пояснениями. Перед полями для ввода цен целесообразно прямо указать: «Вы не покупаете дом прямо сейчас. Укажите максимальную цену, при которой вам было бы действительно интересно рассматривать заключение договора». После ввода цен полезно пояснить: «Названная вами сумма не является автоматически ценой сделки. Итоговое предложение определяется общим правилом после завершения кампании». Это правила могут быть прописаны достаточно подробно, чтобы покупатель мог понять алгоритм назначения цен и правильно оценить возможности, которые ему предоставлены.

После двух ответов клиент может оставить контакты для получения результата. Рядом с полем контактов можно добавить: «Заполнение квиза не обязывает вас заключать договор, но позволяет получить предложение по итогам кампании».

После завершения периода приема заявок компания не ведет отдельный торг с каждым участником, а применяет заранее объявленное единое правило. Пусть $b_к$ – максимально приемлемая цена «коробки», $b_п$ – максимально приемлемая цена варианта «под ключ», а $p_к$ и $p_п$ – итоговые цены отсечения. Тогда для каждого участника сравниваются три значения: 0; $b_к - p_к$; $b_п - p_п$. Если оба последних значения отрицательны, сделка не предлагается. Если наибольшим оказывается $b_к - p_к$, участнику предлагается «коробка» по цене ниже $p_к$; если $b_п - p_п$ – вариант «под ключ» по цене $p_п$. При равенстве попадаем на границу безразличия, но вероятность такого исхода очень мала.

Цены отсечения определяются по совокупности заявок так, чтобы заполнить заранее объявленную строительную мощность компании. В простейшей модели мощность – это число домов, которые компания способна принять в работу за выбранный период или, как вариант, их общая площадь.

Разумеется, цены должны быть не ниже, чем минимально допустимые для компании, но могут быть несколько выше. Если приемлемых заявок недостаточно, заполнить мощность без нарушения этих условий не получится. Но это может означать одно из двух, либо приемлемого для компании и покупателей просто нет, либо некоторые из покупателей занижают предельные приемлемые для них цены. Первый вариант, когда приемлемого варианта просто нет, в данном случае не рассматривается.

Второй вариант – занижение предельно приемлемых для покупателей цен возможен в принципе, но этого не должно быть, если предлагаемый экономический механизм удовлетворяет условию совместимости со стимулами, то есть участникам торгов по предлагаемой схеме невыгодно искажать предоставляемую информацию о себе (Савватеев, Филатов, 2018; 2022). Совместимость со стимулами – центральное понятие теории экономических механизмов.

В данном случае совместимость со стимулами может означать, что каждому покупателю выгодно указывать свои реальные ценовые предпочтения. Если он занижает предельную приемлемую для себя цену, то может оказаться без предложения от компании, хотя оно могло быть, поскольку нашлись покупатели на весь объем предложения, они вели себя честно и назвали более высокие цены.

Как именно действует предлагаемая схема, можно показать на примере. Если названные покупателем 10 млн руб. автоматически превращаются в цену 10 млн руб., он может стремиться занизить заявленную сумму. Если же итоговая цена определяется по общему заранее оговоренному правилу, а ответ клиента показывает, какие предложения для него приемлемы, то занижать называемую цену нет смысла.

Таблица 2. Иллюстративный пример расчета при ценах отсечения $p_к = 7,8$ и $p_п = 10,6$ млн руб.

Заявка	$b_к$	bп	$b_к - p_к$	$b_п - p_п$	Итог
A	6,9	11,3	−0,9	0,7	«под ключ»
B	8,5	10,2	0,7	−0,4	«коробка»
C	6,8	9,4	−1,0	−1,2	отказ
D	8,2	11,4	0,4	0,8	«под ключ»
E	8,0	10,7	0,2	0,1	«коробка»

Таблица 2 показывает принцип расчета на нескольких условных заявках. Например, для участника А вариант «коробка» уже невыгоден, поскольку $b_к - p_к < 0$, а вариант «под ключ» еще приемлем, так как $b_п - p_в > 0$. Разница здесь считается так: из суммы, которую клиент готов заплатить, вычитается цена отсечения. Положительная разница означает, что цена ниже приемлемой для клиента суммы; отрицательная – что она выше. Участник Е готов заплатить 8 млн руб. за «коробку», а итоговая цена составляет 7,8 млн руб.: разница равна 0,2 млн руб. За вариант «под ключ» он готов заплатить 10,7 млн руб. при итоговой цене 10,6 млн руб.: разница равна 0,1 млн руб. Оба варианта приемлемы, но по описанному правилу выбирается «коробка», поскольку первая разница больше.

В предлагаемой модели совместимость со стимулами рассматривается как ожидаемое преимущество, которое предстоит уточнить при разработке правила определения цен. Однако практика часто отличается от применяемой теории. Например, аукцион второй цены, или аукцион Викри представляет собой классический пример совместимого со стимулами экономического механизма, однако на практике он оказался не столь совершенным. Вторая цена может слишком сильно отличаться от первой. Но и это не все. Компания Google вынуждена была отказаться от проведения таких аукционов при размещении рекламы, поскольку в условиях современной экономики и развития информационных технологий покупатели легко объединяются в сообщества и ведут игру против поставщика согласованно. Схема аукциона утрачивает одно из важнейших свойств – конкуренцию между покупателями. Игроки перестают конкурировать между собой и сбивают цены. Нечто подобное может случиться и в нашем случае.

Практическая апробация квиза позволит оценить, насколько предлагаемые правила действительно побуждают участников сообщать приемлемые для них цены, а не занижать ответы в расчете на последующий торг. Отклонение от такого поведения в принципе возможно, оно может быть связано как с непониманием правил, так и со сговором между покупателями. В результате может не получиться такого распределения заказов, при котором компания получит прибыль, а потребители жилье. Что делать в этом случае – отдельный вопрос.

Для наглядного представления механизма выбора используются инструменты тропической геометрии. Связь геометрических структур с предпочтениями и дискретным спросом исследуют Э. Болдуин и П. Клемперер (Baldwin, Klemperer, 2019); экономические приложения тропической математики рассмотрены в обзоре А. Н. Козырева (Козырев, 2025). Эти инструменты позволяют визуализировать пространство возможных заявок, выделить области, соответствующие каждому из вариантов решения, и показать границы перехода между ними. Такое представление дополняет числовые расчеты и позволяет наглядно продемонстрировать логику работы квиза-аукциона (рис. 2).

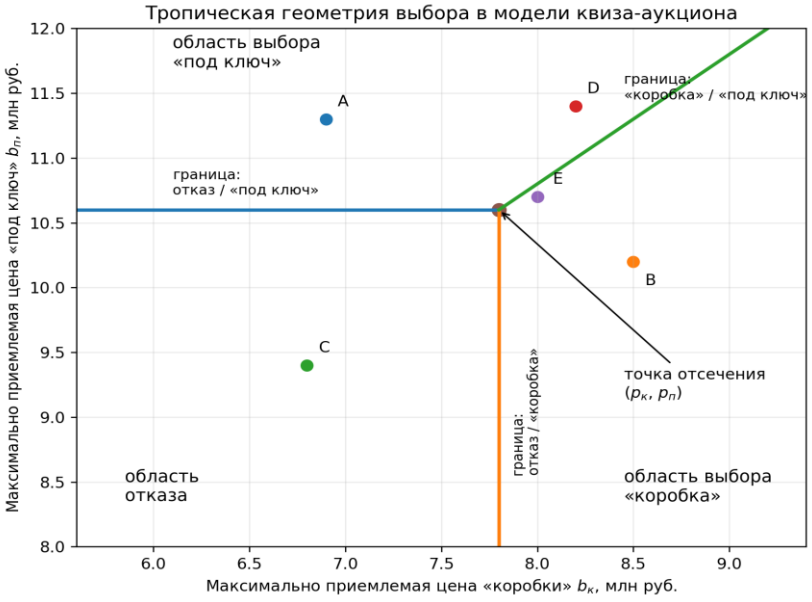


Рисунок 2. Тропическая геометрия выбора в модели квиза-аукциона

Точка отсечения $(p_к; p_п)$ образует вершину трех лучей. Горизонтальный луч разделяет отказ и выбор варианта «под ключ», вертикальный – отказ и «коробку», диагональный – два варианта строительства. Точки A–E соответствуют условным заявкам из таблицы 2. На границах сравниваемые варианты дают одинаковый результат. На рисунке цены отсечения заданы. Их изменение можно представить как перемещение точки соединения лучей: вправо и вверх – при повышении цен, влево и вниз – при снижении. Так можно наглядно показать, как цены меняют число принятых заявок и соотношение комплектаций.

В этом и состоит удобство тропического представления. Оно не заменяет экономическую модель и не объясняет доверие. Зато позволяет одним рисунком показать, какой вариант будет выбран при разных сочетаниях двух цен и где находятся границы смены решения. В многомерном случае аналогичная логика может быть распространена на большее число параметров, однако для практической рекламной кампании и наглядного изложения двух продуктов достаточно.

Психологический механизм

Экономическая схема отвечает на вопрос, как организовать заявки и их обработку. Для строительного рынка этого недостаточно. Здесь особенно важна психологическая сторона: почему покупатель вообще должен быть готов раскрыть свои предпочтения и затем передать подрядчику часть контроля над строительством? В модели Р. Майера, Дж. Дэвиса и Ф. Шурмана доверие возникает в ситуации, когда одна сторона принимает зависимость от действий другой при невозможности полностью контролировать ее поведение (Mayer, Davis, Schoorman, 1995). В настоящей работе поведенческим проявлением такого доверия выступает делегирование контроля: вариант «под ключ» предполагает передачу подрядчику заметно большего числа решений, чем вариант «коробка».

Обычно первый шаг предлагается сделать покупателю: оставить контакты, назвать бюджет, внести аванс, а затем доверить компании значительную часть процесса. В квизе-аукционе последовательность меняется. Продавец сначала сам ограничивает собственную свободу: заранее объявляет правила, принимает заявки с одной или двумя ценами и соглашается не превращать названный клиентом максимум в его индивидуальную цену. Эту конструкцию мы предлагаем называть встречным делегированием контроля. Ее психологический смысл состоит в том, что часть контроля сначала получает покупатель, и только затем возникает вопрос об ответной передаче контроля подрядчику.

Значение самого права выбора хорошо показывает классическая работа Э. Лангер об иллюзии контроля (Langer, 1975). В одном из ее лотерейных экспериментов участники покупали билеты с одинаковой объективной вероятностью выигрыша. Те, кто выбирал билет самостоятельно, впоследствии соглашались продать его в среднем за 8,67 долл., тогда как участники, которым билет назначили, – за 1,96 долл. Сам выбор не менял вероятность выигрыша, но резко менял субъективную ценность ситуации. Для нашего механизма этот результат важен как предупреждение: недостаточно создать у клиента ощущение выбора. Чтобы квиз не превратился в очередную маркетинговую иллюзию, ответ участника должен реально менять допустимое предложение компании.

Другую сторону контроля показывают эксперименты А. Фалька и М. Косфельда (Falk, Kosfeld, 2006). В базовой игре один участник получал 120 условных единиц и сам решал, сколько из них передать другому. Каждая переданная единица удваивалась в пользу второго участника. Перед этим второй участник мог либо полностью оставить решение на усмотрение первого, либо установить минимальный обязательный уровень передачи – например, не менее 10 единиц. Казалось бы, такое ограничение должно было защищать его интересы. Однако результат оказался обратным: когда минимальный порог 10 единиц вводился самим партнером, участники в среднем передавали около 17,5 единицы; когда точно такое же ограничение задавалось экспериментатором и не воспринималось как решение партнера, средняя передача составляла около 28,7 единицы. Иначе говоря, дело было не только в самом ограничении, но и в его психологическом смысле: контроль со стороны другого человека воспринимался как недоверие и ограничение самостоятельности (Falk, Kosfeld, 2006, p. 1623).

Следовательно, стремление заказчика контролировать строительство может быть обусловлено не только необходимостью проверять подрядчика, но и субъективной ценностью самостоятельного решения. Для квиза-аукциона существенно, что право влиять на условия сделки первоначально получает клиент.

С этим согласуется теория перспектив Д. Канемана и А. Тверски (Kahneman, Tversky, 1979). Один из ее основных выводов состоит в том, что потери субъективно переживаются сильнее сопоставимых приобретений. Поэтому вариант «под ключ» может оцениваться клиентом не только как приобретение удобства, но и как потеря собственного контроля. Встречное делегирование меняет исходную рамку: взаимодействие начинается не с отказа покупателя от контроля, а с его получения. Мы предполагаем, что в таком случае последующая передача части полномочий подрядчику может восприниматься скорее как обмен, чем как односторонняя уступка.

Еще один механизм – якорение. Канеман приводит многочисленные примеры того, как первое названное число смещает последующие оценки, даже если само по себе не содержит полезной информации (Kahneman, 2011). В обычной рекламе таким якорем становится цена, первой предложенная компанией: дальнейшее обсуждение уже строится вокруг нее. В квизе-аукционе первый ценовой ход делает сам клиент. Это не устраняет влияние его прежних рыночных представлений, но убирает специально заданную продавцом исходную цифру и позволяет получить более самостоятельную границу приемлемости.

Важен и характер самой коммуникации. М. Фристад и П. Райт показали, что потребители со временем накапливают знания о целях и приемах убеждения и используют их, чтобы распознавать и нейтрализовать попытки воздействия (Friestad, Wright, 1994). Поэтому обычный квиз, если он лишь маскирует сбор контактов и последующий «дожим», легко может быть прочитан как еще одна техника продаж. В предлагаемой модели критерий диалогичности жестче: ответ покупателя должен реально менять множество предложений, которые продавец вправе ему сделать. Тогда клиент становится полноценным участником формирования сделки.

Отдельное значение имеет воспринимаемая справедливость процедуры. Дж. Колкуитт и Дж. Роделл показали, что полнота, правдивость и своевременность объяснений связаны с последующим доверием даже с учетом его исходного уровня и воспринимаемой надежности партнера (Colquitt, Rodell, 2011). Поэтому правила квиза-аукциона должны быть прозрачными: участнику необходимо заранее понимать, как заявка учитывается при формировании предложения. Доверие в этом случае может относиться не только к компании, но и к процедуре.

Наконец, механизм встречного делегирования имеет сходство с экспериментальной логикой взаимности. В классической игре доверия Дж. Берга, Дж. Дикхаута и К. Маккейба первый участник получал 10 долл. и мог передать любую часть суммы второму; переданная сумма утраивалась, после чего второй участник сам решал, сколько вернуть (Berg, Dickhaut, McCabe, 1995). Несмотря на отсутствие контракта, повторных взаимодействий и угрозы наказания, участники систематически демонстрировали ответное поведение. Прямая аналогия со строительной сделкой была бы чрезмерной, но общий принцип полезен: добровольное ограничение собственных возможностей одной стороной может становиться первым кооперативным ходом, на который другая сторона отвечает большей открытостью.

В совокупности рассмотренные исследования позволяют сформулировать гипотезу: реальный выбор, снижение навязанного контроля, прозрачность правил и взаимность могут способствовать формированию доверия к взаимодействию с подрядчиком. Проверить эту гипотезу можно только в рамках последующего эмпирического исследования. В условиях «инфляции впечатления» особую значимость могут приобретать наблюдаемые ограничения, которые компания добровольно устанавливает для собственных действий.

Заключение

Предложена проектная модель квиза-аукциона для малоэтажного строительства, объединяющая парную взаимоисключающую заявку, общие цены отсечения и учет ограниченной мощности подрядчика. Модель заимствует принципы ассортиментного аукциона, но не воспроизводит банковский механизм буквально.

Главный предполагаемый психологический эффект модели связан со встречным делегированием контроля. Добровольное ограничение продавцом собственных действий предоставляет покупателю более активную роль в формировании условий взаимодействия. Предполагается, что такой порядок способен снизить ощущение односторонней уступки контроля и повысить воспринимаемую справедливость процедуры.

Перспективы исследования связаны с уточнением правила определения цен отсечения, анализом совместимости со стимулами и эмпирической проверкой влияния процедуры на доверие и выбор строительного продукта.

Литература

1. Белянин А. В., Зинченко В. П. Доверие в экономике и общественной жизни. М.: Фонд «Либеральная миссия», 2010.
2. Козырев А. Н. Приложения тропической математики в экономике и теории игр // Цифровая экономика. 2025. № 5(35). С. 36–71.
3. Савватеев А. В., Филатов А. Ю. Занимательная экономика. Теория экономических механизмов от А до Я. М.: АСТ, 2022.
4. Савватеев А. В., Филатов А. Ю. Теория и практика аукционов // Вестник ВГУ. Серия: Экономика и управление. 2018. № 3. С. 119–131.
5. Baldwin E., Klemperer P. Understanding Preferences: “Demand Types,” and the Existence of Equilibrium with Indivisibilities // Econometrica. 2019. Vol. 87. No. 3. P. 867–932.
6. Bank of England. The Bank’s New Indexed Long-Term Repo Operations // Bank of England Quarterly Bulletin. 2010. Vol. 50. No. 2. P. 90–91. URL: https://www.bankofengland.co.uk/-/media/boe/files/quarterly-bulletin/2010/quarterly-bulletin-2010-q2.pdf
7. Berg J., Dickhaut J., McCabe K. Trust, Reciprocity, and Social History // Games and Economic Behavior. 1995. Vol. 10. No. 1. P. 122–142.
8. Colquitt J. A., Rodell J. B. Justice, Trust, and Trustworthiness: A Longitudinal Analysis Integrating Three Theoretical Perspectives // Academy of Management Journal. 2011. Vol. 54. No. 6. P. 1183–1206. DOI: 10.5465/amj.2007.0572.
9. Darby M. R., Karni E. Free Competition and the Optimal Amount of Fraud // Journal of Law and Economics. 1973. Vol. 16. No. 1. P. 67–88.
10. Falk A., Kosfeld M. The Hidden Costs of Control // American Economic Review. 2006. Vol. 96. No. 5. P. 1611–1630.
11. Kahneman D., Tversky A. Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk // Econometrica. 1979. Vol. 47. No. 2. P. 263–291.
12. Kahneman D. Thinking, Fast and Slow. New York: Farrar, Straus and Giroux, 2011.
13. Klemperer P. A New Auction for Substitutes: Central Bank Liquidity Auctions, the U.S. TARP, and Variable Product-Mix Auctions. Oxford, 2008.
14. Mayer R. C., Davis J. H., Schoorman F. D. An Integrative Model of Organizational Trust // Academy of Management Review. 1995. Vol. 20. No. 3. P. 709–734.
15. Spence M. Job Market Signaling // Quarterly Journal of Economics. 1973. Vol. 87. No. 3. P. 355–374.
16. Friestad M., Wright P. The Persuasion Knowledge Model: How People Cope with Persuasion Attempts // Journal of Consumer Research. 1994. Vol. 21, No. 1. P. 1–31. DOI: 10.1086/209380.
17. Langer E. J. The Illusion of Control // Journal of Personality and Social Psychology. 1975. Vol. 32, No. 2. P. 311–328. DOI: 10.1037/0022-3514.32.2.311.

References in Cyrillics

1. Belyanin A. V., Zinchenko V. P. Doverie v ekonomike i obshchestvennoj zhizni. M.: Fond «Liberal’naya missiya», 2010.
2. Kozyrev A. N. Prilozheniya tropicheskoj matematiki v ekonomike i teorii igr // Cifrovaya ekonomika. 2025. № 5(35). S. 36–71.
3. Savvateev A. V., Filatov A. Yu. Zanimatel’naya ekonomika. Teoriya ekonomicheskih mekhanizmov ot A do Ya. M.: AST, 2022.
4. Savvateev A. V., Filatov A. Yu. Teoriya i praktika aukcionov // Vestnik VGU. Seriya: Ekonomika i upravlenie. 2018. № 3. S. 119–131.

Ратман Леонид Панаетович., аспирант, ФГБОУ ВО ГАУГН
ORCID: 0000-0003-2878-6255
leonidrat@yandex.ru

Костина Татьяна Анатольевна – научный сотрудник
ЦЭМИ РАН ORCID 0009-0006-1875-3774
kostina1@yandex.ru

Ключевые слова

Доверие, делегирование контроля, квиз, ассортиментный аукцион, совместимость со стимулами, тропическая геометрия, цифровой маркетинг, малоэтажное строительство.

Ratman L., Kostina T. The Quiz Auction as a Trust Mechanism

Keywords
Trust, delegation of control, quiz, product-mix auction, incentive compatibility, tropical geometry, digital marketing, low-rise residential construction.

DOI: 10.34706/DE-2026-05-06
JEL classification: D44, D82, M31

Abstract
The article presents a theoretical model of a construction company's advertising campaign structured as a quiz auction. The campaign is still at the planning stage; the aim is therefore to describe the mechanism and its economic and psychological rationale. Instead of receiving a predefined combination of product and price, prospective customers can specify acceptable terms for two construction options: a shell house and a turnkey house. The economic model draws on the product-mix auction, its practical application by the Bank of England, and incentive compatibility. Tropical geometry is used to illustrate the choice mechanism by showing the regions in which each option is preferred and the boundaries between them. The psychological analysis considers trust as a willingness to delegate control. It also examines the subjective value of control, loss aversion, anchoring, dialogue between the parties, perceived procedural fairness, and reciprocity. The article introduces the concept of reciprocal delegation of control: the seller first limits its own freedom of action and gives the buyer a role in determining the terms of interaction.

УДК 620.92:004.94

1.7. Интеллектуальная цифровизация объектов возобновляемой энергетики на основе технологии цифровых двойников

Филькин М.Е., ЦЭМИ РАН, Москва

В статье раскрываются перспективы цифровой трансформации объектов возобновляемой энергетики на основе технологии цифровых двойников. Архитектура технологии цифровых двойников определяется как многоуровневая информационно-аналитическая система, включающая физический объект, средства цифрового восприятия, интеграцию данных, цифровое моделирование, интеллектуальный анализ и обратную связь. Выявлены основные функции цифрового двойника в контексте управления объектами энергетики: контроль технического состояния, прогнозирование эксплуатационного режима, прогнозное обслуживание, оптимизация эксплуатации и принятие решений. Показано как комбинация данных мониторинга, физических моделей и алгоритмов интеллектуального анализа позволяет выйти за рамки текущего контроля параметров и прогнозирования состояния оборудования и оценки альтернатив его эксплуатации. Особое внимание уделяется ограничениям при внедрении технологии цифровых двойников, связанным с качеством и согласованностью данных, интеграцией разрозненной цифровой инфраструктуры и кибербезопасностью. Указаны направления дальнейшего развития технологии, включая использование самообучающихся моделей, искусственного интеллекта, распределенных вычислений и координацию географически распределенных объектов энергетики. Вывод о возможности использования технологии цифровых двойников в качестве основы для умного управления жизненным циклом объектов возобновляемой энергетики.

Введение

Развитие возобновляемой энергетики приводит не только к увеличению объемов низкоуглеродной генерации, но и к качественному усложнению процессов управления энергетической инфраструктурой. По мере роста количества солнечных и ветровых электростанций, накопителей энергии и распределенных генерирующих объектов возрастает объем операционных данных, расширяется круг взаимосвязанных технологических процессов и усиливается влияние внешних факторов на режимы работы энергетических систем (Малых, 2022). В результате эффективность функционирования объектов возобновляемой энергетики все в большей степени определяется не столько установленной мощностью оборудования, сколько возможностью непрерывно анализировать его состояние, прогнозировать изменения эксплуатационных параметров и своевременно корректировать принимаемые управленческие решения.

По данным IRENA (IRENA, 2026), в последние годы мировой сектор возобновляемой энергетики демонстрирует устойчивую положительную динамику как по объемам установленной мощности (см. Табл.1), так и по масштабам ввода новых генерирующих объектов (Сергеева, 2024). Расширение использования возобновляемых источников энергии сопровождается формированием распределенной энергетической инфраструктуры, включающей тысячи территориально удаленных объектов, функционирующих в условиях постоянно изменяющихся природно-климатических факторов (Кудрявцева. и др., 2023). Данная специфика существенно усложняет процессы диспетчеризации, технического обслуживания, прогнозирования режимов работы и оценки эффективности эксплуатации энергетического оборудования.

Таблица 1. Установленная мощность мировой возобновляемой энергетики, ТВт

	2021	2022	2023	2024	2025
Гидроэнергетика	1,36	1,40	1,41	1,43	1,46
Прирост г/г	+2,1%	+2,5%	+1,1%	+1,1%	+2,0%
Ветровая энергетика	0,82	0,90	1,02	1,13	1,29
Прирост г/г	+12,4%	+9,6%	+12,8%	+11,2%	+14,0%
Солнечная энергетика	0,87	1,06	1,42	1,88	2,40
Прирост г/г	+20,1%	+22,2%	+34,6%	+32,2%	+27,3%
Всего ВИЭ	**3,08**	**3,38**	**3,88**	**4,46**	**5,16**
Прирост г/г	***+9,5%***	***+9,8%***	***+14,7%***	***+15,1%***	***+15,5%***

Источник: IRENA (IRENA, 2026), расчеты автора

Особенностью объектов возобновляемой энергетики является высокая зависимость их производительности от внешней среды. Изменение интенсивности солнечного излучения, скорости ветра, температуры окружающей среды и других факторов приводит к непрерывному изменению режимов генерации, что требует постоянной адаптации алгоритмов управления. Одновременно возрастает значение свое-

временного выявления деградации оборудования, прогнозирования остаточного ресурса основных узлов и оценки возможных последствий различных сценариев эксплуатации. Решение подобных задач становится невозможным без использования интеллектуальных методов обработки больших потоков данных, поступающих от многочисленных датчиков и информационных систем.

Цифровая трансформация энергетического сектора все в большей степени ориентируется не только на автоматизацию отдельных производственных процессов, но и на создание единого цифрового пространства, обеспечивающего непрерывное сопровождение объекта на протяжении всего его жизненного цикла. Такой подход предполагает объединение данных мониторинга, математического моделирования, методов искусственного интеллекта, прогнозной аналитики и инструментов поддержки принятия решений в единую интеллектуальную систему управления. Одной из наиболее перспективных технологий, позволяющих реализовать подобную концепцию, являются цифровые двойники. В отличие от традиционных цифровых моделей, цифровой двойник представляет собой динамическую виртуальную модель физического объекта, непрерывно синхронизируемую с его реальным состоянием посредством потоков операционных данных (Sharma et al., 2024). Это позволяет не только воспроизводить текущие режимы функционирования оборудования, но и анализировать причины возникающих отклонений, прогнозировать изменение технического состояния, моделировать альтернативные сценарии эксплуатации и оценивать эффективность принимаемых решений до их практической реализации. Благодаря интеграции с технологиями Интернета вещей (Internet-ot-Things, IoT), искусственного интеллекта (ИИ), машинного обучения (machine learning, ML) и облачных вычислений цифровые двойники постепенно превращаются в интеллектуальную основу управления современными объектами возобновляемой энергетики (Kabir et al., 2024).

Значительное количество мировых исследований посвящено применению цифровых двойников в энергетике, где рассматриваются прикладные аспекты данной технологии либо конкретные типы энергетического оборудования (Гвоздяный и др., 2024). Меньше внимания уделяется рассмотрению цифрового двойника как интегральной интеллектуальной платформы цифровизации объектов возобновляемой энергетики, обеспечивающей переход от мониторинга технического состояния к комплексному управлению эксплуатацией, прогнозированию режимов функционирования и поддержке принятия стратегических решений. Предлагаемое исследование посвящено роли технологии цифровых двойников в интеллектуальной цифровизации объектов возобновляемой энергетики, анализу архитектуры и принципам их функционирования, а также выявлению ключевых направлений применения цифровых двойников для повышения эффективности, надежности и интеллектуализации процессов управления современными энергетическими системами.

1. Архитектура цифрового двойника объекта возобновляемой энергетики

Эффективность цифрового двойника определяется не столько точностью виртуального воспроизведения физического объекта, сколько способностью объединять разнородные данные, математические модели и интеллектуальные алгоритмы в единую систему поддержки управления (Массель и др., 2026). В отношении объектов возобновляемой энергетики эта особенность приобретает принципиальное значение, поскольку их функционирование формируется под воздействием большого числа взаимосвязанных факторов, включая техническое состояние оборудования, изменчивость природно-климатических условий, параметры электрической сети и режимы работы смежных энергетических объектов. По этой причине архитектуру цифрового двойника целесообразно рассматривать как многоуровневую интеллектуальную систему, обеспечивающую непрерывную синхронизацию физического и цифрового пространства.

Первый уровень архитектуры образует сам объект возобновляемой энергетики, выступающий источником первичной информации. В зависимости от назначения цифрового двойника таким объектом может быть отдельная фотоэлектрическая панель, ветроэнергетическая установка, аккумуляторная система накопления энергии, преобразователь, электрическая подстанция либо энергетический комплекс в целом. Каждый из этих объектов характеризуется собственными физическими процессами, однако для всех них ключевым условием функционирования цифрового двойника остается возможность непрерывного получения достоверной информации о текущем состоянии оборудования и параметрах его эксплуатации.

Следующий уровень формируется системой цифрового восприятия, включающей измерительные устройства, интеллектуальные датчики, средства телеметрии и коммуникационную инфраструктуру (Kabir et al.,, 2024). Именно на этом этапе происходит преобразование физических процессов в цифровые данные, пригодные для последующей обработки. При этом значение имеет не только объем поступающей информации, но и ее пространственная и временная согласованность. Разрозненные измерения отдельных параметров не позволяют сформировать адекватное представление о состоянии объекта, тогда как их интеграция создает основу для построения целостной цифровой модели, отражающей взаимосвязь между технологическими процессами.

По мере увеличения числа источников информации возрастает роль уровня интеграции данных. Его назначение заключается в объединении потоков, поступающих от различных сенсорных устройств, информационных систем и внешних цифровых сервисов. Для объектов возобновляемой энергетики особую ценность приобретают сведения о метеорологических условиях, характеристиках электрической

нагрузки, режимах работы накопителей энергии и параметрах энергосистемы. Интеграция таких данных позволяет перейти от анализа отдельных эксплуатационных показателей к исследованию причинно-следственных связей, определяющих эффективность функционирования энергетического объекта.



Рис. 1. Схема архитектуры цифрового двойника ВИЭ (составлено автором)

Центральным элементом архитектуры выступает цифровое представление объекта, которое не ограничивается созданием его трехмерной геометрической модели. Цифровой двойник воспроизводит структуру оборудования, физические закономерности его функционирования, динамику изменения эксплуатационных характеристик и особенности взаимодействия с окружающей средой. Благодаря непрерывной синхронизации с реальным объектом цифровая модель постоянно уточняется по мере поступления новых данных, сохраняя соответствие фактическому состоянию оборудования. Это отличает цифровой двойник от традиционных имитационных моделей, параметры которых, как правило, остаются неизменными в течение расчетного периода.

Дальнейшая обработка информации осуществляется аналитическим ядром, объединяющим методы математического моделирования, интеллектуального анализа данных и алгоритмы машинного обучения (Массель и др., 2026). На данном уровне цифровой двойник переходит от регистрации событий к их интерпретации. Сопоставление фактических параметров с расчетными значениями позволяет выявлять скрытые отклонения, оценивать влияние отдельных факторов на эффективность работы оборудования и определять тенденции изменения его технического состояния. Одновременно формируются прогнозные сценарии, отражающие возможные режимы функционирования объекта при изменении внешних условий или эксплуатационных параметров.

В архитектуре цифрового двойника особое место занимает уровень интеллектуального управления. Его задача заключается не только в представлении результатов анализа, но и в формировании рекомендаций по выбору наиболее эффективных режимов эксплуатации. Для объектов возобновляемой энергетики это означает возможность предварительной оценки различных вариантов управления без вмешательства в работу реального оборудования. Виртуальная среда позволяет моделировать последствия изменения режимов генерации, конфигурации энергосистемы, графиков технического обслуживания и алгоритмов управления накопителями энергии, что существенно снижает риск принятия неэффективных решений.

Завершающим элементом архитектуры становится контур обратной связи, обеспечивающий непрерывное взаимодействие цифровой модели с физическим объектом. После реализации управляющего воздействия эксплуатационные параметры вновь поступают в цифровой двойник, где используются для корректировки моделей, уточнения прогнозов и накопления новых знаний о функционировании оборудования. Благодаря этому архитектура приобретает адаптивный характер: каждая новая итерация повышает точность моделирования и расширяет возможности интеллектуального анализа (рис. 1).

Таким образом, архитектура цифрового двойника объекта возобновляемой энергетики представляет собой не совокупность отдельных цифровых компонентов, а интегрированную интеллектуальную

систему, объединяющую процессы восприятия, анализа, моделирования и управления в рамках единого информационного контура. Именно взаимосвязь этих уровней обеспечивает переход от традиционного мониторинга технического состояния к прогнозному управлению эксплуатацией энергетических объектов, формируя технологическую основу их интеллектуальной цифровизации.

2. Интеллектуальные возможности цифровых двойников в управлении объектами возобновляемой энергетики

Интеллектуальный потенциал цифрового двойника наиболее полно раскрывается в процессе непрерывного мониторинга технического состояния объектов возобновляемой энергетики. В отличие от традиционных систем диспетчерского контроля, фиксирующих преимущественно текущие операционные параметры, цифровой двойник обеспечивает комплексную интерпретацию поступающих данных, сопоставляя их с физическими закономерностями функционирования оборудования, накопленной историей эксплуатации и прогнозируемыми режимами работы. Благодаря этому мониторинг перестает ограничиваться регистрацией отдельных событий и трансформируется в инструмент непрерывной оценки технического состояния энергетического объекта. Подобный подход особенно востребован при эксплуатации солнечных и ветровых электростанций, где эффективность оборудования определяется одновременным воздействием множества взаимосвязанных факторов. Помимо внутренних характеристик оборудования существенное влияние оказывают интенсивность солнечного излучения, скорость и направление ветра, температура окружающей среды, влажность, загрязнение поверхности фотоэлектрических модулей, режимы работы преобразовательной техники и параметры электрической сети. Изменение любого из этих факторов способно привести к снижению производительности оборудования, однако определить истинную причину отклонений исключительно на основании отдельных измерений зачастую невозможно.

Цифровой двойник решает данную задачу посредством объединения разнородных потоков информации в едином аналитическом пространстве. Данные, поступающие от интеллектуальных датчиков, систем телеметрии, метеорологических комплексов и элементов энергетической инфраструктуры, синхронизируются во времени и сопоставляются с расчетными характеристиками цифровой модели. Такой механизм позволяет анализировать взаимное влияние отдельных процессов и формировать целостное представление о текущем состоянии объекта.

Принципиальное отличие цифрового двойника заключается в способности выявлять не только уже возникшие неисправности, но и ранние признаки изменения эксплуатационных характеристик оборудования. Даже незначительные отклонения температуры силовой электроники, увеличение вибрации подшипников ветроэнергетических установок, снижение коэффициента преобразования солнечных модулей или изменение электрических параметров инверторов могут рассматриваться системой как взаимосвязанные проявления единого процесса деградации. Использование интеллектуальных алгоритмов позволяет отделять случайные колебания параметров от устойчивых тенденций, требующих последующего анализа.

По мере накопления эксплуатационной информации цифровой двойник постепенно формирует цифровую историю функционирования объекта. Каждая новая итерация наблюдений уточняет параметры математической модели, повышая точность оценки технического состояния оборудования. В результате система приобретает способность учитывать индивидуальные особенности эксплуатации конкретного энергетического объекта, что существенно снижает вероятность ложных диагностических заключений и повышает достоверность оценки его работоспособности.

Если мониторинг отражает текущее состояние объекта возобновляемой энергетики, то такая способность, как прогнозирование, ориентировано на оценку его будущего поведения при изменении внутренних и внешних условий эксплуатации. Именно способность работать с перспективными сценариями отличает цифровой двойник от большинства традиционных информационных систем, поскольку позволяет перейти от реагирования на уже произошедшие события к заблаговременной подготовке управленческих решений.

Для объектов возобновляемой энергетики задача прогнозирования имеет значительно более сложный характер, чем для традиционной генерации. Производительность солнечных и ветровых электростанций определяется стохастическими природными процессами, влияние которых невозможно полностью исключить или стабилизировать. Одновременно функционирование оборудования зависит от его технического состояния, степени износа отдельных узлов, конфигурации электрической сети, режима работы накопителей энергии и динамики потребления электроэнергии. Формирование достоверного прогноза требует одновременного учета всех перечисленных факторов, что практически невозможно при использовании разрозненных моделей.

Интеллектуальная архитектура цифрового двойника позволяет объединить физические модели энергетического оборудования, данные непрерывного мониторинга и методы искусственного интеллекта в рамках единого вычислительного контура. Благодаря этому становится возможным моделирование поведения объекта при различных комбинациях операционных и природно-климатических условий (Ugwu et al., 2026). Система способна оценивать ожидаемую выработку электроэнергии, прогнозировать изменение коэффициента полезного действия оборудования, определять вероятность возникновения

перегрузок и рассчитывать влияние отдельных факторов на устойчивость функционирования энергетического объекта.

По мере накопления новых данных прогнозные модели непрерывно уточняются. Каждое расхождение между расчетными и фактическими показателями используется для корректировки параметров цифрового двойника, что обеспечивает постепенное повышение точности прогнозирования. Благодаря механизму самообновления система не только отражает текущее состояние объекта, но и постоянно совершенствует собственные аналитические возможности, превращаясь в динамический инструмент интеллектуального сопровождения эксплуатации объектов возобновляемой энергетики.

Непрерывный мониторинг и прогнозирование режимов функционирования создают информационную основу для реализации одной из наиболее значимых функций цифрового двойника – предиктивного обслуживания оборудования. В отличие от традиционных подходов, основанных на регламентных интервалах ремонта или устранении уже возникших неисправностей, предиктивное обслуживание ориентировано на выявление признаков деградации оборудования задолго до достижения критического состояния. Такой подход позволяет учитывать реальные условия эксплуатации объекта и своевременно корректировать графики технического обслуживания с учетом фактического состояния его отдельных компонентов.

Для объектов возобновляемой энергетики данная задача приобретает особую актуальность вследствие неоднородности операционных нагрузок. Даже идентичные по конструкции ветроэнергетические установки или фотоэлектрические модули могут демонстрировать различную динамику износа в зависимости от климатических условий, интенсивности использования, особенностей монтажа и режима работы. Применение единых нормативных сроков обслуживания в подобных условиях не всегда обеспечивает требуемую эффективность: преждевременное проведение ремонтных работ увеличивает эксплуатационные расходы, тогда как их запаздывание повышает вероятность отказов оборудования и снижения объемов выработки электроэнергии. Использование цифрового двойника позволяет перейти к непрерывной оценке технического ресурса оборудования. Анализируя совокупность эксплуатационных параметров, система выявляет постепенные изменения характеристик, которые по отдельности могут находиться в пределах допустимых значений, однако в совокупности свидетельствуют о начале деградационных процессов. Подобная оценка формируется не на основе фиксированных пороговых значений, а посредством сопоставления текущего состояния объекта с его цифровой моделью и накопленной историей функционирования.

Дополнительным преимуществом предиктивного обслуживания является возможность оптимизации распределения эксплуатационных ресурсов. При наличии большого числа территориально распределенных объектов цифровой двойник позволяет ранжировать оборудование по степени технического риска, определять приоритетность проведения ремонтных работ и рационально распределять персонал, запасные части и материально-технические ресурсы. Подобный подход особенно важен для крупных солнечных и ветровых электростанций, где даже незначительное сокращение времени простоя оборудования оказывает заметное влияние на общую эффективность функционирования энергетического комплекса.

Предиктивное обслуживание направлено преимущественно на сохранение технической работоспособности оборудования. В свою очередь, оптимизация режимов эксплуатации ориентирована на достижение максимальной эффективности его функционирования в изменяющихся условиях внешней среды. Реализация данной функции становится возможной благодаря способности цифрового двойника непрерывно анализировать взаимосвязь между состоянием объекта, параметрами окружающей среды и результатами его работы.

Эксплуатация объектов возобновляемой энергетики сопровождается постоянным поиском компромисса между максимизацией выработки электроэнергии, обеспечением надежности оборудования и минимизацией эксплуатационных затрат. Повышение производительности зачастую связано с увеличением механических и тепловых нагрузок, тогда как снижение интенсивности эксплуатации способствует продлению срока службы оборудования, но сопровождается уменьшением объемов генерации (Igbokwe et al., 2024). Решение подобных многокритериальных задач требует учета большого количества взаимозависимых факторов, анализ которых существенно превышает возможности традиционных методов управления.

Цифровой двойник формирует единое вычислительное пространство, в котором моделируются различные варианты функционирования объекта при изменении операционных параметров. Виртуальное воспроизведение технологических процессов позволяет оценить последствия корректировки режимов работы без непосредственного вмешательства в функционирование реального оборудования (Belik et al., 2023). Благодаря этому становится возможным выбор таких параметров эксплуатации, которые обеспечивают наиболее рациональное сочетание энергетической эффективности, технической надежности и экономической целесообразности.

Необходимость оптимизации режимов эксплуатации особенно возрастает при высокой изменчивости природно-климатических условий. Для солнечных электростанций цифровой двойник способен учитывать изменение интенсивности солнечного излучения, температурный режим фотоэлектрических модулей, степень их загрязнения и влияние затенения на эффективность генерации. При эксплуатации ветроэнергетических установок анализируются скорость и направление ветрового потока, динамические

нагрузки на основные конструктивные элементы, режимы работы генератора и преобразовательного оборудования. Комплексный анализ указанных факторов позволяет своевременно корректировать эксплуатационные параметры и поддерживать устойчивую работу энергетического объекта при изменении внешних условий. В целом, оптимизация режимов эксплуатации выходит далеко за пределы регулирования отдельных технологических параметров. В архитектуре цифрового двойника она представляет собой непрерывный процесс интеллектуального поиска наиболее эффективных вариантов функционирования энергетического объекта с учетом его технического состояния, внешних воздействий и стратегических целей управления. Именно эта способность превращает цифровой двойник из инструмента цифрового моделирования в активный элемент интеллектуальной системы управления объектами возобновляемой энергетики.

Последовательное развитие функций мониторинга, прогнозирования, предиктивного обслуживания и оптимизации режимов эксплуатации закономерно приводит к формированию новой роли цифрового двойника в системе управления объектами возобновляемой энергетики. Если на начальных этапах цифровой двойник выступает инструментом получения и анализа информации, то по мере накопления данных и усложнения аналитических моделей он трансформируется в интеллектуальную систему поддержки принятия управленческих решений. В этом случае объектом анализа становятся не отдельные эксплуатационные параметры, а совокупность взаимосвязанных процессов, определяющих эффективность функционирования энергетического объекта на различных временных горизонтах.

Принятие решений в современной возобновляемой энергетике сопровождается высокой степенью неопределенности. Изменчивость природно-климатических условий, колебания нагрузки, техническое состояние оборудования, режимы работы накопителей энергии и параметры электрической сети формируют сложную динамическую среду, в которой последствия каждого управляющего воздействия проявляются не изолированно, а через систему многочисленных взаимозависимостей (You et al., 2022). По этой причине использование отдельных расчетных моделей или экспертных оценок не всегда позволяет объективно оценить возможные результаты принимаемых решений.

Интеллектуальная архитектура цифрового двойника позволяет преодолеть данное ограничение посредством объединения информации, поступающей из различных источников, с физическими моделями объекта и алгоритмами интеллектуального анализа данных. На этой основе формируется виртуальная среда, в которой управленческие решения могут быть предварительно проверены до их практической реализации. Такая возможность существенно снижает риск возникновения неблагоприятных последствий, поскольку позволяет оценить реакцию энергетического объекта на изменение эксплуатационных параметров без вмешательства в работу реального оборудования (You et al., 2022).

Цифровой двойник позволяет оценивать риски на основе совокупности накопленных операционных данных и результатов моделирования. Сопоставление этих данных дает возможность выявлять факторы, способные снизить надежность оборудования, оценивать вероятность неблагоприятных сценариев и заранее определять их возможные последствия для энергетического объекта. Управление рисками в таком случае строится не вокруг уже возникших отказов или критических отклонений, а вокруг их раннего выявления и своевременной корректировки режима работы.

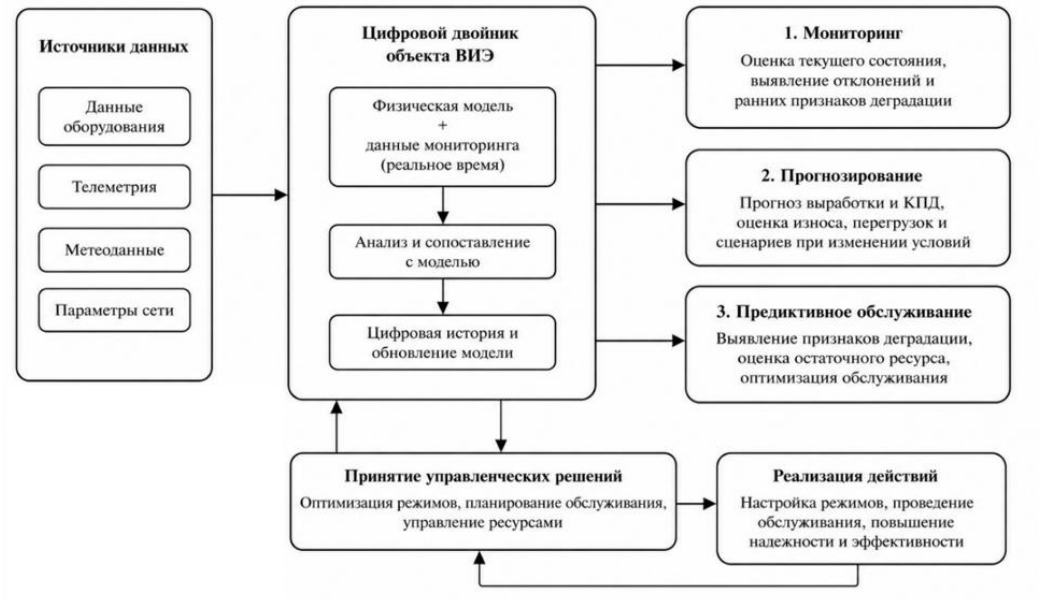


Рис. 2. Функциональная схема интеллектуальных возможностей цифрового двойника объектов возобновляемой энергетики (составлено автором)

По мере расширения масштабов возобновляемой энергетики существенно возрастает значение координации большого количества территориально распределенных объектов. В подобных условиях цифровой двойник перестает выполнять функции локальной системы сопровождения отдельной установки и становится инструментом поддержки управления энергетическими комплексами. Интеграция цифровых моделей солнечных электростанций, ветроэнергетических установок, накопителей энергии и элементов электрической сети позволяет оценивать последствия принимаемых решений не только для каждого объекта в отдельности, но и для всей энергетической инфраструктуры (Al-Shetwi et al., 2025). Это создает предпосылки для согласованного управления распределенной генерацией, повышения устойчивости энергоснабжения и более эффективного использования энергетических ресурсов.

Представляется, что цифровой двойник формирует качественно новый уровень управления объектами возобновляемой энергетики, при котором процессы мониторинга, прогнозирования, предиктивного обслуживания и оптимизации объединяются в едином интеллектуальном контуре принятия решений (Рис. 2). В результате управление приобретает не реактивный, а проактивный характер, основанный на комплексном анализе данных, сценарном моделировании и непрерывной адаптации к изменяющимся условиям эксплуатации. Именно эта способность интегрировать разрозненные информационные потоки и преобразовывать их в обоснованные управленческие решения определяет роль цифрового двойника как ключевого элемента интеллектуальной цифровизации объектов возобновляемой энергетики.

3. Основные ограничения внедрения технологии цифровых двойников и направления дальнейшего развития

Несмотря на значительный потенциал цифровых двойников в интеллектуальном управлении объектами возобновляемой энергетики, их широкое практическое внедрение остается сопряженным с рядом технологических и организационных ограничений. Большинство из них связано не с возможностями самой технологии, а со сложностью формирования единой цифровой среды, способной обеспечить непрерывное взаимодействие физических объектов, информационной инфраструктуры и интеллектуальных алгоритмов (Kim et al., 2026). По мере усложнения энергетических систем возрастают требования к качеству исходных данных, согласованности программно-аппаратных решений и вычислительным ресурсам, необходимым для поддержания цифрового двойника в актуальном состоянии.

Одним из ключевых факторов остается достоверность информационной базы. Цифровой двойник формирует выводы на основе непрерывного потока данных, поэтому ошибки измерений, задержки передачи информации, неполнота телеметрии или несогласованность данных из различных источников способны существенно снизить точность моделирования и прогнозирования. Для распределенных объектов возобновляемой энергетики прогнозирование осложняется необходимостью одновременно учитывать состояние оборудования, параметры электрической сети и изменчивость природно-климатических условий.

Не менее важным ограничением является интеграция цифровых двойников с существующей энергетической инфраструктурой. На практике многие объекты используют разнородные информационные системы, разработанные в различное время и функционирующие на основе несовместимых протоколов обмена данными. В подобных условиях создание единого цифрового пространства требует разработки унифицированных механизмов взаимодействия, способных обеспечить корректный обмен информацией между оборудованием различных производителей и программными платформами.

Расширение масштабов цифровизации сопровождается увеличением объема передаваемой и обрабатываемой информации, что закономерно повышает требования к кибербезопасности энергетических объектов. Компрометация цифровой модели, несанкционированное изменение операционных данных или вмешательство в алгоритмы управления способны повлиять не только на качество принимаемых решений, но и на устойчивость функционирования энергетической инфраструктуры. По этой причине развитие цифровых двойников неразрывно связано с совершенствованием механизмов защиты данных, безопасного обмена информацией и контроля доступа к критически важным элементам цифровой среды.

Перспективным направлением в свете расширения интеллектуальных возможностей цифровых двойников становится использование самообучающихся моделей, способных автоматически уточнять собственные параметры по мере накопления эксплуатационных данных и адаптироваться к изменению условий функционирования энергетических объектов. Одновременно возрастает значение интеграции цифровых двойников с генеративным искусственным интеллектом, распределенными вычислениями и интеллектуальными энергетическими платформами, что позволит перейти от поддержки отдельных управленческих решений к комплексному управлению распределенными энергетическими системами в режиме реального времени.

Таким образом, дальнейшая эволюция цифровых двойников определяется не только совершенствованием методов цифрового моделирования, но и развитием единой интеллектуальной экосистемы, объединяющей данные, вычислительные технологии и инструменты принятия решений. Именно способность обеспечить адаптивное, безопасное и непрерывное управление сложными объектами возобновляемой энергетики будет определять роль цифровых двойников как одного из ключевых элементов цифровой трансформации энергетического сектора.

4. Заключение

Представляется, что развитие цифровых двойников откроет новые возможности для интеллектуальной цифровизации объектов возобновляемой энергетики, обеспечивая переход от локальной автоматизации отдельных процессов к комплексному управлению жизненным циклом энергетических систем. Комбинация операционных данных, математического моделирования, технологий искусственного интеллекта и сценарного анализа формирует единый интеллектуальный контур, способный не только отражать текущее состояние объекта, но и предсказывать его дальнейшее функционирование, оценивать последствия различных управленческих решений и адаптироваться к изменяющимся режимам работы.

Ключевая ценность цифрового двойника определяется не созданием виртуальной копии энергетического объекта, а его способностью объединять процессы мониторинга, прогнозирования, предиктивного обслуживания, оптимизации режимов работы и поддержки принятия решений в единой информационно-аналитической среде. Такой подход способствует повышению надежности функционирования объектов возобновляемой энергетики, более эффективному использованию энергетических ресурсов и снижению операционных рисков.

Дальнейшее развитие технологии целесообразно связывать с созданием самообучающихся цифровых двойников, интеграцией генеративного искусственного интеллекта, развитием распределенных вычислений и созданием единых цифровых платформ управления энергетическими экосистемами. Перспективным направлением исследований представляется разработка мультиагентных цифровых двойников, способных координировать работу территориально распределенных объектов генерации, накопителей энергии и интеллектуальных электрических сетей в режиме реального времени. Реализация подобных решений позволит перейти к новому уровню управления возобновляемой энергетикой, основанному на непрерывной адаптации, прогнозном анализе и интеллектуальной координации всех элементов энергетической инфраструктуры.

Список литературы

1. Гвоздяный С. Е., Мясков А. В. Российский и зарубежный опыт использования цифровых двойников в энергетике // Экономика промышленности. – 2024. – Т. 17, № 4. – С. 378-387. – EDN AWVRKB.
2. Кудрявцева О. В., Васильев С. В., Зорина Т. Г. Эффективность реализации программы поддержки возобновляемой энергетики (на примере солнечной энергетики) // Russian Journal of Economics and Law. – 2023. – Т. 17, № 4. – С. 745-774. – EDN QYSPYA.
3. Малых Е. Б. Развитие возобновляемой энергетики в мире в контексте геоэкономических интересов России // Экономика и управление. – 2022. – Т. 28, № 3. – С. 255-266. – EDN CNUQNY.
4. Массель Л. В., Цыбиков А. Р., Щукин Н. И. Методы построения умных цифровых двойников для проектирования возобновляемых источников энергии // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2026. – № 1(41). – С. 43-58. – EDN RVHDUB.
5. Сергеева С. А. Особенности стимулирования рынка возобновляемой энергетики России и перспективы его развития // Экономика устойчивого развития. – 2024. – № 4(60). – С. 148-153. – EDN UVCNTF.
6. Al-Shetwi A. Q., et al. Digital Twin Technology for Renewable Energy, Smart Grids, Energy Storage and Vehicle-to-Grid Integration: Advancements, Applications, Key Players, Challenges and Future Perspectives in Modernising Sustainable Grids // IET Smart Grid. – 2025. – Vol. 8, No. 1. – Art. e70026.
7. Belik M., Rubanenko O. Implementation of Digital Twin for Increasing Efficiency of Renewable Energy Sources // Energies. – 2023. – Vol. 16, No. 12. – Art. 4787.
8. Igbokwe N. C., et al. The Role of Digital Twins in Optimizing Renewable Energy Utilization and Energy Efficiency in Manufacturing // Siber International Journal of Digital Business. – 2024. – Vol. 1, No. 4. – P. 93-111.
9. IRENA. Renewable Energy Statistics 2026. – Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, 2026. – ISBN 978-92-9260-758-6.
10. Kabir M. R., Halder D., Ray S. Digital Twins for IoT-Driven Energy Systems: A Survey // IEEE Access. – 2024. – Vol. 12. – P. 177123-177143.
11. Kim M., Ghobadi F., Tayerani Charmchi A. S., Lee M., Lee J. Digital Twins for Clean Energy Systems: A State-of-the-Art Review of Applications, Integrated Technologies, and Key Challenges // Sustainability. – 2026. – Vol. 18, No. 1. – Art. 43.
12. Sharma P., et al. Overview of Digital Twins in Renewable Energy // 2024 1st International Conference on Trends in Engineering Systems and Technologies (ICTEST). – IEEE, 2024. – P. 1-6.
13. Ugwu C. N., et al. Integration of AI-Driven Digital Twins for Real-Time Optimization of Renewable Energy Grids // Frontiers in Energy Research. – 2026. – Vol. 14. – Art. 1748233.
14. You M., et al. Digital Twins Based Day-Ahead Integrated Energy System Scheduling under Load and Renewable Energy Uncertainties // Applied Energy. – 2022. – Vol. 305. – Art. 117899.

References in Cyrillics

1. Gvozdyany S. E., Myaskov A. V. Rossiyskiy i zarubezhnyy opyt ispol'zovaniya tsifrovykh dvoynikov v energetike [Russian and Foreign Experience in the Use of Digital Twins in the Energy Sector] // Ekonomika promyshlennosti. – 2024. – T. 17, № 4. – S. 378–387. – EDN AWVRKB.

2. Kudryavtseva O. V., Vasiliev S. V., Zorina T. G. Effektivnost' realizatsii programmy podderzhki vozobnovlyaemoy energetiki (na primere solnechnoy energetiki) [Efficiency of the Implementation of the Renewable Energy Support Program (Using Solar Energy as an Example)] // Russian Journal of Economics and Law. – 2023. – T. 17, № 4. – S. 745–774. – EDN QYSPYA.
3. Malykh E. B. Razvitie vozobnovlyaemoy energetiki v mire v kontekste geoekonomicheskikh interesov Rossii [Development of Renewable Energy in the World in the Context of Russia's Geoeconomic Interests] // Ekonomika i upravlenie. – 2022. – T. 28, № 3. – S. 255–266. – EDN CNUQNY.
4. Massel L. V., Tsybikov A. R., Shchukin N. I. Metody postroeniya umnykh tsifrovykh dvoynikov dlya proektirovaniya vozobnovlyaemykh istochnikov energii [Methods for Constructing Smart Digital Twins for the Design of Renewable Energy Sources] // Informatsionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii. – 2026. – № 1(41). – S. 43–58. – EDN RVHDUB.
5. Sergeeva S. A. Osobennosti stimulirovaniya rynka vozobnovlyaemoy energetiki Rossii i perspektivy ego razvitiya [Features of Stimulating the Russian Renewable Energy Market and Prospects for Its Development] // Ekonomika ustoychivogo razvitiya. – 2024. – № 4(60). – S. 148–153. – EDN UVCNTF.

Ключевые слова

цифровой двойник, возобновляемая энергетика, искусственный интеллект, интеллектуальная цифровизация, прогнозная аналитика, интеллектуальные энергетические системы, архитектура цифрового двойника

Филькин Михаил Евгеньевич – кандидат экономических наук, ведущий научный сотрудник, ФГБУН Центральный экономико-математический институт РАН
ORCID 0000-0002-7378-1309
mfilkin@mail.ru

Filkin M. Intelligent digitalization of renewable energy facilities based on digital twin technology

Keywords

digital twin, renewable energy, artificial intelligence, intelligent digitalization, predictive analytics, intelligent energy systems, digital twin architecture

DOI: 10.34706/DE-2026-05-07

JEL: Q42, Q47

Abstract

The article explores the prospects for the digital transformation of renewable energy facilities based on digital twin technology. The architecture of digital twin technology is defined as a multi-level information and analytical system comprising the physical asset, digital sensing tools, data integration, digital modeling, intelligent analysis, and feedback. The main functions of a digital twin in the context of energy facility management are identified: technical condition monitoring, operational regime forecasting, predictive maintenance, operational optimization, and decision-making. It is shown how the combination of monitoring data, physical models, and intelligent analysis algorithms makes it possible to go beyond the current monitoring of parameters to forecasting equipment condition and assessing alternative operating scenarios. Particular attention is paid to the limitations of implementing digital twin technology associated with data quality and consistency, the integration of fragmented digital infrastructure, and cybersecurity. Directions for further development of the technology are identified, including the use of self-learning models, artificial intelligence, distributed computing, and the coordination of geographically distributed energy facilities. The possibility of using digital twin technology as a basis for smart lifecycle management of renewable energy facilities is concluded.

УДК 303.094.7; 621.039

1.8. Прототип агент-ориентированной модели Курской атомной электростанции с симуляцией возможных чрезвычайных происшествий во время ее эксплуатации

Черненко Д.В., Бартновский Н.А., ЦЭМИ РАН, Москва
Зорин М.Ю., Парагульгов С.М., ГБОУ г. Москвы «Школа на проспекте Вернадского», Москва

В статье рассмотрены современные тенденции развития мировой и российской атомной энергетики, проанализированы преимущества и недостатки использования ядерной энергии, а также отечественный и зарубежный опыт эксплуатации атомных электростанций. В качестве объекта исследования выбрана Курская АЭС, для которой проведен анализ возможных угроз безопасному функционированию, включая запроектные аварии, внешние воздействия и сценарии, аналогичные крупнейшим авариям в истории атомной энергетики. На основе проведенного анализа разработан прототип агент-ориентированной имитационной модели распространения радиоактивного загрязнения в 30-километровой зоне вокруг станции, реализованный в программной среде AnyLogic. Модель позволяет воспроизводить различные сценарии чрезвычайных происшествий и оценивать масштабы их последствий для населения и территории. В ходе вычислительных экспериментов были реализованы позитивный, случайный и негативный сценарии развития аварийной ситуации. Результаты моделирования показали, что при негативном сценарии в зону возможного радиоактивного загрязнения могут попасть до 13 населенных пунктов с общей численностью населения свыше 69 тыс. человек, тогда как при позитивном сценарии под угрозой оказываются только 3 населенных пункта с населением около 2 тыс. человек. Полученные результаты могут быть использованы при планировании мероприятий по обеспечению радиационной безопасности, подготовке планов эвакуации населения и совершенствовании систем реагирования на чрезвычайные ситуации на объектах атомной энергетики.

Введение

В настоящее время атомная энергетика играет значительную роль в мировом энергобалансе, насчитывая 440 энергоблоков на 192 АЭС в 31 стране[1] [2]. Особую актуальность этой отрасли придают серьезные последствия возможных аварий, ярким примером которых является катастрофа на Чернобыльской АЭС в 1986 году. Выброс радиоактивных веществ и массовая эвакуация населения наглядно демонстрируют, почему непрерывный анализ подобных происшествий критически важен для повышения безопасности объектов и разработки эффективных мер защиты.

Россия является одним из ключевых игроков в сфере ядерной энергетики. На 11 действующих атомных станциях страны работают 35 энергоблоков, которые производят около 19% всего электроэнергии, внося существенный вклад в национальный энергобаланс [3]. Развитие отрасли продолжается активными темпами: госкорпорация «Росатом» ведет строительство трех новых энергоблоков внутри страны и обладает масштабным портфелем из 39 зарубежных проектов в десяти государствах. Стратегическое развитие подтверждается и планами по переходу на замкнутую топливную систему к 2030 году.

На глобальной арене Россия уверенно удерживает лидирующие позиции, занимая четвертое место в мире по объему выработки электроэнергии на АЭС. При этом по количеству строящихся энергоблоков в развивающихся странах российская корпорация «Росатом» занимает вторую строчку в международном рейтинге. Это подчеркивает не только внутреннюю значимость атомной генерации для страны, но и ее мощный экспортный потенциал, а также признанные компетенции в сооружении и развитии ядерной инфраструктуры по всему миру.

Роль атомной энергетики в современном мире

В современном мире остро стоит вопрос о нехватке ископаемых ресурсов, ограниченными возможностями гидроэнергетики и жесткими экологическими нормативами по выбросам парниковых газов. В свете этих вызовов именно ядерная энергетика, как одна из самых динамичных отраслей, может стать одним из ключевых решений.

Ядерная энергетика – это отрасль, занимающаяся производством электрической и тепловой энер-

[1] Сколько атомных станций работает в мире и в России? [Электронный ресурс] // Машиностроительный дивизион «Росатома». – URL: https://rosatommd.ru/mediacenter/informatoriy/skolko-atomnyix-stanczij-rabotaet-v-mire-i-v-rossii.html (дата обращения: 25.09.2025).

[2] Атомная энергетика в мире [Электронный ресурс] // Машиностроительный дивизион «Росатома». – URL: https://rosatommd.ru/mediacenter/informatoriy/atomnaya-energetika-v-mire.html (дата обращения: 25.09.2025).

[3] Генерация электроэнергии [Электронный ресурс] // Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом». – URL: https://rosatom.ru/production/generation/ (дата обращения: 25.09.2025).

гии за счет расщепления ядер тяжелых элементов в реакторах. Прогнозируется, что мировое потребление энергии вырастет на четверть в ближайшие 25 лет, а основными потребителями станут развитые страны [4].

Первая в мире АЭС была построена в СССР, и это был огромный научный и инженерный проект, в котором участвовали сотни умнейших людей страны. Главным человеком был академик Игорь Васильевич Курчатов. Его называют «отцом» советского атомного проекта. Он был тем, кто взял на себя всю ответственность и убедил руководство страны, что атом можно использовать не только в военных целях, но и для мира – чтобы давать электричество для бытового пользования. Под его общим научным руководством и шли все работы. Но одной идеи было мало. Нужно было создать «сердце» станции – сам реактор. Эту сложнейшую инженерную задачу решил выдающийся конструктор Николай Антонович Доллежаль. Именно он создал проект первого в мире реактора (Атом Мирный-1) для АЭС, который мог безопасно и стабильно работать, и превращать атомную энергию в электрическую.

Станцию построили в городе Обнинске (Калужская область), и теперь она известна как Обнинская АЭС. 27 июня 1954 года ее реактор был запущен, и впервые в истории энергия расщепленного атома была подана в обычную электрическую сеть для освещения и питания домов. Это событие открыло всему миру дорогу к мирному атому.

С каждым годом, начиная с 1954, когда была построена первая АЭС в СССР, в мире увеличивается количество энергии, вырабатываемой с помощью ядерного топлива. Атомная энергетика в XXI веке играет главную роль в обеспечении человечества энергией. На действующих энергоблоках вырабатывается 9% [5] мирового электричества.

Как можем наблюдать на рисунке 1, с 2010 по 2025 год выработка электроэнергии с помощью «мирного» атома увеличилась с 2406 до 2850 ТВт*ч (тераватт-час), побив предыдущий исторический максимум (в 2006 г. – 2660 ТВт*ч) [6].

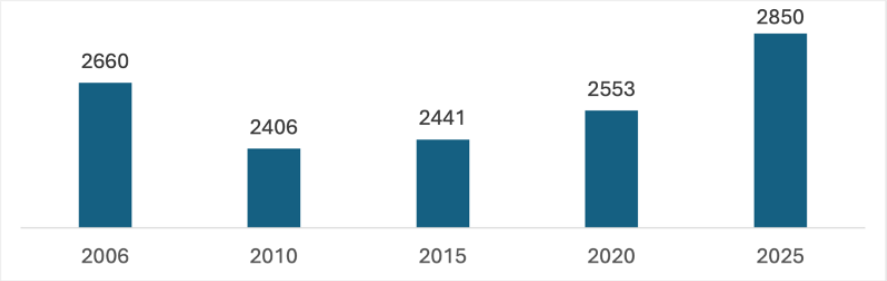


Рисунок 1. Динамика выработки электроэнергии на АЭС в мире за 2010-2024 гг., ТВт*ч

Источник – составлено на основе [7].

Ядерная энергетика в 2025 году остается ключевым элементом энергетической безопасности России, обеспечивая стабильную базовую нагрузку при росте потребления электроэнергии. АЭС произвели в 2025 году свыше 217 млрд кВт*ч электроэнергии [8], что составляет около 20% всей генерации страны с минимальными выбросами CO_2.

Использование атомных реакторов, в качестве альтернативного источника добычи энергии, имеет ряд преимуществ:

1. **Потребность в малом количестве топлива**. Для выработки энергии на АЭС нужно совсем небольшое по объему количество обогащенного урана [9]. В 2022 году для генерации 1000 МВт*час электроэнергии требовалось 517 кг каменного угля или 210 м^3 природного газа. В случае с атомной энергетикой для генерации того количества электроэнергии требуется около 3 кг обогащенного урана.

[4] Потребление энергии в мире к 2050 г вырастет на четверть за счет развивающихся стран – глава «Роснефти» [Электронный ресурс] // ПАО «НК «Роснефть». – URL: https://www.rosneft.ru/press/news/item/222339/ (дата обращения: 25.09.2025).

[5] Атомная генерация в 2023 году выработала 2600 ТВт-ч и составила 9% мирового производства электроэнергии [Электронный ресурс] // Научно-деловой портал «Атомная энергия 2.0». – URL: https://www.atomic-energy.ru/news/2024/08/28/148717 (дата обращения: 25.09.2025).

[6] The World Nuclear Industry Status Report 2010–2011 (HTML) [Электронный ресурс] // World Nuclear Industry Status Report. – URL: https://www.worldnuclearreport.org/The-World-Nuclear-Industry-Status-51 (дата обращения: 16.10.2025).

[7] World Nuclear Industry Status Report 2025 (HTML version) [Электронный ресурс] // World Nuclear Industry Status Report. – URL: https://www.worldnuclearreport.org/World-Nuclear-Industry-Status-Report-2025-HTML-version#_idTextAnchor025 (дата обращения: 30.11.2025).

[8] Производство электроэнергии АЭС РФ в 2025 году превысило 217 млрд кВт.ч [Электронный ресурс] // Энергетика и промышленность России. – URL: https://www.eprussia.ru/news/base/2026/7905864.htm (дата обращения: 08.02.2026).

[9] Алексей Лихачев: "Атомная энергетика не только зеленая, но и самая устойчивая в мире" [Электронный ресурс] // Отраслевое издание госкорпорации "Росатом" "Страна Росатом". – URL: https://strana-rosatom.ru/2024/10/13/aleksej-lihachev-atomnaya-energetika/#p2 (дата обращения: 15.11.2025).



Рисунок 2. Количество топлива необходимого для генерации 1000 МВт*ч электроэнергии

Источник – составлено на основе [10]



Рисунок 3. Выбросы углекислого газа по странам за 2015 и 2024 гг., CO_{2eq}

Источник – составлено на основе [11]

2. Возможность повторного использования топлива. Уран-235 выгорает не полностью и может быть регенерирован (в отличие от золы и шлаков органического топлива) [12].

3. Снижение выбросов парниковых газов [13]. Как можем наблюдать на рисунке 3, многие страны, активно использующие атомную энергию, сокращают количество выбросов CO_2.

4. Стимулирование научно-технического прогресса. Разработка современных реакторов (включая реакторы на быстрых нейтронах) и технологий замкнутого топливного цикла требует проведения фундаментальных и прикладных исследований в области материаловедения, физики, химии и кибернетики [14].

Но у атомной энергетики также есть ряд недостатков [15] [16]:

1. Проблема радиоактивных отходов. Отработанное ядерное топливо сохраняет радиоактивность и представляет опасность в течение длительных сроков.

2. Высокая стоимость строительства. Сооружение типичной АЭС стоит от 6 до 10 млрд долларов. Реализация проектов может длится 6-8 лет, а вывод из эксплуатации и демонтаж объекта часто стоят дороже и занимают более 50 лет.

3. Риск техногенных катастроф. Аварии могут привести к заражению территорий на десятилетия, требуя эвакуации населения и масштабной ликвидации последствий.

Мировой и отечественный опыт применения атомной энергетики

На 2026 год энергию, которая вырабатывается на АЭС, используют по всему миру. По суммарной чистой электрической мощности первое место занимает США, вырабатывая 96,952 МВт. Второе место занимает Франция (63 МВт), третье – Китай (58,056 МВт), а четвертое – Япония (31,679 МВт) [17].

США начали использовать ядерную энергию в мирных целях в 1958 году, запустив первую коммерческую АЭС мощностью 60 МВт в Пенсильвании. Китай приступил к этому позже – в 1991 году с пуском Циньшань-1 , хотя стратегическое решение о развитии программы было принято 15 января 1955 года КПК, а уже в апреле подписано соглашение с СССР о помощи в строительстве экспериментального реактора и циклотрона для исследований.

Этот путь Китая от первых шагов при поддержке СССР к самостоятельному лидерству напрямую связан с положением на рынке атомной энергетики в 2025 году, где он уверенно входит в число мировых лидеров наряду с США.

---

[10] How many pounds of uranium are needed to generated a MWh in a nuclear plant? [Электронный ресурс] // Freeing Energy. – URL: https://www.freeingenergy.com/math/nuclear-fuel-uranium-weight-pound-kwh-mwh-m125/ (дата обращения: 06.12.2025).

[11] GHG emissions of all world countries [Электронный ресурс] // European Commission. – URL: https://edgar.jrc.ec.europa.eu/report_2025#emissions_table (дата обращения: 06.12.2025).

[12] Росатом: технология замкнутого ядерно-топливного цикла готова к промышленной реализации [Электронный ресурс] // ТАСС. – URL: https://tass.ru/ekonomika/19191153 (дата обращения: 29.12.2025).

[13] Как мир борется с глобальным потеплением с помощью энергии мирного атома [Электронный ресурс] // ЛУЧ. – URL: https://goroda.media/kak-mir-boretsya-s-globalnym-potepleniem-s-pomoschyu-energii-mirnogo-atoma/ (дата обращения: 06.12.2025).

[14] Преимущества атомной энергетики [Электронный ресурс] // Русатом Оверсиз. – URL: https://rusatom-overseas.com/ru/nuclear-energy/benefits-of-nuclear-energy/ (дата обращения: 29.12.2025).

[15] Что такое АЭС: принцип работы, преимущества и недостатки [Электронный ресурс] // РБК. – URL: https://www.rbc.ru/base/28/05/2025/6835e58a9a7947ba339552a2 (дата обращения: 06.12.2025).

16 Аварии и инциденты на атомных электростанциях : учебное пособие / под общ. ред. С. П. Соловьева. – Обнинск : ИАТЭ, 1992. – 300 с. – URL: https://elib.biblioatom.ru/text/avarii-i-intsidenty-na-aes_1992/p1/ (дата обращения: 29.12.2025).

[17] Reactor Database [Электронный ресурс] // World Nuclear Association. – URL: https://world-nuclear.org/nuclear-reactor-database/summary (дата обращения: 15.01.2026).

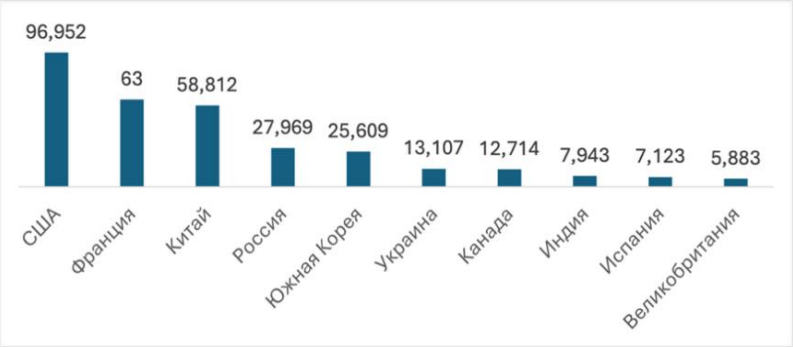


Рисунок 4. Суммарная чистая электрическая мощность по странам на 2026 год, МВт

Источник – составлено на основе [19]

В России, несмотря на катастрофу в Чернобыле и распад СССР, атомная отрасль получила мощный импульс для развития в начале 2000-х годов. Ключевой точкой стало решение Президента России Владимира Путина о создании в 2007 году госкорпорации «Росатом». Это был стратегический ход, позволивший собрать все звенья цепочки – от добычи урана до вывода объектов из эксплуатации [18].

За 7-8 лет (с 2018 года) российская атомная энергетика достигла значительного прогресса в экспорте. Если в середине 2010-х экспортная программа основывалась на реакторах ВВЭР-1000 советской разработки, то в 2026 году основным экспортным продуктом стал ВВЭР-1200 нового поколения, полностью разработанный российскими специалистами.

Параллельно развитию ВВЭР-1200 был совершен прорыв (в 2017 году) в создании атомных технологий малой мощности – реакторная установка РИТМ-200, созданная для новейших ледоколов проекта 22220 (серия «Арктика», «Сибирь», «Урал» и другие). Ее компоновка открыла дорогу не только для ледоколов, но и для плавучих АЭС, а также наземных станций малой мощности. В 2024 году этот успех был подкреплен первым в мире экспортным контрактом на строительство такой АЭС в Узбекистане.

На 2026 год Россия является одной из стран, которая активно возводит новые проекты атомной энергетики в различных странах – Турции, Беларуси, Египте, Индии, Венгрии, Китае и Бангладеш.

Хотя мировая практика демонстрирует высокую надежность атомной энергетики с минимальным числом серьезных инцидентов, анализ последствий аварий на АЭС, таких как Чернобыль и Фукусима, подчеркивает необходимость строгих мер безопасности для будущего развития отрасли.

Анализ гипотетических угроз на Курской АЭС

Объектом исследования была выбрана Курская АЭС, запущенная в эксплуатацию в 1976 году и состоящая из 4 блоков типа РБМК-1000 [20]. Станция является основным энергетическим источником Черноземья, обеспечивая более 50% выработки электроэнергии региона. В числе ключевых потребителей – ведущие предприятия Курской области, такие как горно-обогатительные комбинаты Оскольский и Михайловский в районе Курской магнитной аномалии, а также другие крупные заводы и фабрики региона [21]. Установленная мощность Курской АЭС составляла 4000 МВт (по 1000 МВт на каждый блок).

В период с 1994 по 2009 годы на Курской АЭС была проведена модернизация всех четырех энергоблоков. В рамках модернизации была полностью заменена система контроля и управления реакторной установкой, модернизированы системы аварийного охлаждения реактора, информационного обеспечения и надежного технического водоснабжения. После аварии на АЭС «Фукусима-1» в 2011 году был проведен дополнительный анализ устойчивости станции, который подтвердил эффективность выполненных модернизационных работ [22]. Энергоблок №1 и №2 был остановлен 19 декабря 2021 года и 31 января 2024 года соответственно в связи с окончанием их проектного срока службы (45 лет).

В связи с высокой потенциальной опасностью объектов ядерной энергетики особое значение имеет анализ возможных угроз их безопасному функционированию.

Запроектные аварии, связанные с повреждением активной зоны реактора, подразумевают сочетание нескольких неблагоприятных факторов, включая отказ системы охлаждения, потерю теплоносителя и неработоспособность иных элементов системы безопасности (Букринский, 2010).

Второй группой угроз можно назвать внешние воздействия на энергоблок и объекты инфраструктуры станции. К ним относятся природные катастрофы, техногенные аварии соседних объектов и прочие

[18] Эволюция безопасности отечественных АЭС от Чернобыля до наших дней [Электронный ресурс] // Отраслевое издание госкорпорации «Росатом» «Страна Росатом». – URL: https://strana-rosatom.ru/2021/04/26/evoljuciya-bezopasnosti-otechestvennyh/ (дата обращения: 15.01.2026).

[19] In Operation & Suspended Operation [Электронный ресурс] // IAEA Power Reactor Information System (PRIS). – URL: https://pris.iaea.org/pris/worldstatistics/operationalreactorsbycountry.aspx (дата обращения: 09.06.2026).

[20] Люди, годы, киловатты: 45 лет назад заработал первый блок Курской АЭС [Электронный ресурс] // Отраслевое издание госкорпорации «Росатом» «Страна Росатом». – URL: https://strana-rosatom.ru/2021/12/19/ljudi-gody-kilovatty-45-let-nazad-zarabo/ (дата обращения: 15.01.2026).

[21] Росатом намерен в 2026 году ввести Курскую АЭС-2 в промышленную эксплуатацию [Электронный ресурс] // ТАСС. – URL: https://tass.ru/ekonomika/26206939 (дата обращения: 25.01.2026).

[22] Курская АЭС [Электронный ресурс] // Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом». – URL: https://www.biblioatom.ru/core-systems/nuclear-power-plants/kurskaya-aes (дата обращения: 15.01.2026).

чрезвычайные происшествия. Курская АЭС оснащена энергоблоками РБМК-1000, которые не имеют толстой железобетонной оболочки (контейнмента), предназначенной для удержания пара внутри помещения реактора в случае его разгерметизации. Отсутствие такой конструкции повышает уязвимость АЭС к внешним воздействиям [23].

К третьей группе угроз можно отнести повторение уже произошедших, на других АЭС, аварий. Поскольку на Курской АЭС действуют реакторы типа РБМК-100, которые действовали и на Чернобыльском объекте, возникают опасения о возникновении похожего сценария [24]. Следует учитывать, что после трагедии 26 апреля 1986 года, конструкция реактора была существенно модернизирована, а некоторые энергоблоки и вовсе выведены из эксплуатации в связи с окончанием их срока службы. Также не исключают возможность возникновения «station blackout» – полную потерю внешнего электроснабжения станции, как это было на «Фукусима-1».

Структура и программное исполнение модели

Цель моделирования – наглядно воспроизвести распространение радиационного облака после аварии на Курской АЭС в пределах контрольной зоны радиусом 30 км и оценить число затронутых населенных пунктов и населения по зонам 0-15 км и 15-30 км для выбранного сценария.

Модель реализована в программном обеспечении AnyLogic с помощью агент-ориентированного подхода. Ключевые элементы представлены отдельными агентами: станция как источник, облако как носитель загрязнения, населенные пункты как объекты воздействия.

В качестве пространства моделирования используется карта Курчатовского района, где расположена Курская АЭС и прилегающих территорий. На карте отображаются контрольные окружности R15 и R30, соответствующие зонам 0-15 км и 15-30 км от станции.

В ходе исследования была создана блок-схема модели, которая описывает ее работу. Выделим основные этапы работы модели (рис. 5):

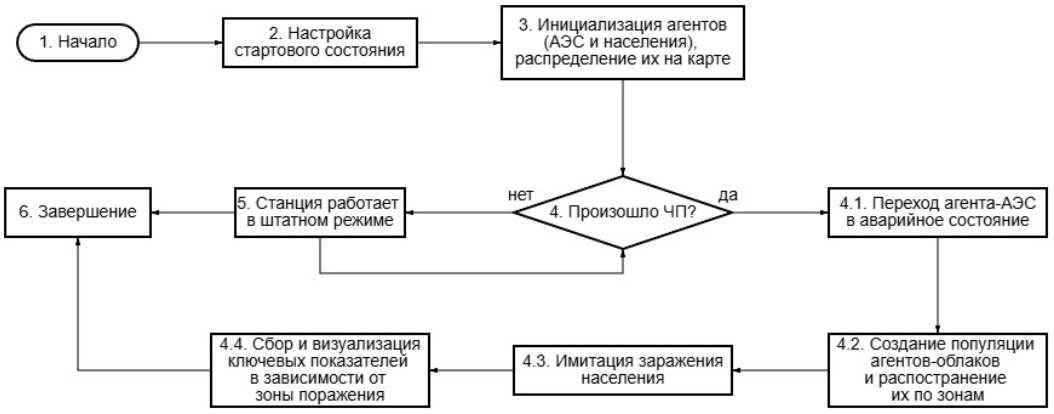


Рисунок 5. Блок-схема алгоритма работы модели.

Источник – составлено авторами.

На **этапе 3** происходит инициализация агентов и распределение их по карте. **Этап 4** подразумевает два состояния агента-АЭС: штатный (**этап 5**) или аварийный режим (**этап 4.1**). **Этап 4.2** означает создание популяции агентов-облаков, которые впоследствии распространяются по зонам 15 и 30 км с последующей имитацией заражения населения (**этап 4.3**). На **этапе 4.4** происходит сбор и вывод информации на экран.

В рамках модели приняты следующие ограничения и допущения:

- население рассматривается как стационарное (перемещение и эвакуация не учитываются);
- заражение фиксируется по факту попадания пункта в область воздействия облака;
- используется разделение территории на зоны 0-15 км и 15-30 км, а также суммарная зона 0-30 км;
- не учитываются распад изотопов, дозовая нагрузка и время воздействия (модель предназначена для сравнительной оценки сценариев).

Для имитации процесса распространения радиационного облака были созданы несколько типов агентов при помощи программной среды AnyLogic на языке Java. Рассмотрим ключевые элементы модели, взаимодействующие между собой и с окружающим пространством:

1. *Агент Main*. Агент Main является агентом верхнего уровня, где расположены иные объекты и

[23] «Повторение Чернобыльского сценария на Курской АЭС невозможно» [Электронный ресурс] // Коммерсантъ. – URL: https://www.kommersant.ru/doc/6890609 (дата обращения: 16.01.2026).

[24] Авария на Курской АЭС – предвестник нового Чернобыля? [Электронный ресурс] // BELLONA. – URL: https://ru.bellona.org/2010/08/26/avariya-na-kurskoj-aes-predvestnik-n/ (дата обращения: 15.01.2026).

популяции агентов: изображение карты Курчатовского района и прилегающих территорий, зоны поражения 15 и 30 км, популяции агентов-людей, агентов-облаков и другие элементы (рис. 6).

Во время моделирования пользователь выбирает один из выбираемых сценариев (RANDOM, NEGATIVE, POSITIVE), после чего вызывается функция «applyScenario()», которая устанавливает параметры «scenWindSpeed», «scenWindDirIndex», «scenReleasePower», «scenCloudN» и «scenCloudStartRadius».

Воспроизведение чрезвычайного происшествия выполняется через функцию «startAccident()»: агент-станция переходит в аварийный режим и в точке KURSKAES создается популяция clouds. Каждый агент Cloud перемещается по карте в случайном направлении ветра и увеличивает радиус во время движения.

На каждом шаге моделирования выполняется пересчет функции заражения «recalcInfection()»: для всех агента People проверяется попадание в радиус хотя бы одного агента Cloud, после чего обновляются переменные «infected15», «infected30», «infectedAll» и переменные зараженного населения «infectedPeople15», «infectedPeople30», «infectedPeopleAll». По завершении прогона итоговые значения фиксируются в «totalRandom», «totalNegative» и «totalPositive» после чего сохраняются в соответствующих переменных для дальнейшей визуализации.



RANDOM NEGATIVE POSITIVE

BACK

Под угрозой сельсоветов и городов в 0-15 км: 0
Под угрозой сельсоветов и городов в 15-30 км: 0
Всего заражено сельсоветов и городов: 0

Людей под угрозой в 0–15 км: 0
Людей под угрозой в 15–30 км: 0
Всего людей под угрозой: 0

Рисунок 6. Рабочее окно агента Main

Источник – составлено авторами.

2. *Агент KURSKAES* задает положение станции на карте и служит опорной точкой для расчетов расстояний до облаков и отнесения населенных пунктов к зонам R15 и R30. Во время запуска модели на уровне агента-станции параметр «parameter» становится равен 1 и совершается переход от состояния NORMAL к EMERGENCY (рис. 7).

3. Агент Cloud (популяция clouds) моделирует радиационное облако как движущийся источник воздействия с радиусом. Популяция clouds создается в точке KURSKAES при запуске аварийного сценария.

На каждом шаге моделирования выполняется перемещение облака, скорость которого задается переменной «scenWindSpeed», а направление – «scenWindDirIndex» с шагом 45 градусов. Вместе с этим рассчитываются проекции скорости и обновляются координаты «setXY(getX() + vx, getY() + vy». Радиус воздействия хранится в переменной «radius (double)» и может изменяться во времени, что описывает расширение и рассеивание облака.

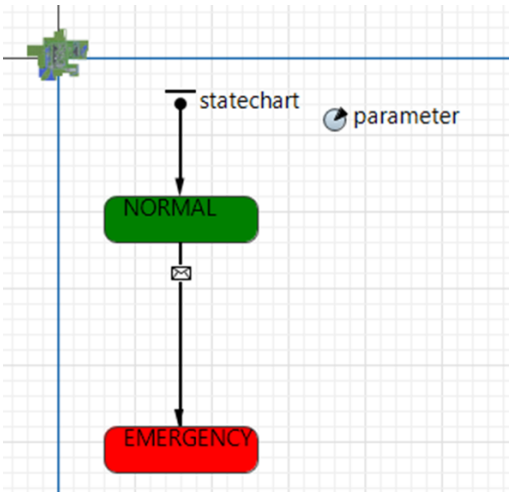


Рисунок 7. Структура агента KURSRAES

Источник – составлено авторами.

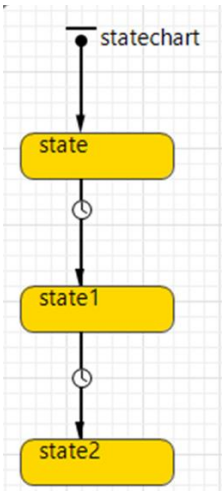


Рисунок 8. Диаграмма состояния агента *Cloud*

Источник – составлено авторами

Диаграмма состояний (рис. 8) задает последовательность фаз поведения облака: создание и начальная инициализация, перенос облака ветром, а также изменение радиуса воздействия. Переходы между состояниями выполняются по таймаутам, что позволяет моделировать движение облака во времени.

4. Агент People представляет собой населенные пункты и сельсоветы на карте и хранит данные, необходимые для расчета заражения и формирования статистики (таблица 1).

Таблица 1. Численность населения городов и сельских поселений в Курчатовском районе

Наименование	Численность населения
г Курчатов	38543
г Льгов	16554
Соломин	упразднено
ПТ Прямицыно	5145
Сельское поселение Костельцевский сельсовет	599
Сельское поселение Малогородковский сельсовет	436
Сельское поселение Иванчиковский сельсовет	955
Сельское поселение Городенский сельсовет	1193
Сельское поселение Макаровский сельсовет	870
Сельское поселение Чаплинский сельсовет	993
Сельское поселение Большеугонский сельсовет	1959
Сельское поселение Дичнянский сельсовет	2811
Сельское поселение Катыринский сельсовет	1652
Сельское поселение Колпаковский сельсовет	735
Сельское поселение Любимовский сельсовет	1672
Сельское поселение Волоконский сельсовет	1022
Сельское поселение Дьяконовский сельсовет	4945

Источник – составлено авторами на основе [25]

Симуляция в модели завершается при условии, когда агент Cloud достигает конечной точки своего пути или когда пользователь нажимает кнопку «BACK».

Результаты моделирования

Для сравнительной оценки последствий чрезвычайного происшествия реализованы три сценария: RANDOM, NEGATIVE и POSITIVE. Каждый сценарий задает набор параметров выброса, после чего моделирование выполняется до завершения симуляции.

Результаты фиксируются по двум показателям: число зараженных населенных пунктов (н. п.) и сельсоветов, а также число зараженного населения в зоне 0-15 км, 15-30 км и суммарно в пределах 0-30 км.

При моделировании любого из сценариев на информационном табло появляется информация о количестве н. п. и сельсоветов, а также людей, которые находятся под угрозой. На график (рис. 9) выводится визуализация численности населения, находящиеся в опасной ситуации.

[25] Численность постоянного населения Российской Федерации по муниципальным образованиям на 1 января 2025 года [Электронный ресурс] // Федеральная служба государственной статистики (Росстат). – URL: https://www.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Chisl_MO_01-01-2025.xlsx (дата обращения: 16.01.2026).

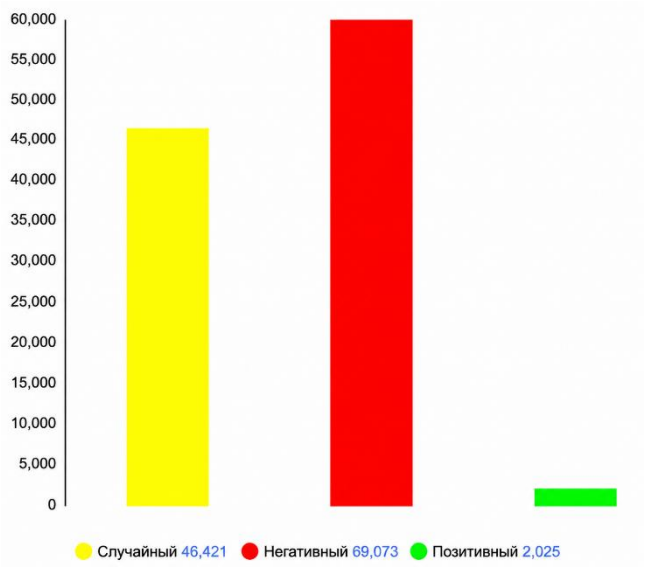


Рисунок 8. Диаграмма состояния агента Cloud

Источник – составлено авторами

Негативный (NEGATIV) сценарий предполагает выход из рабочего состояния реактора РБМК-1000 из-за высокой нагрузки, вследствие чего происходит сбой в системе управления и системе охлаждения реактора.

Позитивный (POSITIVE) сценарий подразумевает, что возникшее чрезвычайное происшествие вызвано человеческим фактором, но находится под контролем. Системы охлаждения и управления реакторами стабилизируют возможную утечку радиации и снижают ее распространение.

Сценарий RANDOM представляет непредсказуемое развитие событий и во время сценарных экспериментов может показывать значения как выше негативного сценария, так и ниже позитивного. Эта особенность делает его полезным в отработке мер по ликвидации возможных чрезвычайных происшествий, предлагая вариативность предположительных угроз. Сводные результаты сценарных экспериментов представлены в таблице 2.

Таблица 2. Сводные результаты по трем сценариям

Сценарий	Пункты 0-15	Пункты 15-30	Пункты 0-30	Люди 0 -15	Люди 15 -30	Люди 0 - 30
RANDOM	9	1	10	45466	955	46421
NEGATIVE	8	5	13	45466	23607	69073
POSITIVE	3	0	3	2025	0	2025

Источник – составлено авторами.

Дальнейшее улучшение модели связано с внедрением более детализированных погодных условий, добавлением новых возможных неисправностей в системе обслуживания Курской АЭС, а также добавление процессов эвакуации и перемещения населения.

Заключение

В рамках проведенного междисциплинарного исследования учеников экономического и инженерного направлений «Школы на проспекте Вернадского» при кураторстве молодых ученых ЦЭМИ РАН были проанализированы мировые тенденции развития ядерной энергетики. К 2025 году отрасль достигла нового исторического максимума: выработка электроэнергии на атомных станциях устойчиво растет, и ведущие позиции по суммарной чистой электрической мощности уверенно удерживают США, Франция, Китай и Россия. Однако использование «мирного» атома представляет собой баланс между преимуществами и серьезными рисками. С одной стороны, это малый объем топлива, низкие выбросы CO_2 и возможность регенерации урана, а с другой – проблема радиоактивных отходов, высокая стоимость строительства и сохраняющаяся угроза техногенных катастроф, о чем свидетельствуют трагедии в Чернобыле и Фукусиме. Применительно к Курской АЭС, рассмотрение ее устройства позволило выделить три ключевые группы угроз: запроектные повреждения активной зоны, внешние воздействия (отсутствие защитной оболочки делает станцию более уязвимой), а также возможность повторения уже случившихся сценариев, вплоть до полного обесточивания станции.

На основе проведенного анализа был разработан прототип агент-ориентированной имитационной модели распространения радиоактивного загрязнения при гипотетической аварии на Курской АЭС. Модель, реализованная в программном обеспечении AnyLogic, позволяет в наглядной форме оценить пространственные масштабы заражения в 30-километровой зоне, а также количество попадающих под воздействие населенных пунктов и численность населения для трех сценариев (позитивный, случайный, негативный).

Вычислительные эксперименты показали, что даже при управляемом аварийном выбросе (позитивный сценарий) возможно заражение трех ближайших населенных пунктов с общим числом жителей около 2 тыс. человек. При тяжелой запроектной аварии (негативный сценарий) зона поражения расширяется до 15-30 км, охватывая до 13 населенных пунктов, а число потенциально пострадавших достигает 69 тыс. человек. Сценарий со случайными параметрами (RANDOM) демонстрирует широкий диапазон последствий, что подчеркивает важность учета неопределенности при планировании мер защиты.

Полученные результаты подтверждают, что даже после модернизации реакторы РБМК-1000 сохраняют уязвимости, и любое чрезвычайное происшествие на Курской АЭС может привести к серьезным

последствиям для населения Черноземья. Разработанная модель может использоваться органами гражданской обороны, эксплуатирующей организацией (Концерн Росэнергоатом) и учебными заведениями для отработки сценариев реагирования, оптимизации планов эвакуации и повышения готовности к радиационным авариям.

Дальнейшее совершенствование модели предполагает учет реальных розы ветров, рельефа местности, процессов эвакуации, а также интеграцию с подсистемой расчета индивидуальных доз облучения. Расширение базы сценариев (включая отказ систем аварийного охлаждения, потерю внешнего энергоснабжения) позволит повысить достоверность прогнозов и выработать более эффективные меры по снижению рисков.

Дополнительная информация

Статья подготовлена в рамках Государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, тема «Программно-аналитические комплексы для повышения эффективности принимаемых управленческих решений в Российской Федерации» № FMGF-2025-0001, № ЕГИСУ НИОКТР 125031003392-3

Список литературы:

1. Атомные электростанции России [Электронный ресурс] // АО «Концерн Росэнергоатом». – URL: https://www.rosenergoatom.ru/stations_projects/atomnye-elektrostantsii-rossii/ (дата обращения: 25.09.2025).
2. Букринский, А. М. Управление запроектными авариями в действующих нормативных документах России / А. М. Букринский // Ядерная и радиационная безопасность. – 2010. – № 1(55). – С. 16-24. – EDN GPSHUD.
3. Генплан действий: утверждена схема размещения объектов электроэнергетики в РФ [Электронный ресурс] // Отраслевое издание госкорпорации «Росатом» «Страна Росатом». – URL: https://strana-rosatom.ru/2025/01/13/genplan-dejstvij-utverzhdena-shema-ra/ (дата обращения: 08.11.2025).
4. Китайский атомный путь: что успела страна за 70 лет [Электронный ресурс] // Отраслевое издание госкорпорации «Росатом» «Страна Росатом». – URL: https://strana-rosatom.ru/2025/12/25/kitajskij-atomnyj-put-chto-uspela-str/ (дата обращения: 15.01.2026).
5. Курчатов Игорь Васильевич [Электронный ресурс] // Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом». – URL: https://www.biblioatom.ru/persons/kurchatov_igor_vasilevich/ (дата обращения: 16.10.2025).
6. Обнинская АЭС [Электронный ресурс] // Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом». – URL: https://www.biblioatom.ru/core-systems/nuclear-power-plants/obninskaya-aes/ (дата обращения: 16.10.2025).
7. Первый энергоблок ВВЭР-1200 АЭС «Аккую» в Турции готов на 95% и начнет работу в 2026 году [Электронный ресурс] // Научно-деловой портал «Атомная энергия 2.0». – URL: https://www.atomic-energy.ru/news/2026/01/16/162609 (дата обращения: 16.01.2026).
8. РИТМ-200 [Электронный ресурс] // Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом». – URL: https://www.biblioatom.ru/core-systems/nuclear-reactors/ritm-200/ (дата обращения: 15.01.2026).

References in Cyrillics

1. Atomnye elektrostancii Rossii [Elektronnyj resurs] // AO «Koncern Rosenergoatom». – URL: https://www.rosenergoatom.ru/stations_projects/atomnye-elektrostantsii-rossii/ (data obrashcheniya: 25.09.2025).
2. Bukrinskij, A. M. Upravlenie zaproektnymi avariyami v dejstvuyushchih normativnyh dokumentah Rossii / A. M. Bukrinskij // YAdernaya i radiacionnaya bezopasnost'. – 2010. – № 1(55). – S. 16-24. – EDN GPSHUD.
3. Genplan dejstvij: utverzhdena skhema razmeshcheniya ob"ektov elektroenergetiki v RF [Elektronnyj resurs] // Otraslevoe izdanie goskorporacii «Rosatom» «Strana Rosatom». – URL: https://strana-rosatom.ru/2025/01/13/genplan-dejstvij-utverzhdena-shema-ra/ (data obrashcheniya: 08.11.2025).
4. Kitajskij atomnyj put': chto uspela strana za 70 let [Elektronnyj resurs] // Otraslevoe izdanie goskorporacii «Rosatom» «Strana Rosatom». – URL: https://strana-rosatom.ru/2025/12/25/kitajskij-atomnyj-put-chto-uspela-str/ (data obrashcheniya: 15.01.2026).
5. Kurchatov Igor' Vasil'evich [Elektronnyj resurs] // Gosudarstvennaya korporaciya po atomnoj energii «Rosatom». – URL: https://www.biblioatom.ru/persons/kurchatov_igor_vasilevich/ (data obrashcheniya: 16.10.2025).
6. Obninskaya AES [Elektronnyj resurs] // Gosudarstvennaya korporaciya po atomnoj energii «Rosatom». – URL: https://www.biblioatom.ru/core-systems/nuclear-power-plants/obninskaya-aes/ (data obra-shcheniya: 16.10.2025).
7. Pervyj energoblok VVER-1200 AES «Akkuyu» v Turcii gotov na 95% i nachnet rabotu v 2026 godu [Elektronnyj resurs] // Nauchno-delovoj portal «Atomnaya energiya 2.0». – URL: https://www.atomic-energy.ru/news/2026/01/16/162609 (data obrashcheniya: 16.01.2026).

8. RITM-200 [Elektronnyj resurs] // Gosudarstvennaya korporaciya po atomnoj energii «Rosatom». – URL: https://www.biblioatom.ru/core-systems/nuclear-reactors/ritm-200/ (data obrashcheniya: 15.01.2026).

Ключевые слова
Атомная энергетика, Курская АЭС, имитационное моделирование, агент-ориентированное моделирование, радиационная безопасность, AnyLogic, РБМК-1000.

Черненко Дмитрий Витальевич – младший научный сотрудник, ЦЭМИ РАН
melon20042@gmail.com
ORCID 0009-0008-4944-9876

Бартновский Никита Алексеевич - старший лаборант, ЦЭМИ РАН,
nbartnovskii@gaugn.ru

Зорин Матвей Юрьевич – ученик 10 класса, ГБОУ г. Москвы «Школа на проспекте Вернадского»
matveyzorin86@gmail.com

Парагульгов Саид Муслимович – ученик 10 класса, ГБОУ г. Москвы «Школа на проспекте Вернадского»
saidparag21@gmail.com

Dmitry Chernenko, Matvey Zorin, Said Paragulgov. Prototype of an agent-based model of the Kursk nuclear power plant with simulation of possible emergencies during its operation

Keywords
Nuclear power, Kursk NPP, simulation modeling, agent-based modeling, radiation safety, AnyLogic, RBMK-1000.
DOI: 10.34706/DE-2026-05-08
JEL: L86

Abstract
This article examines current trends in the development of global and Russian nuclear energy, analyzing the advantages and disadvantages of nuclear energy, as well as domestic and international experience in operating nuclear power plants. The Kursk Nuclear Power Plant (NPP) was chosen as the object of study, for which an analysis of potential threats to safe operation was conducted, including beyond-design-basis accidents, external impacts, and scenarios similar to the largest accidents in the history of nuclear energy. Based on this analysis, a prototype agent-based simulation model for the spread of radioactive contamination within a 30-kilometer zone around the plant was developed, implemented in the AnyLogic software environment. The model allows for the simulation of various emergency scenarios and the assessment of the scale of their consequences for the population and the surrounding area. Computational experiments were conducted that included positive, random, and negative scenarios for the development of an emergency. Modeling results showed that, under a negative scenario, up to 13 settlements with a total population of over 69,000 people could be in the zone of potential radioactive contamination, while under a positive scenario, only three settlements with a population of approximately 2,000 people are at risk. These results can be used in planning radiation safety measures, preparing evacuation plans, and improving emergency response systems at nuclear power facilities.

УДК 658.5:004

1.9. Развитие российских моделей управления ИТ-инфраструктурой промышленного масштаба с использованием инструментария ИТ-аутсорсинга в условиях санкционных ограничений

Андреев Н.С., Череповецкий государственный университет, Череповец, Россия

В условиях развития цифровизации, фрагментации геополитического пространства и глобальной конкуренции за технологическое лидерство развитие ИТ-инфраструктуры и эффективное управление ей являются актуальными задачами, особенно когда лидеры мирового рынка ограничили российским компаний доступы к своим важнейшим практикам и библиотекам.

Российские вендоры, с одной стороны, успели накопить значительный опыт сотрудничества с лидерами отрасли, а с другой – активно развивают собственные технологии. Так они реализуют возможности, предоставленные им государством через требования о миграции на российские решения и значительные субсидии на развитие.

Однако гораздо более длительный опыт технологического развития и коммерческой деятельности западных вендоров, а также их тесные связи с крупнейшими производителями и потребителями цифровых технологий и ИТ-решений позволяют им диктовать условия конкурентам, которые по соображениям технологического суверенитета и национальной безопасности часто не могут быть приняты. В связи с этим требуется по-новому взглянуть на традиционные решения, которые могут быть значительно усовершенствованы и адаптированы под актуальные условия рынка.

Одним из таких решений мы считаем развитие ИТ-инфраструктуры до состояния экосистемы и ее управления на отраслевом уровне по экосистемной архитектуре. Технологические и организационные возможности ИТ-аутсорсинга окажут этому процессу значительную поддержку, служа связующим звеном между разработчиками, вендорами и заказчиками.

Развитие же собственных продуктов значительным образом повысит конкурентоспособность и российского рынка, и российских вендоров, что будет необходимо в условиях глобальной конкуренции, когда санкционный режим станет уходить в прошлое.

Введение

Динамика развития российского ИТ-рынка условно характеризуется двумя большими этапами. Первый из них – 2022-2023 гг., когда после ухода зарубежных ИТ-вендоров многие российские компании заняли выжидательную позицию, что вполне обосновано, ведь технический и технологический переход на российские решения был связан с рядом значительных рисков, а также с необходимостью реализации дополнительных инвестиционных программ, что в условиях экономической нестабильности может сказаться на финансовой устойчивости негативно. Второй период 2024-2025 гг. характеризовался осознанием неопределенного характера санкционного режима, а также активной государственной политикой в области регулирования ИТ-рынка в той его части, которая должна быть исключительно российского производства. В связи с этим процесс импортозамещения, который стартовал ранее, получил значительный импульс к развитию и интенсификации.

К числу цифровых решений, которые обязательно должны быть российскими, относятся и важные модели управления ИТ-инфраструктурой. Их системный характер обусловлен в первую очередь глобальными процессами в области цифровизации и цифровой трансформации мировой экономики. В этих условиях только внедрения современных цифровых технологий и аппаратных решений на их базе уже недостаточно, ведь цифровой сетью и всей динамично развивающейся ИТ-инфраструктурой необходимо эффективно управлять. Даже внедрение лучших технологий без их координации, управления и контроля приведет лишь к фрагментации цифрового поля, защитить которое от различных угроз будет значительно сложнее, а в некоторых случаях и невозможно. В этом случае ожидать становления национального технологического суверенитета не приходится, а вероятность ущерба промышленной самостоятельности и национальной безопасности возрастает. Таким образом, актуальность темы исследования касается, с одной стороны, становления и развития российских моделей управления ИТ-инфраструктурой в отсутствие доступа к лучшим зарубежным практикам. С другой стороны, актуальность связана с возможностями для становления и развития таких моделей на базе эффективного инструментария ИТ-аутсорсинга, и она будет только возрастать, особенно в контексте непрерывной высокой динамики цифровизации.

В условиях актуальности темы исследования его целью является анализ возможностей развития ИТ-рынка на базе потенциального фактора конкурентоспособности, выраженного через синергетический

эффект от обоюдной интеграции российских цифровых решений в области моделей управления ИТ-инфраструктуры и инструментария ИТ-аутсорсинга.

Для достижения цели исследования предполагается решение следующих задач:

- Анализ теоретического аспекта моделей управления ИТ-инфраструктур и российского опыта их использования.
- Определение технологической структуры таких моделей и ключевых преимуществ зарубежных решений.
- Обзор российских решений в области моделей управления ИТ-инфраструктурой.
- Систематизация возможностей совместного развития российских моделей управления ИТ-инфраструктурой на базе инструментария ИТ-аутсорсинга и потенциальных конкурентных преимуществ в итоге.

Тогда объектом исследования выступает российский ИТ-рынок, а предметом исследования – конкурентоспособность российских решений в области моделей управления ИТ-инфраструктурой.

Теоретическая значимость связана с возможностями использования результатов исследования для рассмотрения цифровых технологий, моделей управления ИТ-инфраструктурой и цифровыми возможностями ИТ-аутсорсинга в более широком смысле; с перспективой построения полноценной модели развития ИТ-индустрии в России на базе экосистемных архитектур. Обоюдная интеграция и взаимное развитие моделей управления ИТ-инфраструктурой на базе цифровых возможностей ИТ-аутсорсинга, станет первым элементом этой перспективной новой отрасли архитектуры.

Практическая применимость состоит в анализе и систематизации лучших практик западных ИТ-вендоров в области развития и распространения собственных моделей управления ИТ-инфраструктурой. Эти знания и соответствующая трансформация для российских условий будут способствовать сохранению и развитию конкурентоспособности российского ИТ-рынка, национального технологического суверенитета и национальной безопасности.

Раздел 1. Теоретический аспект моделей управления ИТ-инфраструктурой

IT Service Management (ITSM) – достаточно емкая категория, которая может быть определена поразному. Наиболее простой и понятной дефиницией, по нашему мнению, является формулировка, когда ITSM признается подходом к управлению ИТ-услугами, ориентированным на потребности Заказчика. Заказчиком может являться как IT-специалист, так и внешний представитель корпоративной среды (государственной или частной). Такой подход включает в себя уже достаточно широкий набор различных и профильных практик, процессов и инструментов для планирования, разработки, представления и развития ИТ-сервисов как в запланированном, так и в текущем формате. Ключевым в данном определении является то, что любая деятельность в ИТ-сфере рассматривается как услуга, цель которой – решение задачи Заказчика максимально удобным и понятным (за исключением технических аспектов) ему способом.

В отличие от традиционного ресурсного подхода, где акцент делался на людях, оборудовании и времени, сервисный подход ITSM фокусируется на конечной ценности для Заказчика. Это значит, что деятельность в области ИТ-услуг трансформируется из сугубо специфической работы, понятной лишь ИТ-специалисту, производящему ее, в рыночный продукт для конечного потребителя, а значит и в ИТ-сфере работает ключевой рыночный фактор – конкуренция.

С одной стороны, Заказчик все более свободен от одного конкретного исполнителя, с другой стороны, сам Исполнитель может наращивать свою конкурентоспособность различными доступными способами. Одним из ключевых способов наращивания конкурентоспособности является переход от фрагментарного и реакционного формата работы ИТ-службы (когда услуга оказывается по факту ее возникновения, что влечет множество хаотичных процессов во взаимодействии и взаимопонимании) к проактивному формату, когда ИТ-служба создает супер-услугу, реализация которой происходит непрерывно.

К примеру, ранее новому сотруднику для подключения принтера требовалось узнать у коллег, с кем связаться в ИТ-службе, потом объяснить сотруднику, что он новичок, которому требуется принтер, а сотруднику ИТ-службы нужно было выяснить, в каком кабинете находится отправитель заявки, а также согласована ли она с руководителем структурного подразделения. На это уходило много времени и сил, и допускалось множество неточностей, которые потом требовалось переделывать, перенастраивать, переустанавливать. Практики ITSM в рамках создания супер-услуги позволили прийти к новому формату взаимодействия, когда сотрудник оформляет соответствующего содержания заявку в системе (к примеру Naumen). Эта заявка автоматически проходит все необходимые согласования, после чего приходит в ИТ-службу к определенному сотруднику, который понимает, что конкретно, где и в какие сроки необходимо сделать. По итогу оказания услуги, заявка автоматически закрывается, а новая информация дополняет ретроспективную базу для анализа KPI ИТ-службы. Формат супер-услуги состоит в том, что ИТ-служба оказывает не разовые и фрагментарные услуги, а полный комплекс обслуживания в рамках определенной области. К примеру, речь идет не настройке офисного оборудования, а о сопровождении всего комплекса работ в части документооборота. Как бы упрощенно ни выглядел приведенный пример, в корпоративной среде он актуален и в настоящее время.

Структура ITSM является сравнительно простой, но это не отражает ее слабость или незрелость, а

напротив, в парадигме перехода от строго технического характера ИТ-сферы к ее кастомизированной форме определяет ее эффективность. Именно в таком случае Заказчику проще понимать, из чего состоит супер-услуга, необходимая именно ему. ITSM базируется на собственном системном инструменте – ITIL (IT Infrastructure Library), который представляет собой библиотеку лучших практик, накопленных к соответствующему периоду ее развития.

- ITIL, версия 2001 г. Акцент на процессах как на базе управления. Основные процессы разделены: Инцидент-менеджмент, Проблем-менеджмент, Изменение-менеджмент, Релиз-менеджмент.
- ITIL, версия 2007-2011 гг. Введена концепция Service Lifecycle (Жизненный цикл услуги). Следовательно, появилось понимание, что услуга не существует сама по себе, а проходит путь от возникновения, до завершения. Но главным в данном случае является условие непрерывного совершенствования как в области ее качества, так и в части ее супер-характера, когда она охватывает периферийные области, и Заказчик получает все необходимое в формате «одного окна».
- ITIL 4, версия 2019 г.[1] Вся методология ITSM ушла от жестких процессов к гибкой системе (SVS – Service Value System). ITIL 4 интегрировал методы и подходы Agile-философии (в первую очередь, посредством использования принципов гибкого управления – Lean) и сфокусировался на создании ценности (Value Co-creation), а не на соблюдение регламентов[2].

И далее, структура ITSM фокусируется еще больше и конкретнее через Service Value System (SVS). Эта система предполагает 4 базовых условия, и соблюдение каждого из них является обязательным, поскольку трансформация каждого влечет за собой и трансформацию остальных.

- Организации и люди: культура, структура штата, роли (Service Owner, Product Owner, техподдержка), уровень компетенций, сопротивление изменениям.
- Информация и технологии: сами инструменты (Service Desk, мониторинг), базы знаний (CMDB), а также качество данных, которыми управляют.
- Партнеры и поставщики: внешние подрядчики, вендоры, облачные провайдеры. Методология определяет, как выстроить взаимодействие с ними, чтобы они следовали тем же SLA[3].
- Потоки создания ценности и процессы: То, как работа «течет» внутри организации. Это не просто диаграммы Visio, а реальные цепочки активностей[4].

Отметим, что именно здесь вся архитектура ITSM иллюстрирует ее тесную взаимосвязь с общими принципами проектного управления. Во-первых, условие развития во всех четырех измерениях лежит в рамках парадигмы «железного треугольника» менеджмента. Во-вторых, все четыре условия лежат в рамках Agile-философии. В-третьих, сами гибкие методы управления динамичными проектами лежат в области проектного менеджмента. В связи с тем, что условия и принципы развития ITSM и ITIL остаются в рамках классического менеджмента, модели управления ИТ-инфраструктурой подтверждают не только свою теоретическую базу, но и системный и долгосрочный характер. Игнорирование этого в условиях растущей конкуренции означает снижение своей собственной.

Вместе с тем, что все 4 измерения являются обязательными для развития, нас интересует в первую очередь область Партнеров и поставщиков, где происходит ключевое, по-нашему мнение, взаимодействие. Особое значение данного измерения связано с тем, что именно в этой точке происходит наиболее активный контакт с внешней средой, точнее с той ее частью, которая имеет все необходимые возможности развития не только соответствующей области, но всей ITSM в целом.

Драйвером в данном случае может выступать ИТ-аутсорсинг, под начало которого передается все больше корпоративных процессов – от ITSM и ESM до кибербезопасности [Васильцов, Андреев, 2025b]. Благодаря развитию цифровых технологий его функционал развивается также динамично, как и сами цифровые технологии. А реализация особой формы аутсорсинга, возможной именно в ИТ – суб-аутсорсинга[5] [Васильцов, Андреев, 2026], значительно упрощает взаимодействие с внешней средой и значительно повышает ее продуктивность. Более того, если рассматривать и цепочку создания стоимости в ITSM, которая состоит из нескольких этапов, то применение инструментария ИТ-аутсорсинга будет эффективно в ее структуре.

- Plan (Планирование): выработка стратегии, портфеля услуг, бюджетирование.
- Improve (Улучшение): постоянный рефакторинг процессов и технологий (Continual Improvement Register).

[1] Актуальная версия в настоящее время.
[2] Методология ITSM: Архитектура, принципы и практики эффективного управления ИТ-услугами // EVA Team. URL: https://www.evateam.ru/articles/evaservicedesk-articles/metodologiya-itsm-arhitektura-printsipy-praktiki-effektivnogo-upravleniya-uslugami/ (дата обращения: 01.06.2026).
[3] Соглашение об уровне сервиса.
[4] Методология ITSM: Архитектура, принципы и практики эффективного управления ИТ-услугами // EVA Team. URL: https://www.evateam.ru/articles/evaservicedesk-articles/metodologiya-itsm-arhitektura-printsipy-praktiki-effektivnogo-upravleniya-uslugami/ (дата обращения: 01.06.2026).
[5] Васильцов В. С., Андреев Н. С. Синергетический прогресс ИТ-компаний и аутсорсинга на базе архитектуры цифровой экосистемы // Менеджмент в России и за рубежом. 2026. № 1.

- Engage (Вовлечение): взаимодействие с заинтересованными сторонами, продажи, поддержка пользователей, управление отношениями.
- Design & Transition (Дизайн и переход): разработка новых услуг и их безопасный ввод в эксплуатацию (без даунтаймов для бизнеса).
- Obtain/Build (Приобретение/Создание): разработка ПО, закупка оборудования, управление поставщиками.
- Deliver & Support (Поставка и поддержка): операционная деятельность: обработка обращений, мониторинг, резервное копирование, обеспечение доступности.

В частности, особенно широкий контакт с внешней средой предполагается в рамках сразу нескольких этапов, что значительно увеличивает возможности ИТ-аутсорсинга и перспективы его применения для развития ITSM, и главное, для ее масштабирования. Однако здесь же есть и значительное ограничение. В частности, уход зарубежных компаний с российского рынка (ИТ-вендоров, являющихся глобальными лидерами в области разработки цифровых технологий и ИТ-решений) фактически заблокировали доступ российских компаний к рынку иностранных технологий, значительно затруднив дальнейшее развитие ИТ-инфраструктуры в России.

Раздел 2. Факторы конкурентоспособности российского ИТ-рынка, исчерпавшие себя

Емкость рынка ITSM-моделей по итогам 2021 г. составила 6,8 млрд руб. Доля российских разработчиков ITSM-моделей была не выше 30%, которые преимущественно были сосредоточены в стоимостном секторе до 200 млн руб. В наиболее дорогих секторах рынка (от 400 млн до 1 млрд руб.) преимуществом владели западные компании – в первую очередь из США и Великобритании.

Таблица 1. Структура рынка ITSM моделей по итогам 2021 г. [6]

Разработчики	Млрд руб.
MicroFocus*, Naumen	0,7-1
Terrasoft, BMS*	0,4-0,5
Microsoft*, Atlassian*	0,3-0,4
Ivanti*	0,2-0,3
OMNINET*, 1С, USDESK	0,1-0,2
Axios System*, Zendesk*, ServiceNow*, SipleOne, OKDESK, Cleverics	0,05-0,1
CA Technologies*, ELMA, Softline, RubyTech, Radiant System	>0,05

* зарубежные вендоры

Однако введение санкционного режима в 2022 г. значительно ускорило процессы импортозамещения в отрасли. Для этого было несколько важных причин.

- Иностранные вендоры остановили сопровождение, обслуживание и обновление своих ITSM-моделей, а также заблокировали доступ к своим лучшим практикам.
- Государственная программа поддержки российских разработчиков требовала интенсивную миграцию на отечественные решения, особенно в государственных структурах и корпорациях. К примеру, по итогу 2019 г. доля российского ПО в государственных структурах составляла всего 10%, что означает и высочайшую (если не сказать тотальную) импортозависимость от иностранных цифровых решений. Целевым же показателем на 2022 г. было достижение доли российских решений в госсекторе до 70%[7].
- Модели, основанные на открытом коде, тоже стали совершенно небезопасны из-за отсутствия возможности у российских специалистов что-либо изменить в случае необходимости, даже если устаревшие версии продолжали функционировать.

Более того, внедряемые крупнейшими российскими компаниями собственные общие центры обслуживания (ОЦО)[8], которые во многом работали при поддержке крупнейших западных вендоров, вынуждены были энергично менять векторы их развития в направлении миграции на российские ИТ-решения. Если учесть, что по итогам 2021 г. 58% крупнейших компаний[9] (среди которых – ЕВРАЗ, УралХим, S7, Ростех, Росморпорт, Альфа-Страхование, Казаньоргсинтез, ФосАгро, Московский кредитный банк и т.д.) уже активно использовали и модернизировали ОЦО, а 26% настраивали их или планировали приступить к настройкам в течении следующего года, очевидно, что столь резкие изменения условий сотрудничества, произошедшие в 2022 г. значительным образом осложнили работу ИТ-инфраструктуры корпоративного сектора. Это нанесло корпоративной и информационной безопасности крупнейших российских компаний значительный ущерб. Если рассмотреть структуру решений и стандартов, которые использо-

[6] Российский рынок ITSM: ключевые игроки и перспективы развития // TAdviser. URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Российский_рынок_ITSM:_ключевые_игроки_и_перспективы_развития (дата обращения: 02.06.2026).

[7] Импортозамещение в ИТ: системы ITSM и ESM // Computerra. URL: https://www.computerra.ru/273318/importozameshhenie-v-it-sistemy-itsm-i-esm/ (дата обращения: 01.06.2026).

[8] Транснациональные корпорации, работавшие на российском рынке, называют свои глобальные сервисные подразделения Global Service Desk, Global Business Services, Network of capabilities centers, Market Operations.

[9] Из опрошенных 500 респондентов.

вали российские компании, то можно с уверенностью говорить о значительном уровне импортозависимости всей ИТ-инфраструктуры, что напрямую влияет и на промышленною самостоятельность, и на национальную безопасность в целом.

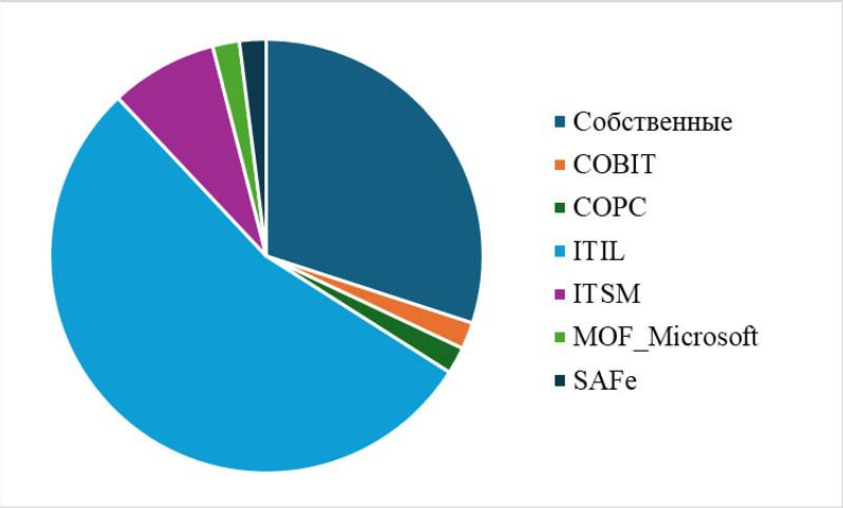


Рисунок 1. Структура применяемых решений в области управления ИТ-инфраструктурой по итогам 2021 г. [10]

Рисунок 1 показывает, что подавляющее большинство решений были ранее разработано западными вендорами. Именно эти решения использовались в рамках собственных ОЦО крупнейшими российскими компаниями. Таким образом, очевидно, что после 2022 г., корпоративный сектор, с одной стороны, остался с уже полученными до 2022 г. знаниями и опытом, с другой стороны, дальнейшее развитие ранее применяемых методов стало для России невозможным в течение очень краткого промежутка времени. Так произошло, поскольку ранее знания и опыт формировались в рамках лучших практик именно западных компаний.

Положительным фактором в сложившейся после 2021 г. рыночной конъюнктуре являлось то, что процессы импортозамещения в ИТ-индустрии начались раньше, поскольку и санкционный режим, пусть и в меньшем масштабе, был актуален до 2021 года. Также облегчило последствия ухода западных вендоров и то, что у российских компаний к 2022 г. накопился собственный значительный опыт развития не только ITSM, но также и ESM – модель управления корпоративными сервисами была внедрена почти у 60% опрашиваемых. Вместе с тем, 57% ESM-систем базировались на импортном ПО, что фактически говорит о монополизации российского рынка западными вендорами[11].

Таким образом, своеобразной точкой отсчета для новой реальности российского ИТ-рынка в области ITSM можно считать не уход иностранных брендов в 2022-2023 гг., а финансового-экономический успех крупнейшего российского вендора в этой сфере – Naumen, ведущего разработчика корпоративного ПО и облачных сервисов, клиентского сервиса, виртуальных ассистентов (ботов), платформ бизнес-процессов (BPM, low-code), управления знаниями (KMS), рабочей силой (WFM) и управления ИТ-сервисов и инфраструктурой (ITSM)[12]. Уже по итогам 2023 г. Naumen стал лидером рынка в области ITSM с выручкой в этом секторе 1,7 млрд руб. заняв фактически 50% рынка[13].

Вместе с тем необходимо отметить и актуальную на сегодня проблему, методического и аналитического характера. По данным исследования, примерно 75% российских компаний среднего и крупного бизнеса уже используют ITSM-технологии в разной степени. Однако, важно отметить, что зрелость внедрений значительно отличается. Только около 35-40% компаний применяют полноценные ITSM-платформы с единым каталогом услуг, SLA, управлением инцидентами, изменениями и аналитикой. Примерно 30% организаций ограничиваются базовым helpdesk-функционалом, при этом часто только в ИТ-сфере. Около 25-30% все еще используют почту, мессенджеры и Excel, не имея сквозной цифровой системы управления заявками.

Аналитики STAQ выявили 5 главных причин внедрения ITSM в ключевых отраслях в России. Главная причина – рост нагрузки и невозможность масштабировать поддержку линейным ростом штата (указали 73% опрошенных компаний). ITSM помогает стандартизировать процессы и автоматизировать рутину, позволяя обслуживать большие объемы без увеличения FTE. На втором месте – запрос бизнеса на SLA, прозрачность и управляемость (64% компаний). Одна из ключевых причин внедрения ITSM –

[10] Лучшие практики цифровой трансформации сервисных процессов в российских корпорациях // Computerra. URL: https://www.computerra.ru/277742/luchshie-praktiki-tsifrovoj-transformatsii-servisnyh-protsessov-v-rossijskih-korporatsiyah/ (дата обращения: 01.06.2026).
[11] Лучшие практики цифровой трансформации сервисных процессов в российских корпорациях // Computerra. URL: https://www.computerra.ru/277742/luchshie-praktiki-tsifrovoj-transformatsii-servisnyh-protsessov-v-rossijskih-korporatsiyah/ (дата обращения: 01.06.2026).
[12] Naumen: о компании // Naumen. URL: https://www.naumen.ru/company/ (дата обращения: 01.06.2026).
[13] Naumen занял 1 место рейтинга TAdviser ITSM 2024 // ICT-Online. URL: https://ict-online.ru/news/Naumen-zanyal-1-mesto-reitinga-TAdviser-ITSM-2024-302921 (дата обращения: 01.06.2026).

борьба с потерями обращений (53% компаний). До использования ITSM у предприятий терялось до 20-30% обращений, особенно когда каналы были разрознены (почта, звонки, чаты).

В условиях очевидных преимуществ, которые дает применение ITSM, в России все еще наблюдается отсутствие единой методики даже оценки емкости рынка[14].

Таблица 2. Различные оценки емкости рынка ITSM по итогам 2025 г.[15]

2024, млрд руб.	2025, млрд руб.	По оценке
10-12		Cleverics
10-15	18-22	РТК ИТ плюс
25-35		IBS
4,3-8		Корус-консалтинг
7,7	9-10	NAUMEN

Также нет точных оценок и о темпах роста рынка ITSM. Все сходятся в том, что динамика рынка останется положительной, но темпы варьируются от 15 до 30% в год[16]. Считаем это серьезной проблемой и ограничителем дальнейшего развития рынка, поскольку в условиях, когда потенциальные Заказчики и Исполнители не могут получить аналогичные оценки рынка ключевого для них продукта, возникают вопросы конкурентоспособности и конкуренции соответственно, а значит и дальнейшее развитие может существенно осложняться.

Крупнейшим поставщиком ITSM-решений на рынке остается российский разработчик Naumen, который реализует проекты с крупнейшими представителями государственного корпоративного сектора. Выручка поставщиков из топ-10 разработчиков по итогам 2024 г., превысила 5,1 млрд руб.

Таблица 3. Топ-10 разработчиков ITSM по итогам 2024 г.[17]

Поставщик	Млрд руб.	Заказчики *
NAUMEN	2291	Атомстройэкспорт, Транснефть, Газпром
BPM SOFT	829	
AUXO	447	
SIMPLE ONE	396	Группа Позитив, Эталон, Инферит облако, Ростикс
Лукоморье	290	ВК Tech, ПАО «Ростелеком», РСХБ
OKDESK	231	ГК «Агро Нова», Русклимат, АН-Секьюрити
Helpdeskeddy	205	
ЮЗДЕСК	198	Свеза, Лаборатория Гемотест, Честный знак, ЯНАО, Технониколь
КСК	145	
ELMA	105	

* не указанный Заказчик может свидетельствовать о подписанном NDA.

В связи с совокупной выручкой крупнейших игроков, можно говорить о емкости рынка, приближенной к той, которой придерживаются в NAUMEN и Корус-консалтинг (см. Табл. 2). Кроме того, для дальнейшего развития есть и другие барьеры.

1. Сложность интеграций, особенно множества ранее разрозненных систем и платформ. Около 40% компаний опасаются, что внедрение превратится в длительный и сложный проект – особенно если в инфраструктуре накоплено много легаси-решений.
2. Дефицит методологических компетенций. Многие компании признают, что у них в штате нет специалистов по построению сервисных процессов, что затрудняет запуск ITSM-проекта. Отметим, что данное заключение, сделанное на базе проведенного опроса, подтверждает описанную выше проблему – западные вендоры, ранее занимавшие монопольное положение в России, забрали с рынка не только технологии, но и системы компетенций, по которым ранее готовили специалистов в России. Дефицит в данной области говорит о том, что собственных стандартов пока нет.
3. Бюджетные ограничения и представления о высокой стоимости. Около 30% респондентов отметили, что откладывали внедрение из-за опасений, что ITSM – это «дорого и долго».
4. Для внедрения ITSM играет роль отсутствие «владельца» процессов. В ряде организаций нет подразделения, которое напрямую ощущает стоимость хаоса и простоя. В итоге ITSM-проект не становится достаточно приоритетным для компании.
5. Иллюзия, что все «и так работает». Такое мнение особенно распространено в компаниях на этапе роста. Однако, когда сеть превышает десятки объектов, стоимость неуправляемых процессов становится критичной, и компании приходят к формализации сервисной модели.

[14] Только 35-40 % российских компаний среднего и крупного бизнеса используют полноценные ITSM-платформы // Staq. URL: https://staq.ru/ispolzovanie_itsm_v_kompaniyah (дата обращения: 01.06.2026).
[15] Российский рынок ITSM-систем // TAdviser. URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Российский_рынок_ITSM-систем (дата обращения: 02.06.2026).
[16] Там же.
[17] Российский рынок ITSM-систем // TAdviser. URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Российский_рынок_ITSM-систем (дата обращения: 02.06.2026).

По данным исследования STAQ, около 55-60% компаний, еще не внедривших полноценный ITSM, планируют сделать это в течение 1-3 лет. Еще 25-30% организаций рассматривают расширение существующего helpdesk до уровня полноценной сервисной платформы, включая управление активами, инцидентами, эксплуатацией и логистикой. Примерно 15% компаний уже находятся на этапе выбора решения или пилотирования[18].

Таким образом, за тот же период до 3-х лет необходимо разработать полноценные собственные российские решения, а также методику оценки рынка ITSM, когда у всех заинтересованных сторон и участников рынка будет аналогичная информация о его состоянии, увеличится прозрачность рынка, а, следовательно, и его инвестиционная привлекательность.

Раздел 3. Возможности ИТ-аутсорсинга для развития российских моделей управления ИТ-инфраструктурой

Для ускорения разработки собственных решений в области ITSM, а также для создания условий их масштабирования, в России в целом накоплены необходимые знания, технологии и ресурсы, представляющие собой лучшие практики западных вендоров, которые удалось усвоить и локализовать.

Однако динамика цифровых технологий, усложнение ландшафта цифровых трансформаций, научно-технический прогресс в целом и глобальная конкуренция требуют не просто создания аналогичного продукта, что необходимо сделать в первую очередь, а создание продукта следующего поколения в качественном и в количественном смыслах.

Такой технологией может оказаться ITSM-система, которая будет призвана управлять ИТ-инфраструктурой не одной компании и не группы компаний, а целой отрасли. Подобно корпоративной ОЦО, единый отраслевой центр обработки заявки, оказание супер-услуги и ее непрерывное совершенствование будут реализованы в отраслевом масштабе, что позволит всем участникам рынка иметь всю необходимую единую информацию об отрасли в целом, повышая ее инвестиционную привлекательность.

Однако для того, чтобы синхронизировать систему «заказ-исполнение» в столь значительном масштабе, потребуется дополнительный участник, который сможет выполнять функцию спутников связи на планетарной орбите, когда сигнал, не имея возможности проходить напрямую, сначала поступает на спутник, и далее уже через него и другие спутники попадает к адресату (см. Рисунок 2).

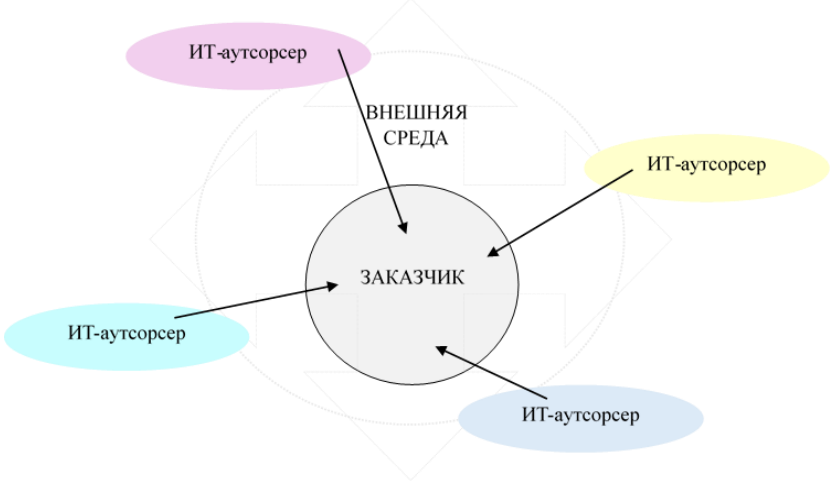


Рисунок 2. Схема формирования ITSM промышленного масштаба

Источник: составлено автором.

Таким спутником как раз является ИТ-аутсорсинг. Для этого он обладает уникальным сквозным функционалом [Васильцов, Андреев, 2025а] – он способен оказывать услугу доставки необходимых цифровых технологий и решений посредством таких же цифровых технологий и решений, что позволит сократить время доставки, сделать процесс прозрачным для всех участников, а также, в условиях существования всех необходимых протоколов обмена данными и средствами защиты, безопасно и фиксированно, сохранять историю взаимодействия. Эта ретроспективная история является институциональной памятью любого процесса, и при необходимости произведения аналогичного процесса или операции время их реализации будет минимальным, а вероятность ошибок, которые обычно возникают в условиях человеческого фактора, будет стремиться к нулю.

Область действия ИТ-аутсорсинга фактически уже определена в самой структуре ITSM-системы, а именно в зоне «Партнеры и поставщики SVS», а также на четырех из шести этапов цепочки создания стоимости самой супер-услуги:

- Engage (вовлечение): взаимодействие с заинтересованными сторонами, продажи, поддержка пользователей, управление отношениями.
- Design & Transition (дизайн и переход): разработка новых услуг и их безопасный ввод в эксплуатацию (без даунтаймов для бизнеса).

[18] Только 35–40 % российских компаний среднего и крупного бизнеса используют полноценные ITSM-платформы // Staq. URL: https://staq.ru/ispolzovanie_itsm_v_kompaniyah (дата обращения: 01.06.2026).

- Obtain/Build (приобретение/создание): разработка ПО, закупка оборудования, управление поставщиками.
- Deliver & Support (поставка и поддержка): операционная деятельность: обработка

В обоих случаях ИТ-аутсорсинг значительно упрощает взаимодействие с подрядчиками, провайдерами и вендорами, т.е. именно теми действующими участниками рынка, которые осуществляют производство, доставку и непрерывное улучшение всех необходимых цифровых решений (см. Рисунок 3).

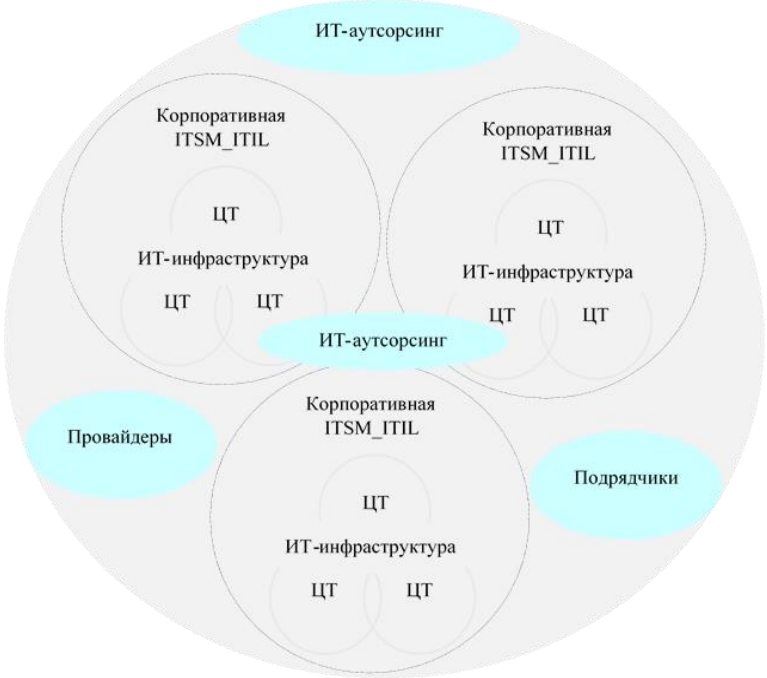


Рисунок 3. Архитектура взаимодействия внутри ITSM системы промышленного масштаба

Источник: составлено автором.

Заключение

Уход зарубежных компаний с российского рынка, в первую очередь ключевых вендоров, с которыми российские компании и государственный сектор работали с самого начала после распада СССР, нанес значительный ущерб развитию ИТ-сектора. В том числе это коснулось области управления ИТ-инфраструктурой. Кроме блокирования доступа российским компаниям к рынкам иностранных технологий, стандартам и лучшим практикам, уход иностранных вендоров фактически остановил накопление собственного опыта в различных областях ИТ-индустрии, что привело к образовавшемуся в 2022 г. вакууму.

Однако принятые меры государственного регулирования и поддержки в области технологического импортозамещения и в области финансовой поддержки этого процесса позволили российским компаниям сравнительно быстро занять образовавшиеся ниши и приступить к замещению иностранных технологий, которые ранее занимали монопольное положение. Вместе с тем, новые требования к доле российского оборудования в государственном секторе, а также крупнейших государственных структур усилили процессы миграции на отечественные цифровые решения.

Несмотря на принятые меры, как показывают проведенные опросы, в самом корпоративном секторе согласны с тем, что сотрудничество с зарубежными поставщиками и подрядчиками носило продуктивный характер, и для того, чтобы не пришлось «разбирать» ИТ-инфраструктуру и ее систему управления до основания, будет вполне конструктивно следовать принципам, практикам и стандартам, которые действовали ранее, только уже на базе российского ПО и аппаратных решений. Однако по результатам других опросов, в компаниях соглашаются с тем, что в настоящее время не хватает не только самих решений, но в части моделей управления ИТ-инфраструктурой также ощущается нехватка стандартов, методологий и компетенций, накопление которых в контексте лучших практик западных вендоров более невозможно – по крайней мере, в краткосрочном периоде. В результате, несмотря на то что рынок ITSM-систем показывает положительную динамику (впрочем, как и весь ИТ-рынок в России), без значительных собственных трансформаций с выходом на продукты и услуги иного характера, ожидать положительной динамики в среднесрочной перспективе сложно. Тем более, когда в настоящее время нет единых методик расчета емкости ИТ-рынка (ИТ-рынок в России по итогам 2024 г. оценивался от 2,4% до 6%. Разные подходы к оценке рынка дают разницу в 7 трлн руб. [Лебедев, 2026]) и рынка ITSM-систем (см. Табл. 2). Очевидно, что отсутствие единых подходов затрудняет исследования рынка, а также не способствует его прозрачности, что в свою очередь ограничивает его же инвестиционную привлекательность.

Отметим, что по некоторым оценкам только одна отрасль, связанная с цифровыми технологиями и ИТ («Оборудование компьютерное, электронное и оптическое») в процессе воспроизводства взаимодействует с 35 отраслевыми комплексами[19] – большим количеством, чем некоторые сектора машиностроения [Лебедев, Акимкина, 2026]. Это подтверждает важнейший статус отраслей, связанных с цифровыми технологиями и ИТ, и необходимость полного представления о них у всех заинтересованных сторон (науки, бизнеса, государства).

[19] Только из секторов A, B и C ОКВЭД 2 его производственной части, т.е. без учета сектора услуг.

В результате, вместе с тем, что российским разработчикам необходимо полностью сохранить и учесть накопленный опыт сотрудничества с зарубежными вендорами в процессе разработки уже собственных решений в области ITSM-систем, в прогрессивном смысле также необходимо развиваться самостоятельно. Одним из векторов такого развития возможно рассматривать масштабирование ITSM-решений до отраслевого масштаба, поскольку в настоящее время для этого есть запрос и со стороны государства, и корпоративного сектора. С другой стороны, есть и инструментарий для реализации такого проекта. Развитие цифровых технологий и собственных ИТ-инфраструктур сегодня позволяет ИТ-аутсорсингу стать тем недостающим звеном в проектировании и развитии таких моделей управления, возможности которых ранее были технологически ограниченными. Анализ структур зарубежных ITSM-решений, а также их элементарная декомпозиция позволяют рассматривать точками подключения ИТ-аутсорсинга в зоне «Партнеры и поставщики SVS», а также на четырех из шести этапов цепочки создания стоимости самой супер-услуги.

Создание отраслевых ITSM-моделей, архитектура которых приведена на Рисунке 3, значительным образом повысит конкурентоспособность и российских разработчиков, и всего российского ИТ-рынка, что будет способствовать и успешной конкуренции после завершения санкционного режима, и развитию новых направлений сотрудничества с глобальными игроками на мировом рынке информационных технологий.

Литература

1. Васильцов В.С., Андреев Н.С. (2025) Аспекты новой формации стратегии развития ИТ-компании в контексте аутсорсинга // Социальные и экономические системы. 2025. № 9. С. 117–146.
2. Васильцов В.С., Андреев Н.С. (2025) Перспективы использования аутсорсинга для развития IT-компаний в современных условиях хозяйствования // Журнал прикладных исследований. 2025. № 2. С. 30–40. DOI: 10.47576/2949-1878.2025.2.2.003.
3. Васильцов В.С., Андреев Н.С. (2026) Синергетический прогресс ИТ-компаний и аутсорсинга на базе архитектуры цифровой экосистемы // Менеджмент в России и за рубежом. 2026. № 1. С. 25–35.
4. Импортозамещение в ИТ: системы ITSM и ESM // Computerra. URL: https://www.computerra.ru/273318/importozameshhenie-v-it-sistemy-itsm-i-esm/ (дата обращения: 01.06.2026).
5. Лебедев К.К. (2026) Ограничения исследований отраслевой структуры промышленности в контексте различных подходов к оценкам размера ИТ-отрасли // Актуальные вопросы интеграции науки и практики в условиях трансформации социально-экономических систем: материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участ. (Москва, 24 апр. 2026 г.). 2026. С. 95–101. ISBN 978-5-908172-00-4.
6. Лебедев К.К., Акимкина Д.А. (2026) Методологический подход к построению рейтинга отраслевой эффективности в условиях оценки экономического эффекта от развития гражданского авиастроения // Экономика и предпринимательство. 2026. № 7. С. 986–996.
7. Лучшие практики цифровой трансформации сервисных процессов в российских корпорациях // Computerra. URL: https://www.computerra.ru/277742/luchshie-praktiki-tsifrovoj-transformatsii-servisnyh-protsessov-v-rossijskih-korporatsiyah/ (дата обращения: 01.06.2026).
8. Методология ITSM: Архитектура, принципы и практики эффективного управления ИТ-услугами // EVA Team. URL: https://www.evateam.ru/articles/evaservicedesk-articles/metodologiya-itsm-arhitektura-printsipy-praktiki-effektivnogo-upravleniya-uslugami/ (дата обращения: 01.06.2026).
9. Российский рынок ITSM: ключевые игроки и перспективы развития // TAdviser. URL: https://www.tadviser.ru/a/658967 (дата обращения: 02.06.2026).
10. Российский рынок ITSM-систем // TAdviser. URL: https://www.tadviser.ru/a/849263 (дата обращения: 02.06.2026).
11. Только 35–40 % российских компаний среднего и крупного бизнеса используют полноценные ITSM-платформы // Staq. URL: https://staq.ru/ispolzovanie_itsm_v_kompaniyah (дата обращения: 01.06.2026).
12. Naumen: о компании // Naumen. URL: https://www.naumen.ru/company/ (дата обращения: 01.06.2026).
13. Naumen занял 1 место рейтинга TAdviser ITSM 2024 // ICT-Online. URL: https://ict-online.ru/news/Naumen-zanyal-1-mesto-reitinga-TAdviser-ITSM-2024-302921 (дата обращения: 01.06.2026).

References in Cyrillics

1. Vasiltsov V.S., Andreev N.S. (2025) Aspekty novoy formatsii strategii razvitiya IT-kompanii v kontekste autsorsinga. Sotsialnye i ekonomicheskie sistemy [Social and Economic Systems], no. 9, pp. 117–146.
2. Vasiltsov V.S., Andreev N.S. (2025) Perspektivy ispolzovaniya autsorsinga dlya razvitiya IT-kompaniy v sovremennykh usloviyakh khozyaystvovaniya. Zhurnal prikladnykh issledovaniy [Journal of Applied Research], no. 2, pp. 30–40. DOI: 10.47576/2949-1878.2025.2.2.003.
3. Vasiltsov V.S., Andreev N.S. (2026) Sinergeticheskiy progress IT-kompaniy i autsorsinga na baze arkhitektury tsifrovoy ekosistemy. Menedzhment v Rossii i za rubezhom [Management in Russia and Abroad], no. 1, pp. 25–35.
4. Importozameshchenie v IT: sistemy ITSM i ESM. Computerra. Available at: https://www.computerra.ru/273318/importozameshhenie-v-it-sistemy-itsm-i-esm/ (accessed: 01.06.2026).

5. Lebedev K.K. (2026) Ogranicheniya issledovaniy otraslevoy struktury promyshlennosti v kontekste razlichnykh podkhodov k otsenkam razmera IT-otrasli. Aktualnye voprosy integratsii nauki i praktiki v usloviyakh transformatsii sotsialno-ekonomicheskikh sistem: materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. Moscow, April 24, 2026, pp. 95–101. ISBN 978-5-908172-00-4.
6. Lebedev K.K., Akimkina D.A. (2026) Metodologicheskiy podkhod k postroeniyu reytinga otraslevoy effektivnosti v usloviyakh otsenki ekonomicheskogo effekta ot razvitiya grazhdanskogo aviastroeniya. Ekonomika i predprinimatelstvo [Journal of Economy and entrepreneurship], no. 7, pp. 986–996.
7. Luchshie praktiki tsifrovoy transformatsii servisnykh protsessov v rossiyskikh korporatsiyakh. Computerra. Available at: https://www.computerra.ru/277742/luchshie-praktiki-tsifrovoj-transformatsii-servisnyh-protsessov-v-rossijskih-korporatsiyah/ (accessed: 01.06.2026).
8. Metodologiya ITSM: Arkhitektura, printsipy i praktiki effektivnogo upravleniya IT-uslugami. EVA Team. Available at: https://www.evateam.ru/articles/evaservicedesk-articles/metodologiya-itsm-arhitektura-printsipy-praktiki-effektivnogo-upravleniya-uslugami/ (accessed: 01.06.2026).
9. Rossiyskiy rynok ITSM: klyuchevye igroki i perspektivy razvitiya. TAdviser. Available at: https://www.tadviser.ru/a/658967 (accessed: 02.06.2026).
10. Rossiyskiy rynok ITSM-sistem. TAdviser. Available at: https://www.tadviser.ru/a/849263 (accessed: 02.06.2026).
11. Tolko 35–40% rossiyskikh kompaniy srednego i krupnogo biznesa ispolzuyut polnotsennye ITSM-platformy. Staq. Available at: https://staq.ru/ispolzovanie_itsm_v_kompaniyah (accessed: 01.06.2026).
12. Naumen: o kompanii. Naumen. Available at: https://www.naumen.ru/company/ (accessed: 01.06.2026).
13. Naumen zanyal 1 mesto reytinga TAdviser ITSM 2024. ICT-Online. Available at: https://ict-online.ru/news/Naumen-zanyal-1-mesto-reitinga-TAdviser-ITSM-2024-302921 (accessed: 01.06.2026).

Андреев Никита Сергеевич, аспирант 3 года обучения, Череповецкий государственный университет, neckich-98@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-6027-4658

Ключевые слова
ИТ-инфраструктура, ИТ-рынок, ИТ-вендор, ИТ-аутсорсинг, ITSM, ITIL, экосистема, промышленный масштаб.

Nikita Andreev. Development of Russian Models for Managing Large-Scale IT Infrastructure Using IT Outsourcing Tools under Sanctions-Related Restrictions

Keywords
IT infrastructure, IT market, IT vendor, IT outsourcing, ITSM, ITIL, ecosystem, industrial scale.

DOI: 10.34706/DE-2026-05-09
JEL classification: M15, L23, F51

Abstract
Amidst increasing digitalization, the fragmentation of the geopolitical landscape, and global competition for technological leadership, the development and effective management of IT infrastructure have become critical priorities–particularly given that global market leaders have restricted Russian companies' access to their key practices and libraries.

On one hand, Russian vendors have accumulated significant experience collaborating with industry leaders; on the other, they are actively developing their own technologies. In doing so, they are capitalizing on opportunities created by state mandates to migrate to Russian solutions and by substantial development subsidies.

However, Western vendors possess a much longer history of technological development and commercial operations, as well as deep ties to major producers and consumers of digital technologies and IT solutions. This allows them to dictate terms to competitors–terms that, for reasons of technological sovereignty and national security, are often unacceptable. Consequently, there is a need to re-examine traditional solutions, which can be significantly enhanced and adapted to current market conditions.

We believe one such solution lies in evolving IT infrastructure into an ecosystem and managing it at the industry level using an ecosystem-based architecture. The technological and organizational capabilities of IT outsourcing will provide significant support for this process, acting as a bridge between developers, vendors, and customers.

Furthermore, the development of proprietary products will substantially boost the competitiveness of both the Russian market and Russian vendors–a crucial step for navigating global competition as the sanctions regime eventually recedes.

Памятка
для авторов публикаций в журнале «Цифровая экономика»

В нашем журнале выполняются все требования Diamond-OA, включая отсутствие платы как со стороны авторов, так и со стороны читателей, рецензирование, а также проверка на плагиат и избыточное самоцитирование. Авторские права на опубликованные статьи остаются за авторами.

В журнале нет штатных сотрудников, все работы, включая проверку на плагиат, рецензирование, работу корректора и форматирование, выполняются группой единомышленников на общественных началах, а потому мы рассчитываем на такое же отношение к своим правам и обязанностям со стороны авторов. Материалы, опубликованные ранее (полностью или в значительной своей части) в других изданиях, не принимаются. Мы очень надеемся, что предполагаемые авторы избавят нас от работы с такими текстами.

Раньше авторы могли сами зарегистрироваться на нашем сайте и разместить там свой текст. К сожалению, из-за повторяющихся кибератак эта возможность временно приостановлена, и теперь рукописи принимаются только по электронной почте journal-de@yandex.ru в редактируемом формате Word (.docx). **Отправляя текст в редакцию, автор тем самым принимает условия журнала и дает согласие на публикацию после прохождения всех предусмотренных процедур.**

Количество статей, присылаемых в журнал, в последнее время заметно выросло, и выпуски у нас теперь сформированы на несколько кварталов вперед. Главное условие публикации – положительная рецензия: именно она решает, увидит ли статья свет. А вот в какой выпуск она попадет, зависит от других обстоятельств – соответствия тематике, времени подачи, готовности рукописи и фиксированного объема выпуска (96 страниц 9-м кеглем). По состоянию на октябрь 2026 года новые материалы ориентировочно выйдут во II–III кварталах 2027 года. Просим учитывать эти сроки.

Статья должна полностью соответствовать принятому у нас стандарту. Чтобы его было проще соблюсти, мы разработали шаблон со встроенными стилями и подробными правилами оформления. Скачать его можно на сайте digital-economy.ru: «О журнале» → вкладка «Правила публикации» → «Скачать шаблон статьи». Оформляйте рукопись по шаблону еще до отправки – это сбережет время и вам, и нам.

Рукопись должна содержать УДК, индексы JEL, полные сведения об авторах, список литературы и References in Cyrillics; название, аннотация и ключевые слова приводятся на русском и английском языках. Формулы набираются средствами Word и должны оставаться редактируемыми. Разделы, рисунки и таблицы нумеруются вручную: автоматическая нумерация может сбиться, когда статья встраивается в общий макет выпуска. Все рисунки и таблицы подписываются, и в тексте на них непременно даются ссылки.

Название статьи не должно быть длинным, иначе в колонтитуле его придется сокращать и смысл может потеряться. Не набирайте название прописными буквами вручную – используйте стиль, предусмотренный шаблоном, и при необходимости опцию «Все прописные». Это важно!

Научные публикации в списке литературы располагаются по алфавиту: сначала русскоязычные, затем на латинице. Такой порядок нужен, чтобы при составлении References с транслитерацией кириллических источников не возникло путаницы. Оба списка оформляются по образцу, приведенному в шаблоне. Ссылки в тексте даются в формате (Фамилия, год), например (Леонтьев, 2024); если у автора несколько работ одного года, к году добавляется латинская буква: 2024a, 2024b. Нормативные документы, интернет-ресурсы, газетные статьи и т. п. желательно указывать в подстрочных сносках.

При публикации статья получает метаданные: DOI, EDN (идентификатор в Научной электронной библиотеке eLibrary.ru), номер выпуска и страницы. Журнал выходит в формате PDF, причем макет сразу пригоден для типографии, так что авторы, желающие иметь печатный экземпляр, могут его заказать. Бумажная версия имеет статус буклета и печатается за счет заказчика в нужном ему количестве.

И последнее. Пожалуйста, перечитайте статью и проверьте оформление, прежде чем отправлять ее в редакцию – чем лучше подготовлена рукопись, тем быстрее она пройдет все этапы. Следуя правилам, вы очень облегчите нашу общую работу!