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.

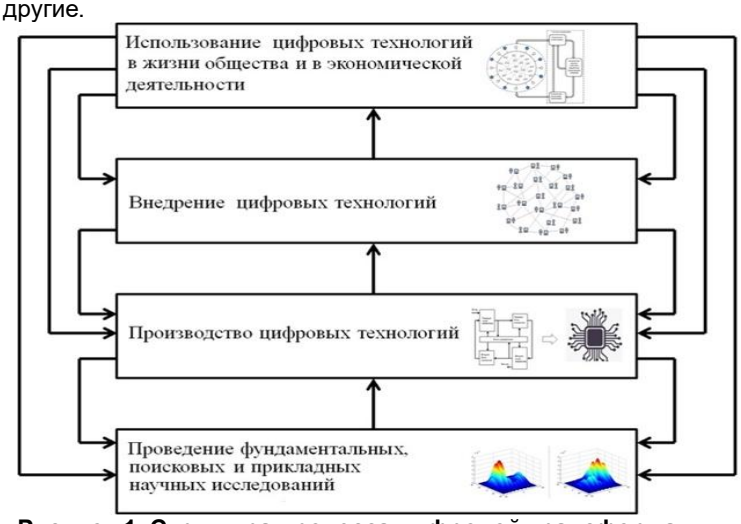


Рисунок 1. Структура процесса цифровой трансформации

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).

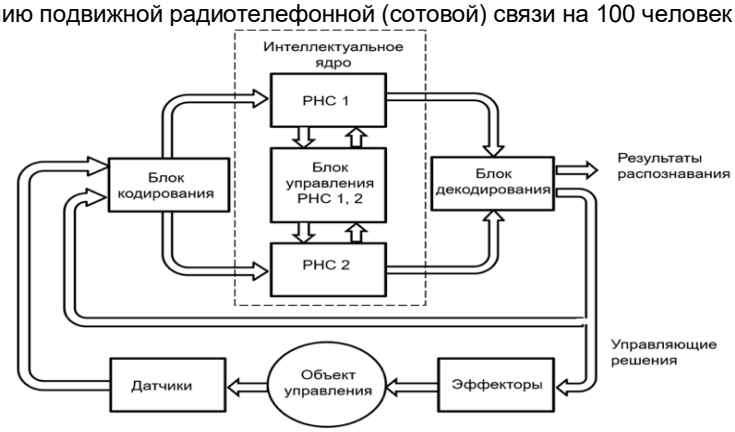


Рисунок 2. Структура системы нейроуправления управления цифровой трансформацией с непрерывным обучением.

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

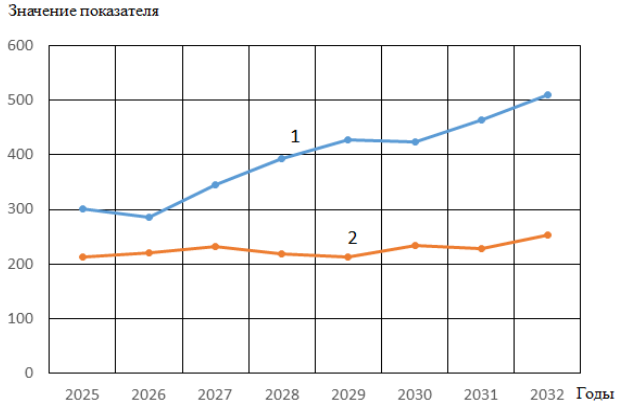


Рисунок 3. Итоговые результаты прогнозирования

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.it-week.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.: ИСИЭЗ 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.