

Интеллектуализация реального сектора экономики: современные тенденции, вызовы, решения

Головчанская Елена Эдуардовна 

кандидат экономических наук, доцент,

ФГБОУ ВО «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации», Москва, Россия

E-mail: eegolovchanskaya@fa.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

: интеллектуализация производства, Индустрия 4.0, умная фабрика, искусственный интеллект (ИИ), цифровой двойник, технологический суверенитет, экология

АННОТАЦИЯ

Колоссальный технологический сдвиг реального сектора экономики, известный как Четвертая промышленная революция (Индустрия 4.0), трансформирует глобальную промышленность, делая ее более связанной, автоматизированной и интеллектуальной. Интеллектуальное производство (Smart Manufacturing) представляет собой интеграцию операционных технологий (OT) и информационных технологий (IT), что позволяет создавать полностью подключенные и гибкие производственные системы. Эти системы способны к самооптимизации как отдельных процессов, так и всей производственной цепочки. В настоящее время рынок технологий интеллектуального производства находится на стадии активного роста, что в совокупности с предыдущими аргументами подтверждает важность исследования данной темы. Данная статья исследует состояние ключевых технологий, формирующих этот новый парадигмальный подход, анализирует практические направления его реализации и обозначает перспективы дальнейшего развития. Выводы автора обосновываются теоретическими данными, в основе которых: эволюционный взгляд на промышленные революции, сущностное содержание интеллектуального производства и его технологические составляющие. Работа содержит статистические данные, логично аргументирующие положения автора. Сделан акцент на исследование современных тенденций интеллектуализации производства в Российской Федерации. В фокусе внимания автора: умная фабрика, искусственный интеллект (ИИ), цифровой двойник. Новизна исследования заключается в его комплексности и ситуативной применимости. Автор дополняет управленческую концепцию «3С» принципом соответствия и формирует методологическую концепцию «4С», что может служить ориентиром для новой аналитической модели интеллектуализации российской промышленности. Выделяются направления развития: демократизация технологий, внедрение автономных систем в процессы автоматизации, переход к циркулярной экономике. Работа служит ориентиром для промышленных предприятий в выборе вектора развития и для государственных органов — в выработке мер поддержки. Исследование доказывает, что ускоренная интеллектуализация — это не просто технологический тренд, а условие для обеспечения экономической безопасности, суверенитета и устойчивого развития страны.

JEL codes: O14, P17, F01

DOI: <https://doi.org/10.52957/2221-3260-2025-11-71-85>

Для цитирования: Головчанская, Е.Э. Интеллектуализация реального сектора экономики: современные тенденции, вызовы, решения/ Е.Э. Головчанская. - Текст : электронный // Теоретическая экономика. - 2025 - №11. - С.71-85. - URL: <http://www.theoreticaleconomy.ru> (Дата публикации: 30.11.2025)

Введение

Концептуальные основы и движущие силы интеллектуализации реального сектора экономики – отражаются в парадигме Индустрия 4.0. Индустрия 4.0 представляет собой не просто эволюцию, а фундаментальную трансформацию, при которой киберфизические системы, интернет вещей и искусственный интеллект начинают доминировать в производственном ландшафте. Согласно

NIST, интеллектуальное производство определяется как «полностью интегрированные системы совместного производства, которые в реальном времени реагируют на меняющиеся требования и условия на заводе, в сети поставок и в потребностях клиентов» [1]. Эта концепция является логическим продолжением предыдущих промышленных революций, как наглядно демонстрирует таблица 1.

Таблица 1 - Сравнительная характеристика промышленных революций реального сектора экономики

Промышленная революция	Ключевой драйвер	Основная характеристика
Индустрия 1.0	Водяной и паровой двигатель	Механизация производства
Индустрия 2.0	Электрическая энергия	Массовое производство, конвейерные линии
Индустрия 3.0	Компьютеры, автоматика и ПЛК	Автоматизация, цифровизация отдельных процессов
Индустрия 4.0	Киберфизические системы, ИИ, IIoT	Интеллектуальные, автономные и связанные системы

Источник: составлено авторами на основе [2].

Интеллектуализация производства реального сектора экономики— это стратегический и непрерывный процесс внедрения в производственную систему когнитивных технологий, которые наделяют ее способностью к самообучению, адаптации и автономному принятию решений. Сущность интеллектуализации производства раскрывается в том, что это, прежде всего, методология и философия управления. Ее ядро составляет переход от жесткой, детерминированной автоматизации к гибкой, адаптивной системе, где центральная роль отводится данным и искусственному интеллекту.

Современные мировые тенденции интеллектуализации производства реального сектора экономики показывают стремительный рост рынка технологий (рис.1)

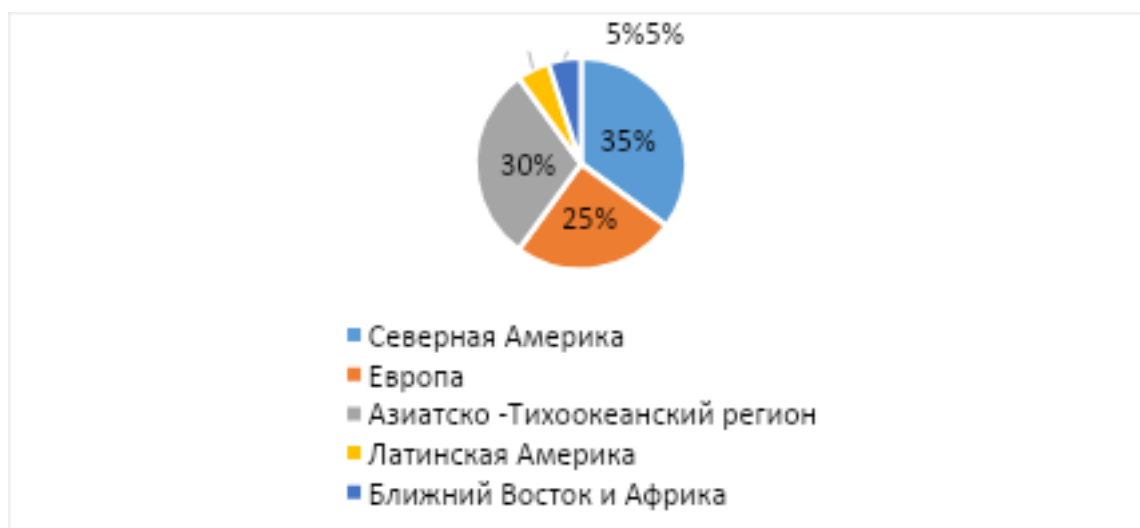


Рисунок 1 - Региональная структура мирового рынка технологий интеллектуального производства в 2023 году

Источник: составлено автором на основе [3].

По данным исследователей рынок технологий интеллектуального производства в 2024 году составил 200 миллиардов долларов США и отмечаются его тенденции к стремительному росту.

Географическое распределение мирового рынка интеллектуального производства демонстрирует явных лидеров и перспективных последователей. Азиатско-Тихоокеанский регион (АТР) — крупнейший и самый быстрорастущий рынок, на который в 2024 году приходилось 37.72% глобальной доли. Рост обеспечивается мощной промышленной трансформацией в Китае,

государственными программами «Индустрия 4.0», а также присутствием таких технологических гигантов и контрактных производителей, как «Foxconn», «BYD» и «Pegatron». Северная Америка — зрелый рынок с сильным присутствием поставщиков технологий и автоматизации (Siemens, Rockwell Automation, Honeywell). Ожидается, что к 2035 году его доля составит около 35%, а рынок США к 2032 году достигнет \$186.87 млрд [4].

Европа показывает устойчивый рост, поддерживаемый инициативами ЕС и сильными позициями в области промышленного оборудования (Siemens, ABB, Schneider Electric). Регуляторные инициативы, такие как CBAM, также стимулируют внедрение «умных» и энергоэффективных технологий.

Ведущие компании на мировом рынке интеллектуальных производств представлены в табл.2.

Таблица 2 – Ключевые компании на глобальном рынке интеллектуального производства

Компания	Страна	Ключевая специализация и предложения
Siemens AG	Германия	Лидер в области промышленной автоматизации, цифровых двойников и подключенных экосистем.
Rockwell Automation	США	Передовые системы управления, MES-платформы и оптимизация на основе IIoT.
ABB Ltd.	Швейцария	Робототехника, системы движения и электропривода, решения для устойчивого производства.
Schneider Electric	Франция	Энергоэффективная автоматизация, промышленное ПО и кибербезопасная инфраструктура.
FANUC Corporation	Япония	Промышленные роботы, ЧПУ-системы и решения для высокоточного производства.

Источник составлено автором на основе [3,4,5].

Процесс интеллектуализации затрагивает всю цепочку создания стоимости — от НИОКР и логистики до производства, сервиса и утилизации. Он не ограничен стенами цеха. Цель интеллектуализации производства - создание не просто автоматизированного, а когнитивного предприятия, способного гибко реагировать на изменения рынка, предсказывать сбои и непрерывно самооптимизироваться.

Основной движущей силой этой трансформации являются данные. Интеллектуальное производство использует информацию от машин, датчиков и всей цепочки поставок для автоматической адаптации к изменениям, оптимизации процессов, прогнозирования сбоев и повышения качества. Речь идет не о замене традиционных заводов, а о их поэтапном дополнении передовыми инструментами для более эффективного достижения целей.

Существует большое количество исследований в области темы данной статьи. Это работы Нарбута В.В., Абдикеева Н.М., Тарасовой Е.М., Серышева Р.В., Бокучавы И.В., Куличинского Р.И., Фуфаева М.Д. и др.[6-9]. Однако ряд вопросов нуждаются в уточнении. Важно конкретизировать разграничение процесса («интеллектуализация производства») и результата («умная фабрика») как диалектического единства, что даст точный инструмент для формирования корпоративной и государственной стратегии трансформации. Необходим анализ трендов, вызовов и практик интеллектуализации применительно к современной специфике Российской Федерации в условиях санкционного давления и курса на технологический суверенитет. Остается нерешенным вопрос принципиальных позиций в качестве методологии преодоления системных дисбалансов при цифровой трансформации.

Таким образом, цель работы - исследовать современное содержание интеллектуализации промышленности России и обозначить ориентиры развития.

Методы исследования: качественный и количественный анализ, контент-анализ, литературный обзор.

Основная часть

В начале нашего исследования обратимся к ключевым технологическим составляющим интеллектуального производства, рассмотрим их содержание и значение

Интеллектуализация производства формирует набор взаимосвязанных технологий, которые создают синергетический эффект (рис.2).

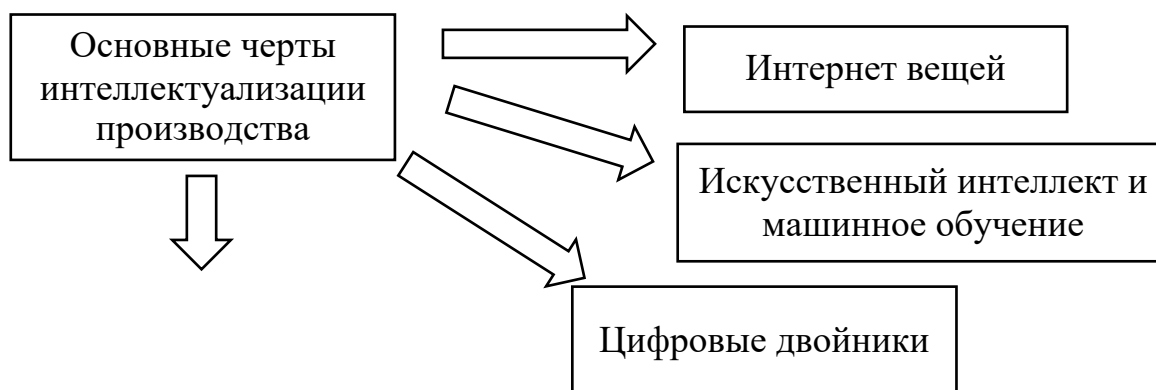


Рисунок 2 – Взаимосвязанные технологии интеллектуального производства

Источник: составлено автором.

Одна из технологий - промышленный интернет вещей и облачные вычисления. Технология соединяет машины, датчики и системы, позволяя собирать и передавать данные в реальном времени, что формирует цифровую нервную систему завода [10]. Облачные вычисления предоставляют масштабируемую инфраструктуру для хранения и анализа этих колоссальных объемов данных, обеспечивая связь между различными участками предприятия и глобальной цепочкой поставок [11].

В качестве современной технологии выступает также - искусственный интеллект и машинное обучение: ИИ и машинное обучение являются «мозгом» интеллектуального производства. Они преобразуют сырые данные в практические идеи: прогнозируют отказы оборудования, оптимизируют рабочие процессы, автоматизируют принятие решений и выявляют аномалии [12]. Например, алгоритмы машинного обучения могут обнаруживать производственные дефекты на ранних стадиях, что позволяет сэкономить время и ресурсы [13].

Также в промышленности активно развиваются и используются цифровые двойники (Digital Twins). Цифровой двойник — это виртуальная копия физического актива, процесса или всей системы [14]. Эта технология позволяет производителям моделировать, тестировать и оптимизировать операции в виртуальной среде без риска для реального производства. Компания Siemens, к примеру, предлагает решения для создания цифровых потоков данных (Digital Thread), обеспечивающих сквозную информацию о продукте на протяжении всего его жизненного цикла [15,16].

Еще один современный технологический тренд - периферийные вычисления (Edge Computing) и 5G. Для задач, требующих мгновенной реакции, таких как обеспечение безопасности или контроль качества, задержка при передаче данных в облако неприемлема. Периферийные вычисления переносят аналитику и ИИ-обработку ближе к источнику данных — в цех, что обеспечивает принятие решений в реальном времени [2]. Технология 5G, в свою очередь, предоставляет необходимую для этого высокоскоростную и низкозатратную связь [17].

Глобальные мировые тренды и вызовы России

Теоретические концепции находят воплощение в реальных производственных практиках, формируя новые тренды. Одна из современных мировых тенденций – это создание «умных фабрик».

Здесь следует внести уточнение в содержание двух понятий «интеллектуализация производства» и «умная фабрика».

В контексте Четвертой промышленной революции (Industry 4.0) термины «интеллектуализация

производства» и «умная фабрика» часто используются как синонимы, однако между ними существует фундаментальное различие, носящее характер диалектического единства процесса и материализованного результата. Понимание этой разницы критически важно для формирования корректной стратегии технологической трансформации предприятия.

Как мы указывали выше, интеллектуализация — это дорожная карта, путь, по которому идет компания.

Умная фабрика — это конкретный, материальный объект, физическое воплощение принципов интеллектуализации на уровне производственной площадки. Это инфраструктурный и технологический результат данного процесса [18]. Содержательная суть умной фабрики раскрывается в том, что - это технологическая экосистема, интегрированная в рамках конкретного завода или цеха. Это «железо и софт», работающие здесь и сейчас. Основной фокус деятельности — производственные активы внутри фабрики: станки, роботы, конвейеры, системы складирования и контроля качества. Цель деятельности - достижение максимальной операционной эффективности: снижение простоев, брака, энергопотребления и повышение гибкости выпуска продукции («массовая кастомизация»). Ключевые технологические компоненты выделены на рисунке 3:

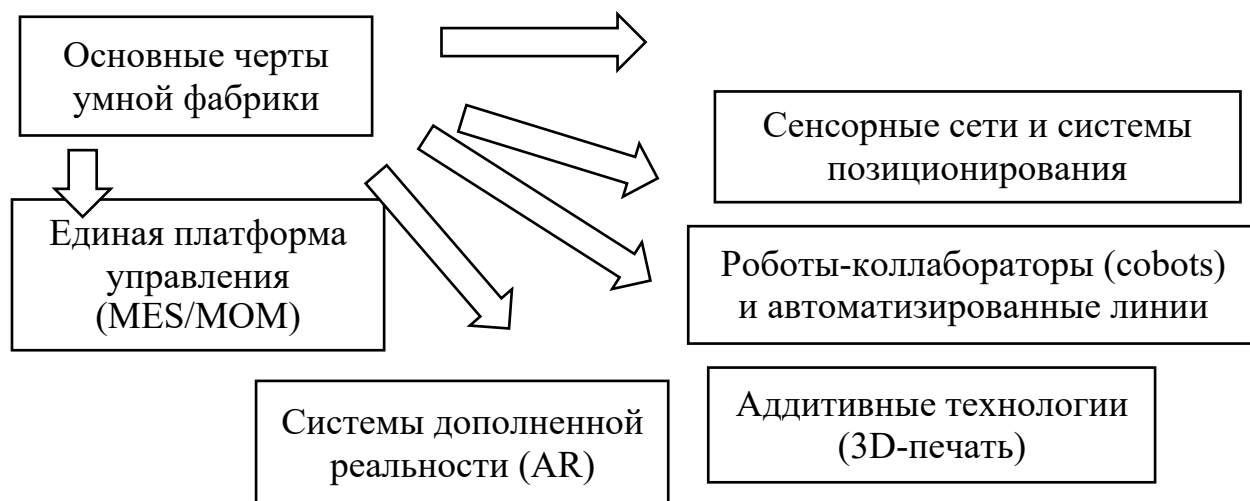


Рисунок 3 – Ключевые технологические компоненты умной фабрики

Источник: составлено автором.

В рамках данной работы целесообразно привести краткую характеристику составляющих умной фабрики, представленных на рисунке, поскольку в своей совокупности они обеспечивают рост экономической эффективности производства.

Единая платформа управления с точки зрения метафоры определяется как «Нервная система» производства, которая превращает данные в действия. Она в режиме реального времени собирает информацию с каждой единицы оборудования, от каждого оператора: темпы производства, простои, качество продукции, расход материалов. Это не просто сбор — это моментальный анализ. Также единая платформа управления формирует «цифровую прозрачность». Это информация о том, что происходит в текущем периоде. Где возникло «узкое место»? Какой станок требует профилактики? Какая смена работает наиболее эффективно? Еще одно преимущество единой платформы управления - автоматизация процессов. Такая система автоматически запускает задания на станки, передаёт техкарты, фиксирует брак по заданным параметрам и управляет материальными потоками, т.е. синхронизирует весь оркестр цеха.

Сенсорная сеть представляет собой распределенную вычислительную инфраструктуру, состоящую из пространственно размещенных автономных устройств — сенсорных узлов. Каждый узел интегрирует в себе функции измерения физических параметров окружающей среды, обработки данных и беспроводной коммуникации. Сенсорные сети и системы позиционирования представляют собой взаимодополняющие технологические платформы для создания цифровых двойников

физических сред. Их интеграция позволяет реализовать сквозной мониторинг пространственно-распределенных объектов с привязкой как к метрическим, так и к физико-химическим параметрам контролируемой среды.

Роботы-колaborаторы (колaborативные роботы) представляют собой категорию промышленных роботов, предназначенных для совместной работы с человеком-оператором в пределах общего рабочего пространства без дополнительных ограждающих устройств. Автоматизированные технологические линии — это взаимосвязанная совокупность технологического оборудования, объединенного единой системой транспортировки, управления и контроля, функционирующая как целостный производственный комплекс. Роботы-колaborаторы и автоматизированные линии представляют собой технологические решения, оптимальное сочетание которых определяется требованиями к гибкости, производительности и уровню автоматизации конкретного производства.

Аддитивные технологии (Additive Manufacturing) — это класс производственных процессов, основанных на поэлементном синтезе физических объектов из цифровых моделей посредством послойного наращивания материала. В отличие от субтрактивных (удаляющих материал) и формообразующих методов, аддитивные технологии реализуют принцип дискретного создания геометрически сложных изделий без использования специализированной оснастки. Аддитивные технологии представляют собой трансформационный подход к производству, обеспечивающий переход от традиционного формообразования к цифровому синтезу функционально-оптимизированных изделий со сложной геометрией и градиентными свойствами.

Системы дополненной реальности (Augmented Reality Systems) — класс человеко-машинных интерфейсов, обеспечивающих реально масштабную интеграцию сгенерированных компьютером сенсорных данных в поле восприятия пользователя в реальном времени. В отличие от виртуальной реальности, дополненная реальность не заменяет физическое окружение, а расширяет его информационными слоями. Системы дополненной реальности представляют собой междисциплинарную технологическую платформу, преобразующую традиционные человеко-машинные интерфейсы в интерактивные гибридные среды. Дальнейшее развитие связано с преодолением существующих ограничений по точности позиционирования, эргономике и вычислительной эффективности, что откроет возможности для создания полноценных киберфизических интерфейсов следующего поколения.

Традиционно составляющие «умной фабрики» были разрозненные системы. Единая платформа объединяет всё в единое цифровое пространство.

Можно констатировать, умная фабрика и интеллектуализация производства находятся в отношении неразрывного симбиоза:

«Умная фабрика» является материальным воплощением и тактическим инструментом «интеллектуализации производства».

Можно построить «умную фабрику», закупив передовое оборудование, но не запустить процесс интеллектуализации компании в целом. В этом случае фабрика станет «островком» автоматизации в «океане» неэффективных ручных процессов в других отделах (логистике, снабжении, R&D).

Обратная ситуация также верна: процесс интеллектуализации неизбежно требует создания «умных фабрик» как своих основных опорных точек. Бессмысленно говорить о сквозной интеллектуализации цепочек создания стоимости, если основное производство остается «темным цехом», не генерирующим данных и не способным к гибкой переналадке.

Таким образом, успешная цифровая трансформация промышленности лежит на пересечении этих двух концепций: стратегический процесс интеллектуализации определяет «зачем» и «куда», а тактические проекты по созданию «умных (интеллектуальных) фабрик» отвечают на вопрос «как» и «где».

По данным на начало 2025 года, в Китае было создано более 30 000 интеллектуальных фабрик базового уровня и свыше 1200 продвинутых предприятий, что демонстрирует масштаб

трансформации [19]. Эти фабрики характеризуются высокой степенью автоматизации, интеграцией роботов с «воплощенным интеллектом», способных к координации «глаз-рука», и оптимизацией процессов на основе данных в реальном времени.

На ведущей мировой промышленной выставке «Hannover Messe 2025» был представлен генеративный ИИ, который был встроен как функция промышленного программного обеспечения (например, Industrial Copilots от Siemens и Genix Copilot от ABB). Также набирает обороты тренд на автономные системы, где технологии, подобные компьютерному зрению (Visual AI), используются для автоматического обнаружения дефектов, снижая потребность в ручном контроле [20].

В России создание «умных фабрик» является ключевым направлением технологического развития, находящимся на стыке государственной стратегии и инициативы частного бизнеса. Этот процесс сочетает в себе адаптацию глобальных тенденций Индустрии 4.0 и формирование собственных, уникальных решений в ответ на современные вызовы.

В российском контексте «умная фабрика» рассматривается как сложная экосистема, выходящая далеко за рамки простой автоматизации отдельных станков.

В отличие от автоматов третьей промышленной революции, современные российские проекты делают ставку на роботов, обладающих гибкостью и интеллектом. Эти системы, включая программных роботов (RPA), получают данные от тысяч датчиков Промышленного Интернета Вещей (IIoT) и с помощью искусственного интеллекта анализируют их для принятия решений [21]. Это позволяет управлять не только конвейерами, но и целыми цехами и беспилотным транспортом.

Сквозная цифровизация позволяет реализовывать деятельность в рамках ключевого принципа — охват всего жизненного цикла изделия, от проектирования до утилизации, с созданием так называемых «цифровых двойников». Такой подход способствует точному прогнозированию поведения оборудования и оптимизации его эксплуатации, снижая расходы на 5-10% [22]. Еще одна тенденция развития умных фабрик в России – это их многоуровневая архитектура. Эксперты выделяют несколько ступеней развития (рис. 3).

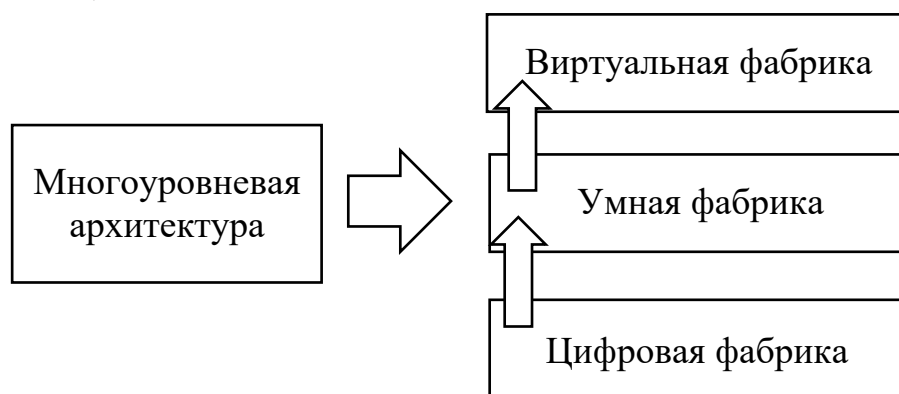


Рисунок 4 – Многоуровневая архитектура развития умной фабрики

Источник: составлено автором на основе [23].

На этапе «Цифровая фабрика» внимание фокусируется на «безбумажном» проектировании и создании виртуальных моделей продукции. Этап «Умная фабрика» сопровождается высоким уровнем автоматизации и роботизации, минимизирующий человеческий фактор («безлюдное производство»). Развитие виртуальных фабрик предполагает объединение цифровых и умных фабрик в распределенную сеть для управления глобальными цепочками поставок.

Современное состояние интеллектуализации производства в России

По уровню проникновения базовых цифровых технологий (широкополосный интернет, облачные сервисы, ERP-системы) обрабатывающая промышленность России занимает первое место среди секторов экономики, обгоняя даже финансовый сектор [23]. В таблице представлены некоторые примеры трансформации промышленных компаний России (табл.2).

Таблица 3 – Примеры цифровой трансформации промышленных компаний России

Компания / Проект	Внедренные технологии и результаты
«Газпром нефть»	Создание цифровых двойников установок на Московском и Омском НПЗ. Использование роботов для загрузки топлива и дронов для контроля хранилищ. Годовой экономический эффект превышает 700 млн рублей.
Опытные полигоны (Testbeds)	Создание испытательных площадок на базе ИППТ СПбПУ, НПО «Сатурн» и др. для отработки и интеграции лучших мировых технологий.
Объединенная двигателестроительная корпорация (ОДК)	Внедрение 3D-печати крупногабаритных деталей для промышленных газотурбинных двигателей
Группа НЛМК	Активное использование BIM-технологий при строительстве, что обеспечило экономию в 560 млн рублей на одном проекте.

Источник: составлено автором на основе [23,24].

Российский рынок «умных фабрик» демонстрирует противоречивую динамику: высокие темпы цифровизации сочетаются с заметным отставанием от мировых лидеров. В то же время, общий уровень автоматизации на крупных предприятиях оценивается в 50%, что существенно ниже показателей западных стран, достигающих 90%. Явный разрыв наблюдается во внедрении инновационных решений, таких как искусственный интеллект и интернет вещей. Ярким примером является низкая плотность роботизации: в 2020 году в России было продано всего 1100 промышленных роботов против 168 тысяч в Китае.

Интеллектуальное производство стало ключевым инструментом достижения целей устойчивого развития. Одним из наиболее значимых вкладов интеллектуального производства является его потенциал в решении экологических задач, что напрямую соотносится с климатическими целями России, включая достижение углеродной нейтральности к 2060 году [24]. Оптимизация с помощью ИИ позволяет значительно сократить потребление энергии и воды. Ярким примером является опыт некоторых заводов, которые с помощью интеллектуальных систем смогли снизить энергопотребление единичного оборудования на 25%, а водопотребление — на 56%.

Интеллектуализация производства способствует повышению ресурсоэффективности. Внедрение технологий IoT и AI позволяет перейти от реактивного к предиктивному управлению ресурсами. Технологические системы в реальном времени мониторят потребление энергии и воды, прогнозируют пиковые нагрузки и автоматически оптимизируют производственные циклы, что ведет к значительному сокращению затрат и снижению экологического следа. Ярким примером является федеральный проект «Чистый воздух», в рамках которого за счет модернизации производств и внедрения новых технологий выбросы загрязняющих веществ в 12 промышленных центрах были снижены на 11% к 2022 году [25].

Интеллектуальное производство тесно связано с развитием низкоуглеродной энергогенерации. Ядерная энергетика, на которую приходится около 20% выработки электроэнергии в России, является одним из ключевых элементов декарбонизации. Как отмечается на пленарном заседании «Российской энергетической недели», цифровизация ТЭК, внедрение AI и «цифровых двойников» являются приоритетами Энергетической стратегии России до 2050 года [26]. Реализация стратегии способствует как энергобезопасности, так и выполнению климатических обязательств.

Интеллектуальные системы позволяют проектировать продукты и управлять производственными процессами с учетом принципов циркулярной экономики (технологии замкнутого цикла). Сенсоры и блокчейн могут отслеживать жизненный цикл продукции и компонентов, облегчая их повторное использование, ремонт и утилизацию, минимизируя образование отходов.

Интеллектуализация производства оказывает непосредственное влияние рынок труда, образование и качество жизни. Устойчивое развитие невозможно без инвестиций в человеческий капитал и обеспечения социального благополучия. Интеллектуализация промышленности способствует трансформации рынка труда и развития образования. Так, создается спрос на принципиально новые профессии и компетенции (Data Scientist, инженер-робототехник, специалист по кибербезопасности). Это стимулирует реформу системы образования, которая планируется к внедрению в 2026 году [27]. В России запускаются инициативы, направленные на подготовку кадров для «зеленой» экономики и ESG-трансформации. Примером является Всероссийский экологический форум «Экосистема» и поддержка экологического просвещения со стороны государства, что формирует экологическое мышление у молодежи.

Повышение безопасности и качества жизни также является прямым следствием интеллектуализации производства. Автоматизация монотонных и опасных производственных процессов с помощью роботов и автономных систем значительно снижает травматизм и профессиональные заболевания. Кроме того, улучшение экологической обстановки в промышленных городах (как в рамках упомянутого проекта «Чистый воздух») напрямую повышает качество жизни миллионов граждан, что является одной из ключевых целей УР. Еще одна черта и условие устойчивого развития – это развитие регионов. Использование объектов интеллектуальной собственности, таких как патенты и передовые технологии, стимулирует инновационную активность в регионах, способствуя их диверсифицированному и устойчивому развитию. Взаимодействие малого инновационного бизнеса и региональных властей в этой сфере оценивается как перспективное направление.

Из приведенного исследовательского обзора становится очевидным, что реализация потенциала интеллектуального производства требует скоординированных усилий государства и бизнеса.

В России приняты основополагающие документы, задающие вектор развития, такие как Стратегия научно-технологического развития РФ, которая утверждена Указом Президента Российской Федерации от 28 февраля 2024 г. № 145 [28] и Климатическая доктрина Российской Федерации, утвержденная Указом Президентом Российской Федерации от 26 октября 2023 г. № 812 [29]. В них подчеркивается необходимость перехода от сырьевой модели к инновационной, основанной на собственных технологиях. Заместитель председателя Правительства А. Новак в рамках проведения Российской энергетической недели обозначил, что к 2035 году ожидается полная цифровизация энергетического сектора, что является частью курса на технологический суверенитет [30].

Обсуждение

Интеллектуализация промышленности — это объективный и необратимый глобальный тренд, переопределяющий основы конкурентоспособности. Компании, которые смогут эффективно интегрировать технологии ИИ, цифровых двойников и анализа данных в свои операции, получат беспрецедентные преимущества в виде гибкости, эффективности и устойчивости. Дальнейшее развитие будет связано с углублением интеграции генеративного и агентного ИИ, повышением уровня автономности систем и созданием полностью цифровых и экологических цепочек создания стоимости. Будущее производства — это адаптивная, человекоцентричная и устойчивая экосистема, управляемая интеллектом и данными.

Дальнейшее развитие интеллектуализации производства в России зависит от решения ряда системных проблем.

1. Высокие капитальные затраты - значительные первоначальные инвестиции являются барьером, особенно для малых и средних предприятий.

2. Кадровый дефицит - нехватка квалифицированных специалистов, способных работать с передовыми цифровыми системами.

3. Проблемы интеграции - сложности с объединением новых решений с устаревшими системами (legacy systems) и обеспечением совместимости.

4. Кибербезопасность - повышенные риски, связанные с увеличением количества подключенных устройств и интеграцией ИТ/ОТ систем.

Ответом на эти вызовы стала разработка стратегического подхода к интеллектуализации. Исследователи предлагают концепцию 3С (согласованность, сбалансированность, синхронность), направленную на системную увязку отраслевых стратегий развития на базе сквозных технологий и ИИ. Концепция 3С — это стратегическая управленческая рамка, разработанная для преодоления системных дисбалансов при цифровой трансформации промышленных предприятий. Она предлагает три взаимосвязанных принципа, обеспечивающих целостность и эффективность перехода к интеллектуальному производству [31].

1. Согласованность (Координация) - это вертикальная и горизонтальная интеграция всех элементов производственной системы. По вертикали - стратегические цели топ-менеджмента должны быть неразрывно связаны с операционными задачами цехового уровня и функционалом технологических платформ. Решение, принятое на основе данных с датчика станка, должно автоматически влиять на логистику и управление цепочками поставок. По горизонтали - ликвидация «цифровых разрывов» и «информационных бункеров» между отделами (конструкторским бюро, производством, службой маркетинга и логистики). Данные должны беспрепятственно циркулировать, обеспечивая единое информационное пространство.

2. Сбалансированность (Баланс) - это оптимизация ресурсов и рисков при внедрении технологий Индустрии 4.0, которая предполагает:

- ресурсный баланс - равновесие между инвестициями в «железо» (роботы, сенсоры) и в «софт» (ИИ-алгоритмы, кибербезопасность, переподготовку персонала). Недопущение ситуации, когда дорогостоящее оборудование не используется на полную мощность из-за нехватки квалифицированных кадров.

- технологический баланс - сочетание прорывных инноваций (генеративный ИИ) с модернизацией существующих активов (legacy-систем). Цель — не «ломать» действующее производство, а плавно и эффективно его трансформировать.

3. Синхронность - это динамическая координация процессов в реальном времени. В отличие от линейного подхода «спланировал — выполнил», синхронность предполагает, что все элементы производственной системы (от заказа поставщика до отгрузки готового продукта) функционируют как единый живой организм, мгновенно реагируя на изменения. Это достигается за счет сквозной цифровизации и использования технологий вроде цифровых двойников, которые позволяют в виртуальной среде проигрывать сценарии и синхронизировать физические операции до их реального выполнения.

С нашей точки зрения, учитывая современные тренды интеллектуализации экономики России данная концепция должна быть дополнена еще одним принципом – это соответствие (комплементарность).

Данное дополнение вытекает из логики самой концепции и призвано устранить потенциальный стратегический пробел. Дело в том, что даже идеально согласованные, сбалансированные и синхронизированные в реальном времени системы могут оказаться неэффективными, если они не соответствуют (не комплементарны) фундаментальным параметрам бизнес-среды, специфике предприятия и долгосрочным целям его развития.

«Соответствие» — это стратегический принцип, требующий обеспечения глубинной гармонии и взаимной обусловленности между выбираемыми технологическими решениями в рамках Индустрии 4.0 и стратегическим направлениям развития. Так, принцип «соответствие» реализуется в взаимосвязях бизнес-моделей предприятий и рыночного позиционирования. Внедрение роботизированной линии для массовой кастомизации теряет смысл на предприятии, работающем в нише мелкосерийного, уникального производства экспертного уровня. Комплементарность здесь означает выбор технологий, усиливающих ключевые компетенции и ценностное предложение

компании, а не следующих абстрактному тренду «умных фабрик».

Не менее актуально соответствие технологическому ландшафту и экосистеме. Инвестиции в проприетарную платформу цифрового двойника, не имеющую открытых API и не совместимую с решениями ключевых поставщиков или потребителей в цепочке создания стоимости, создают «цифровой вакуум». Комплементарность подразумевает выбор и развитие технологий, которые естественно встраиваются в отраслевую и межотраслевую экосистему, обеспечивая не внутреннюю, а сетевую эффективность.

В условиях, обозначенных в статье выше, критически важным становится соответствие стратегии интеллектуализации курсу на технологический суверенитет. Комплементарность требует взвешенного подхода к использованию иностранных платформ и активного внедрения отечественных решений, где это возможно, создавая таким образом не только эффективную, но и устойчивую, защищенную от внешних шоков производственную систему.

Еще одно направление, обеспеченное принципом соответствия – это человеческий капитал и организационная культура. Внедрение сложных AI-систем прогнозной аналитики на предприятии с хроническим дефицитом data-аналитиков и консервативной культурой принятия решений «сверху вниз» обречено на провал или недоиспользование. Комплементарность создает синхронизацию темпа и глубины технологической трансформации с программами переобучения персонала, изменением управленческих практик и эволюцией корпоративной культуры.

Таким образом, введение четвертого «С» создает замкнутый, более устойчивый стратегический цикл:

- «Согласованность – Соответствие» - в этой части согласованность обеспечивает вертикальную и горизонтальную интеграцию решений, что задает содержательный критерий для этой интеграции;
- «Сбалансированность – Соответствие» - здесь сбалансированность оптимизирует ресурсы между «железом», «софтом» и кадрами. Соответствие определяет стратегическую пропорцию этой балансировки, диктуемую внешними и внутренними условиями;
- «Синхронность – Соответствие» - в этой взаимосвязи синхронность обеспечивает динамическую координацию процессов в реальном времени. Соответствие гарантирует, что синхронизируется правильный набор процессов, максимально соответствующий актуальным стратегическим задачам, а не просто технически связанные между собой операции.

Эта концепция призвана преодолеть несогласованность в действиях участников процесса и создать единое пространство для информационного взаимодействия.

Выводы

Проведенное исследование позволяет заключить, что мировой рынок технологий интеллектуального производства находится на крутой траектории роста, движимой четвертой промышленной революцией. Его трансформация в триллионнодолларовую индустрию к началу 2030-х годов выглядит неизбежной. Ключевыми векторами развития может стать упрощение и снижение стоимости решений на основе демократизации технологий, что позволит активнее вовлекать в трансформацию малые и средние предприятия. Также, совершенно очевидна возрастающая роль агентного ИИ. Автономные системы, способные самостоятельно ставить и выполнять задачи, станут новым рубежом автоматизации, трансформируя бизнес-модели и обязанности персонала. Обозначается четкий ориентир развития в направлении устойчивости. Интеллектуальное производство станет основным инструментом для достижения целей по снижению углеродного следа и переходу к циркулярной экономике [32].

В этих условиях для российских компаний промедление с цифровой трансформацией грозит потерей конкурентоспособности, в то время как для государств поддержка внедрения этих технологий становится вопросом обеспечения национальной промышленной конкурентоспособности в глобальном масштабе.

Предложенная дополненная методологическая концепция «4С» (Согласованность,

Сбалансированность, Синхронность, Соответствие) представляет собой целостную управленческую рамку. Она позволяет перевести процесс интеллектуализации производства из плоскости технической оптимизации в плоскость стратегического развития. «Соответствие» обеспечивает, чтобы этот процесс был не просто эффективным, но и целесообразным, устойчивым и суверенным, что в полной мере отвечает на вызовы, обозначенные в исходной статье. Это превращает концепцию из инструмента внедрения технологий в философию осмысленной технологической трансформации промышленности. Принцип «Соответствие (Комплементарность)» выполняет роль стратегического фильтра и компаса. Он призван минимизировать риски двух ключевых ошибок: технологического фетишизма и стратегического миметицизма. Технологический фетишизм – это внедрение передовых технологий ради самих технологий, без четкого понимания их вклада в уникальную конкурентность и устойчивость конкретного предприятия в его специфическом контексте и стратегического миметицизма. Стратегический миметицизм означает слепое копирование успешных цифровых стратегий лидеров рынка (например, немецких или китайских) без критической адаптации к особенностям российского рынка, регуляторике, состояния цепочек поставок и кадрового потенциала. Дополненная методологическая концепция «4С» определяет границы конкретного практического инструмента для руководителей и органов госуправления по координации усилий, балансировке ресурсов и обеспечению динамической синхронизации процессов при переходе к Индустрии 4.0.

Чёткое разграничение процесса («интеллектуализация производства») и результата («умная фабрика») как диалектического единства даёт точный инструмент для формирования корпоративной и государственной стратегии трансформации, что позволит предприятиям избежать ошибок (например, создания «островков» автоматизации) и выстраивать целостную дорожную карту цифровизации, связывая тактические проекты со стратегическими целями.

Анализ трендов, вызовов и практик интеллектуализации применительно к специфике Российской Федерации даёт российским промышленникам, регуляторам и инвесторам дополнительный взгляд на состояние отрасли. Рассмотрение интеллектуального производства не только как инструмента экономической эффективности, но как ключевого фактора достижения национальных приоритетов: технологического суверенитета, экологических целей (декарбонизация) и социального развития (новые рабочие места) показывает бизнесу и государству, как инвестиции в интеллектуализацию напрямую способствуют выполнению стратегических документов (Климатическая доктрина, Энергостратегия до 2050 г.) и повышению качества жизни, обосновывая тем самым их необходимость.

Таким образом, интеллектуальное производство, характеризуемое интеграцией киберфизических систем, интернета вещей (IIoT) и искусственного интеллекта, трансформирует не только экономические, но и экологические, и социальные направления промышленности России. В условиях глобальных вызовов и санкционного давления технологический суверенитет и переход к низкоуглеродной экономике становятся императивами государственной политики и ключевым инструментом достижения целей устойчивого развития России. Через призму экологии оно проявляется в декарбонизации ТЭК и повышении ресурсоэффективности. В социальной сфере оно стимулирует создание новых высококвалифицированных рабочих мест, улучшение условий труда и здоровья населения. Экономически оно обеспечивает переход от сырьевой зависимости к экономике, основанной на знаниях и интеллектуальном капитале. Успех дальнейшей интеграции будет зависеть от последовательной государственной политики, гибкости корпоративных стратегий, включая управление интеллектуальной собственностью, и непрерывного развития человеческого потенциала, что в совокупности заложит фундамент для действительно устойчивого будущего страны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зеленцова Л.С., Уколов В.Ф., Тихонов А.И. Развитие интеллектуализации промышленности России: стратегический подход // Управление. – 2023. – Т. 11. – № 4. – С. 17-24.
2. What is Industry 4.0? Интернет ресурс - URL: <https://www.ibm.com/think/topics/industry-4-0> (дата обращения: 17.10.2025). — Текст: электронный.
3. Ключевые выводы рынка технологий интеллектуального производства: Интернет ресурс - URL: <https://www.verifiedmarketreports.com/ru/product/smart-manufacturing-technology-market/> (дата обращения: 17.11.2025). — Текст: электронный.
4. Размер рынка умного производства и анализ доли - тенденции роста и прогнозы (2025 - 2030) Интернет ресурс - URL: <https://www.mordorintelligence.com/ru/industry-reports/smart-manufacturing-market> (дата обращения: 17.12.2025). — Текст: электронный.
5. Smart Manufacturing Market Интернет ресурс - URL: <https://www.prnewswire.com/news-releases/smart-manufacturing-market-set-to-hit-us1-097-26-bn-by-2035-with-robust-15-25-cagr-growth-vantage-market-research-302618239.html> (дата обращения: 17.11.2025). — Текст: электронный.
6. Нарбута В.В., Абдикеева Н.М. Интеллектуализация промышленного производства как фактор достижения технологического суверенитета: сущность и принципы // Мир новой экономики. 2025. Т. 19. № 3. С. 6-16.
7. Тарасова Е.М. Интеллектуализация факторов производства // Вестник университета. 2010. № 4. С. 89-96.
8. Серышев Р.В., Бокучава И.В., Куличинский Р.И. Интеллектуализация производства в эпоху 4.0 // Самоуправление. 2022 №3 (131) С. 674-679.
9. Фуфаев М.Д. Интеллектуализация промышленного производства как фактор повышения эффективности инновационной деятельности // Московский экономический журнал. 2025. Т. 10. № 5. С. 152-165.
10. Интеллектуальное производство: руководство по интеллектуальному производству // Ultralytics: Интернет ресурс - URL: <https://www.ultralytics.com/ru/blog/smart-manufacturing> (дата обращения: 17.10.25). — Текст: электронный.
11. Алюнов, А. Н., Основы интернета вещей: учебное пособие / А. Н. Алюнов, А. Ахмад, Е. Ю. Ключков. — Москва: КноРус, 2025. — 213 с.
12. Mahadu Vinayak Kurkute, Gowrisankar Krishnamoorthy Real-Time IoT Data Analytics for Smart Manufacturing: Leveraging Machine Learning for Predictive Analytics and Process Optimization in Industrial Systems. // Journal of Science & Technology: Интернет ресурс - URL: <https://thesciencebrigade.com/jst/article/view/453> (дата обращения 18.10.2025). — Текст: электронный.
13. Тенденции развития искусственного интеллекта в России // TAdviser: Интернет ресурс - URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Тенденции_развития_технологий_искусственного_интеллекта_в_России._Обзор_TAdviser_2025 (дата обращения: 17.10.2025) — Текст: электронный.
14. Anticipating the Future: Top 5 Industrial IoT Trends in 2025—Compared to 2024 [Электронный ресурс] // IoT Analytics. Интернет ресурс - URL: <https://iot-analytics.com/top-industrial-technology-trends/> (дата обращения: 17.10.2025) — Текст: электронный.
15. Тарануха Н.Л., Семёнова С.В., Панков С.Н. Цифровой двойник - эффективный инструмент цифровой трансформации промышленных предприятий // Интеллектуальные системы в производстве. 2023. Т. 21. № 3. С. 11-26.
16. Стекцер Б.И. Периферийные вычисления как неотъемлемая часть цифровой трансформации // Автоматизация в промышленности. 2022. № 1. С. 35-38.
17. Мороз В.Д., Филипченко А.М., Денисова Н.А. Технология беспроводной связи wan 5g как инструмент цифровизации экономики российской федерации: проблемы внедрения и перспективы развития // Вестник Екатеринбургского института. 2022. № 3 (59). С. 40-46.
18. Фонтана К.А., Ерзнкян Б.А. «Умная фабрика» и ключевые технологии индустрии 4.0 (обзор)

// Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Экономика и управление. 2022. № 4. С. 53-67.

19. Развитие интеллектуального производства: как интеллектуальные фабрики трансформируют промышленный ландшафт Китая // Fox tech robot: Интернет ресурс - URL: <https://www.foxtechrobotics.com/ru/the-rise-of-smart-manufacturing-how-intelligent-factories-are-transforming-china-s-industrial-landscape> (дата обращения: 17.10.2025) — Текст: электронный.

20. Hannover Messe 2025 представляет будущее искусственного интеллекта в промышленности // Хабр: Интернет ресурс - URL: <https://habr.com/ru/news/898768/?ysclid=mguu0v2nlc398928103> (дата обращения: 17.10.2025) — Текст: электронный.

21. «Умные» фабрики: большие и маленькие // ПСБ: Интернет ресурс - URL: <https://rustechnology.ru/success-stories/umnye-fabriki-bolshie-i-malenkie/> (дата обращения: 17.10.2025) — Текст: электронный.

22. Многоуровневая структура Фабрик Будущего // Технет: Интернет ресурс - URL: <https://technet.spbstu.ru/article/fabriki-budushhego> (дата обращения 17.10.2025) — Текст: электронный.

23. Как умнеют российские заводы и фабрики // РБК: Интернет ресурс - URL: <https://plus.rbc.ru/news/60e349027a8aa92b11a213ce> (дата обращения: 17.10.2025) — Текст: электронный.

24. Sustainable development as a major factor in a country's economic growth // Общественная палата Российской Федерации: Интернет ресурс - URL: <https://report2023.oprf.ru/en/sustainable-development.html> (дата обращения: 17.10.2025) — Текст: электронный.

25. Федеральный проект чистый воздух. Поэтапное снижение выбросов опасных загрязняющих веществ // MNR-AIR: Интернет ресурс - URL: <https://mnr-air.ru/> (дата обращения: 17.10.2025) — Текст: электронный.

26. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2050 года, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 12 апреля 2025 г. № 908-р // Правительство России: Интернет ресурс - URL: <http://static.government.ru/media/files/LWYfSENa10uBrrBoyLQqAAOj5eJYlA60.pdf> (дата обращения: 17.10.2025) — Текст: электронный.

27. Минобрнауки назвало сроки перехода на новую систему высшего образования // РИА Новости: Интернет ресурс - URL: <https://ria.ru/20250709/obrazovanie-2028082750.html?ysclid=mgur9v0zsl334457963> // (дата обращения 17.10.2025) — Текст: электронный.

28. Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации // Президент России: Интернет ресурс - URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/50358> (дата обращения: 17.10.2025) — Текст: электронный.

29. Климатическая доктрина Российской Федерации // Президент России: Интернет ресурс - URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/49910> (дата обращения: 17.10.2025) — Текст: электронный.

30. Пленарное заседание Международного форума «Российская энергетическая неделя» 16 октября 2025г. // Президент России Интернет ресурс - URL: <http://www.kremlin.ru/events/president/transcripts/speeches/78233> (дата обращения: 17.10.2025) — Текст: электронный.

31. Зеленцова Л. С, Уколов В. Ф., Тихонов А. И. Развитие интеллектуализации промышленности России: стратегический подход // Киберленинка Интернет ресурс - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-intellektualizatsii-promyshlennosti-rossii-strategicheskiy-podhod> (дата обращения: 17.10.2025) — Текст: электронный.

32. Meshkova N., Boyarskaya O., Golovchanskaya E., Stepanova J. Modern imperatives of economic security system development: national priorities and challenges// Finance, economics, and industry for sustainable development (ESG 2023)Proceedings of the 4th International Scientific Conference on Sustainable Development. Cham. 2024. P. 159-170.

Intelligentization of the real economy: current trends, challenges, and solutions

Elena Eduardovna Golovchanskaya

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor,

Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia

Email: eegolovchanskaya@fa.ru

KEYWORDS

: intellectualization of production, Industry 4.0, smart factory, artificial intelligence (AI), digital twin, technological sovereignty

ABSTRACT

The colossal technological shift known as the Fourth Industrial Revolution (Industry 4.0) is transforming global industry, making it more connected, automated, and intelligent. Smart Manufacturing is the integration of operational technology (OT) and information technology (IT), enabling the creation of fully connected and flexible production systems. These systems, based on real-time data, are capable of self-optimization of both individual processes and the entire production chain. Currently, the market for intelligent manufacturing technologies is actively growing, which, combined with the previous arguments, confirms the importance of researching this topic. This article explores the state of key technologies that form this new paradigm approach, analyzes the practical directions of its implementation, and outlines the prospects for further development. The author's conclusions are based on theoretical data, including an evolutionary perspective on industrial revolutions, the essence of intellectual production, and its technological components. The article provides statistical evidence to support the author's arguments. The focus is on exploring current trends in the intellectualization of production in the Russian Federation. The author highlights the importance of smart factories, artificial intelligence (AI), and digital twins. The novelty of the research lies in its complexity and situational applicability. On this basis, the author complements the 3C management concept with the principle of compliance and forms the 4C methodological concept, which can serve as a guideline for a new analytical model of the intellectualization of Russian industry. The following areas of development are highlighted: the democratization of technologies, the introduction of autonomous systems into automation processes, and the transition to a circular economy. This work serves as a guide for industrial enterprises in choosing their development vector and for government agencies in developing support measures. The study proves that accelerated intellectualization is not just a technological trend, but a condition for ensuring the country's economic security, sovereignty, and sustainable development.
