

DOI: 10.37930/1990-9780-2025-1-83-146-162

Ю. В. Вертакова¹, Е. В. Шкарунета²

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО В УСЛОВИЯХ ИНДУСТРИИ X.0

Исследование посвящено формированию концептуальных основ интеллектуального производства в условиях Индустрии X.0. В работе обоснована концептуальная триада «умное → интеллектуализированное → интеллектуальное» производство, позволяющая классифицировать современные промышленные системы с учётом уровня их автономности, цифровой интеграции и использования когнитивных технологий. Предложен эволюционный фреймворк, отражающий трансформацию промышленности от автоматизированных и цифровых моделей к когнитивно-ориентированным интеллектуальным экосистемам. Описана методика оценки интеллектуальной зрелости промышленных отраслей по 11 ключевым направлениям и 36 показателям, отражающим уровень внедрения технологий искусственного интеллекта. Проанализирован индекс интеллектуальной зрелости для отраслей обрабатывающей промышленности за 2024 г.: индекс составил 3,5 балла из 10 возможных, что свидетельствует о средней степени готовности отрасли к внедрению интеллектуальных технологий. Выявлены ключевые барьеры и перспективы интеграции интеллектуального производства в Индустрию X.0, в том числе и развитие виртуальных двойников, расширение человеко-машинного сотрудничества, децентрализация управления на основе блокчейна и внедрение устойчивых цифровых решений. Будущие исследования будут направлены на дальнейшую детализацию концепции интеллектуального производства в условиях Индустрии X.0, а также на совершенствование методики оценки интеллектуальной зрелости с учётом когнитивных и эмоционально-человеко-машинных взаимодействий.

Ключевые слова: искусственный интеллект, интеллектуальное производство, интеллектуализированное производство, умное производство, методика, интеллектуальная зрелость, готовность, индекс искусственного интеллекта, Индустрия X.0.

УДК 330.352

Введение

В условиях стремительного развития концепции Индустрии X.0 интеллектуальное производство становится ключевым направлением научных исследований и практических внедрений. Современные промышленные предприятия сталкиваются с необходимостью повышения гибкости, индивидуализации продукции, обеспечения

¹ *Юлия Владимировна Вертакова*, профессор кафедры маркетинга Российского государственного гуманитарного университета (125047, РФ, Москва, Миусская площадь, д. 6), д-р экон. наук, профессор, e-mail: vertakova7@yandex.ru.

² *Елена Витальевна Шкарунета*, профессор кафедры цифровой и отраслевой экономики Воронежского государственного технического университета (394071, РФ, Воронеж, 20-летия Октября, д. 84), д-р экон. наук, профессор, e-mail: 9056591561@mail.ru.

качества и устойчивости производства. Эти вызовы обусловлены не только технологическим прогрессом, но и изменяющимися социально-экономическими условиями, требующими нового подхода к организации производственных процессов [1].

Индустрия X.0 представляет собой концепцию, объединяющую ключевые элементы Индустрии 4.0 (2011–наст.в.), Индустрии 5.0 (2020–наст.в.) и перспективной Индустрии 6.0 (ожидаемой в 2028–2030 гг.). В настоящее время наблюдается сосуществование Индустрии 4.0 и 5.0, где первая направлена на цифровизацию и автоматизацию производства, а вторая фокусируется на человеко-ориентированных, устойчивых и гибридных решениях. Некоторые авторы рассматривают текущую Индустрию 5.0 через призму первой и второй волн, вводя понятие гибридных и коэволюционных индустрий или используя обозначения Индустрии X.0, X.Y., что предполагает дальнейшую эволюцию. В этом контексте концепция Индустрии X.0 служит методологической основой для исследования переходных процессов между технологическими эпохами и для подготовки к будущим трансформациям.

Интеллектуальное производство, основанное на интеграции технологий промышленного интернета вещей (IIoT), кибер-социо-физических систем (CSPS), облачных вычислений и анализа больших данных (BDA), открывает новые возможности для повышения эффективности производства. В то же время возникают новые сложности, связанные с управлением интеллектуальными производственными системами, их адаптацией к динамично изменяющимся условиям, обеспечением безопасности и устойчивости. В контексте Индустрии 4.0 значительное внимание уделялось автоматизации и цифровой трансформации, в Индустрии 5.0 акцент смещается в сторону человеко-ориентированного подхода, устойчивости и гибкости. В Индустрии 6.0 формируется гиперсвязанная среда, в которой технологии проникают во все аспекты промышленного производства и управления, обеспечивая непрерывную адаптацию к изменяющимся условиям.

Анализ актуальных научных публикаций показывает, что значительный вклад в развитие интеллектуального производства внесли такие исследования, как Zhong et al. [2], рассматривающие принципы интеллектуального производства в Индустрии 4.0, а также Liu et al. [3], изучающие внедрение интеллектуальных производственных технологий в условиях Индустрии 5.0 с акцентом на устойчивость.

С. А. Толкачев, К. Н. Андрианов, Н. В. Лапенкова [4] рассматривают интеллектуальное производство в контексте Третьей промышленной революции, анализируя его технологические предпосылки и влияние на производственные системы. Е. Н. Мещерякова, Ю. А. Боровикова [5] исследуют интеллектуальное производство как новую стадию развития интеллектуальных систем, фокусируясь на его цифровых, когнитивных и адаптивных возможностях. С. А. Грязнов [6] изучает концепцию «умной промышленности» и «умного производства», анализируя их влияние на эффективность промышленных предприятий в условиях цифровизации. И. В. Неволин [7] анализирует технологии построения искусственных обществ и сферы их применения, раскрывая потенциал цифровых моделей в управлении социально-экономическими процессами. А. Р. Бахтизин [8] рассматривает применение суперкомпьютерных технологий для моделирования развития общества, выделяя их роль в прогнозировании и управлении социально-экономическими системами. С. А. Толкачев [9] анализирует промышленную политику «байденномики» в контексте смены технологического и мирохозяйственного укладов, выявляя ключевые тренды и последствия для глобальной экономики. А. В. Ломанов, А. А. Золотарёв [10] исследуют стратегические принципы

нономики в межгосударственных и межрегиональных отношениях, оценивая их теоретическое и практическое значение.

Н. А. Симченко [11] исследует стратегии внедрения цифровых двойников в промышленности, акцентируя внимание на их влиянии на эффективность и устойчивость производственных процессов. Исследования Lei et al. [12] демонстрируют потенциал цифровых двойников и сотрудничества человека и робота в интеллектуальном производстве, подчёркивая важность взаимодействия новых технологий с человеческими ресурсами.

Y. Liu, L. Zheng [13] исследуют взаимосвязь между уровнем интеллектуального производства и эффективностью корпоративных инвестиций, выявляя влияние автоматизации и цифровизации на финансовые стратегии компаний. X. Li et al. [14] анализируют, как интеллектуальное производство способствует модернизации человеческого капитала в Китае, подчёркивая роль цифровых технологий в трансформации компетенций рабочих. Y. Zhou et al. [15] рассматривают связь между выпуском зелёных облигаций и развитием интеллектуального производства, выявляя влияние устойчивого финансирования на технологические инновации в китайских компаниях. Y. Hu [16] изучает финансовую оптимизацию автоматизированных производственных процессов с применением облачных вычислений и алгоритмов энергосбережения, оценивая их экономическую эффективность. Y. Liu, Y. Zuo [17] исследуют, как реализация стратегий интеллектуального производства способствует росту совокупной факторной производительности за счёт развития промышленных цепочек. X. Cai, P. Lin, R. Wang [18] анализируют влияние интеллектуального производства на корпоративную экологическую трансформацию, оценивая эффекты внедрения «зелёных» технологий. J. Yang, J. Yu, M. Bao [19] исследуют влияние интеллектуального производства на торговый кредит, выявляя изменения в механизмах финансирования и ликвидности предприятий. P. Gu et al. [20] предлагают модель сетевого создания ценности, основанную на теории синергии, применимую в интеллектуальном производстве для повышения координации и эффективности взаимодействий. A. Emer et al. [21] рассматривают примеры потенциальных приложений био-интеллектуального производства, акцентируя внимание на интеграции биотехнологий и автоматизированных производственных систем. C. Zhang et al. [22] предлагают обзор возможностей, путей развития и вызовов, связанных с применением больших языковых моделей в интеллектуальном производстве нового поколения. X. Yue et al. [23] разрабатывают метод многоцелевой оптимизации для энергосберегающего гибридного потокового производства в мебельной отрасли с учётом транспортных ограничений. M. Katariya, A. Mathur, S. Singh [24] исследуют роль интеллектуального производства в достижении целей устойчивого развития (SDGs), оценивая его влияние на экологическую и социальную устойчивость. Z. Wang et al. [25] разрабатывают многоуровневую систему управления и распознавания действий для сотрудничества человека и робота в условиях интеллектуального производства нового поколения. Ю. В. Вертакова и В. А. Плотников рассматривают как знаниевый компонент приводит к трансформации социально-экономической системы к ноомике [26], Н. Г. Яковлева [27] рассматривает трансформацию «человека экономического» в «человека культурного» в рамках теории нономики, анализируя влияние человеческого капитала на развитие экономики будущего, а В. А. Плотников отмечает, что при этом возникает такой эффект социализации, как удалённая занятость [28].

Несмотря на значительные достижения в данной области, остаётся ряд нерешённых вопросов, касающихся интеграции различных цифровых технологий, управ-

ления интеллектуальными производственными системами, адаптации моделей производства к устойчивому развитию.

В данной статье поставлена цель – сформировать концептуальный абрис интеллектуального производства в условиях Индустрии X.0. В рамках исследования рассматриваются ключевые аспекты эволюции промышленных систем, их трансформация под влиянием цифровизации, автоматизации и когнитивных технологий. Разрабатывается концептуальная триада интеллектуального, интеллектуализированного и умного производства. Анализируется соответствие промышленных систем концептуальным этапам технологического развития. Отдельное внимание уделяется методике оценки интеллектуальной зрелости промышленных отраслей, позволяющей определить уровень готовности отраслей к интеграции технологий ИИ. В ходе исследования выявляются ключевые направления и показатели оценки интеллектуальной зрелости. Предлагается шкала оценки интеллектуальной зрелости отраслей. Рассчитывается индекс интеллектуальной зрелости (ИИЗ) для отраслей обрабатывающей промышленности за 2024 г., а на основе анализа индекса выявляются ключевые вызовы, с которыми сталкиваются отрасли и предприятия в процессе интеллектуализации. Завершающим этапом исследования становится анализ перспектив интеграции интеллектуального производства в Индустрию X.0. Рассматриваются возможности применения виртуальных двойников, человеко-машинного сотрудничества и децентрализованных автономных систем в будущих промышленных экосистемах.

Методы и материалы

Исследование основано на диалектическом подходе, который обеспечивает всесторонний анализ интеллектуального производства с учётом его динамичного развития и эволюционной адаптации в условиях Индустрии X.0. В рамках исследования применяются методы системного, комплексного и междисциплинарного анализа, позволяющие учитывать многоаспектность изучаемого феномена и его взаимосвязи с технологическими, социально-экономическими и институциональными процессами. Методы компаративного анализа применяются для сопоставления различных моделей интеллектуального производства, выявления их преимуществ и недостатков, а также определения степени зрелости промышленных экосистем в различных странах и отраслях. Для построения концептуальной триады «умное – интеллектуализированное – интеллектуальное производство» используется метод выделения таксономических признаков, позволяющий дифференцировать уровни интеллектуализации промышленных систем. Для количественной оценки интеллектуальной зрелости промышленных отраслей используются интегральный метод, метод линейной нормализации и методы компьютерного анализа данных. Рейтингование и метод бенчмаркинга применяются для сравнительного анализа показателей интеллектуальной трансформации в различных странах и секторах промышленности. Кабинетные исследования, основанные на анализе научных публикаций и отчётов различных организаций, позволяют определить перспективные направления развития интеллектуального производства. Методы триангуляции данных используются для агрегирования количественных и качественных показателей, обеспечивая высокую достоверность полученных результатов. Таким образом, применяемая методология обеспечивает комплексное исследование интеллектуального производства, охватывая теоретические, эмпирические и прогнозные аспекты его развития в условиях Индустрии X.0.

Результаты и обсуждение

Интеллектуальное, интеллектуализированное и умное производство в условиях Индустрии X.0

Интеллектуальное производство, на взгляд авторов, целесообразно рассматривать через призму оценочной триады: умное, интеллектуализированное и непосредственно интеллектуальное производство (см. рис.1). Данная триада позволяет выявить и дифференцировать ключевые характеристики производственных систем в условиях цифровой трансформации и интеллектуализации экономики данных.

Умное производство (smart manufacturing)	Интеллектуализированное производство (intelligent manufacturing)	Интеллектуальное производство (intellectual manufacturing)
<ul style="list-style-type: none"> • Делает упор на автономность, сетевую интеграцию и самоуправляемые системы • Основывается на сетевых технологиях, автономных системах и кибер-физических комплексах 	<ul style="list-style-type: none"> • Использует цифровые инструменты для усиления интеллектуального компонента • Ориентировано на цифровую автоматизацию и предиктивные модели управления 	<ul style="list-style-type: none"> • Ориентировано на знание-емкость и инновационную деятельность человека • Строится на приоритете знаний и креативности • Представляет собой эволюционный процесс, в котором на каждом этапе изменяется роль знаний, технологий и человеческого капитала

Рис. 1. Концептуальная триада «умное → интеллектуализированное → интеллектуальное» производство (составлено авторами)

Умное производство – это производственная модель, основанная на широком применении цифровых платформ, интернета вещей (IoT), блокчейн-технологий и кибер-физических систем для достижения максимальной гибкости, адаптивности и интеграции в глобальные производственные сети. Основной акцент делается на автоматическое взаимодействие между машинами, динамическую реконфигурацию производственных линий и минимизацию человеческого вмешательства в операционные процессы. Умное производство является ключевым элементом концепции «умных фабрик» в рамках Индустрии 4.0 и Индустрии 5.0.

Интеллектуализированное производство – это система, в которой ключевую роль играет применение передовых цифровых технологий (ИИ, большие данные, цифровые/виртуальные двойники, предиктивная аналитика и автономные системы) для оптимизации процессов и управления ресурсами. Под виртуальными двойниками авторы подразумевают копии, выходящие за рамки технологии цифровых двойников, отражающие новый уровень конвергенции и применения технологий. Виртуальный двойник, по определению Dassault Systèmes, – это «цифровая копия как самого продукта, так и его истории и эволюции»³. Интеллектуализация производства предполагает активное использование алгоритмов для принятия решений, автоматизации и предиктивного управления, но человек продолжает оставаться центральным элементом, формулирующим стратегические цели и контролирующим деятельность.

³ Virtual Twin Experiences. Dassault Systèmes. <https://www.3ds.com/virtual-twin> (дата обращения: 03.03.2025).

Интеллектуальное производство – это производственная система, в которой центральную роль играет человеческий интеллект, знания и креативные способности, а технологии служат инструментами для повышения эффективности, качества и устойчивости производства. В такой системе основной ресурс – это интеллектуальный капитал, который включает научные разработки, патенты, передовые инженерные решения и высококвалифицированные кадры. Производственные процессы основаны на когнитивных технологиях, глубоком анализе данных и адаптивных управленческих моделях.

В целях интеграции концептуальной триады «умное → интеллектуализированное → интеллектуальное» производство в Индустрию X.0 авторы предлагают следующий фреймворк, описывающий эволюцию промышленных систем и их соответствие концептуальным этапам технологического развития (рис. 2).



Рис. 2. Эволюционный фреймворк промышленных систем и их соответствие концептуальным этапам технологического развития (составлено авторами)

Представленный фреймворк описывает прогрессивный переход от умного производства, основанного на автоматизированных цифровых технологиях, к интеллектуализированному производству, использующему предиктивные алгоритмы и экспертные системы, а затем – к интеллектуальному производству, функционирующему на основе когнитивных, автономных и предсказательных механизмов. В то же время обозначается трансформация управления: от централизованного контроля данных и процессов в Индустрии 4.0 к распределённым гибридным человеко-машинным моделям Индустрии 5.0 и, наконец, к когнитивной самоорганизации промышленности в рамках Индустрии 6.0.

Таким образом, системная трансформация индустриальных экосистем обеспечивает переход от цифровизации к интеллектуализации, от автоматизированного производства к адаптивным автономным системам и от механистического управления к когнитивной координации в условиях гиперсвязанной промышленной вселенной [29].

Методика оценки интеллектуальной зрелости промышленных отраслей

Уровень интеллектуализации (точнее, интеллектуализированности) производства целесообразно оценивать на основе показателя интеллектуальной зрелости. В Индустри-

ях 4.0 и 5.0 ключевым индикатором трансформации промышленных предприятий выступала цифровая зрелость – показатель готовности к интеграции в новый технологический уклад, основанный на цифровых технологиях, автоматизации и обработке данных. Однако с переходом к Индустрии 6.0 наблюдается смена парадигмы оценки – от цифровой зрелости к интеллектуальной зрелости, отражающей уровень когнитивной и автономной трансформации промышленных экосистем.

Индустрия 6.0 характеризуется гиперсвязанностью, когнитивно-эмоциональной интеграцией человека и машины, автономностью решений, адаптивными промышленными экосистемами, а также внедрением квантовых и мультиагентных технологий [30]. В этом контексте цифровая трансформация становится лишь частью более глубокой интеллектуальной трансформации, что требует новых подходов к оценке зрелости промышленных систем.

Интеллектуальная зрелость промышленных экосистем – это интегральный показатель, характеризующий уровень готовности промышленности к внедрению и эффективному использованию искусственного интеллекта (ИИ) в производственных, управленческих, логистических и иных процессах. Этот показатель отражает степень интеграции интеллектуальных технологий в индустриальные модели нового поколения, обеспечивая автономность, адаптивность и когнитивную синергию промышленных систем в условиях Индустрии 6.0.

Оценка интеллектуальной зрелости осуществляется через индекс интеллектуальной зрелости (ИИЗ), или индекс готовности приоритетных сфер деятельности к внедрению ИИ (Индекс ИИ), представляющий собой цифровое значение, полученное на основе комплексного анализа ключевых направлений готовности промышленности к интеграции ИИ. Индекс ИИ был введён в рамках реализации Поручения Президента РФ⁴, предписывающего с 2023 г. проведение мониторинга результатов применения технологий ИИ в экономике и социальной сфере, а также мониторинга эффективности государственной политики по обеспечению их внедрения.

В расчёт Индекса ИИ включены показатели, отражающие производственные и институциональные аспекты интеллектуализации, а также степень технологической, кадровой и нормативной обеспеченности внедрения ИИ. Существующая методика оценки интеллектуальной зрелости промышленных экосистем в 2024 г. охватывает одиннадцать ключевых направлений⁵ (в 2023 г. таких направлений было восемь⁶). Ин-

⁴ Перечень поручений по итогам конференции «Путешествие в мир искусственного интеллекта» (утв. Президентом РФ 29.01.2023 N Пр-172). https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_438761/ (дата обращения: 03.03.2025).

⁵ Индекс готовности приоритетных отраслей экономики Российской Федерации к внедрению искусственного интеллекта. Аналитический доклад. – М.: Национальный центр развития искусственного интеллекта при Правительстве Российской Федерации, 2024. – 85 с. https://ai.gov.ru/knowledgebase/infrastruktura-ii/2024_indeks_gotovnosti_prioritetnyh_otrasley_ekonomiki_rossiyskoy_federacii_k_vnedreniyu_iskusstvennogo_intellekta_ncrrii_pri_pravitelystve_rf/ (дата обращения: 03.03.2025).

⁶ Индекс интеллектуальной зрелости отраслей экономики, секторов социальной сферы и системы государственного управления Российской Федерации: Аналитический доклад. М.: Национальный центр развития искусственного интеллекта при Правительстве Российской Федерации, 2023. – 62 с. – https://ai.gov.ru/knowledgebase/infrastruktura-ii/2023_indeks_intellektualnoy_zrelosti_otrasley_ekonomiki_sektorov_socialnoy_sfery_i_sistemy_gosudarstvennogo_upravleniya_rossiyskoy_federacii_ncrrii_pri_pravitelystve_rf/ (дата обращения: 03.03.2025).

декс ИИ рассчитывается путём агрегирования нормированных значений 36-ти показателей, характеризующих ключевые аспекты интеллектуальной трансформации (табл. 1).

Таблица 1

Ключевые направления и показатели оценки интеллектуальной зрелости, готовности отраслей к внедрению ИИ (источник: ⁷)

Ключевые направления	Показатели оценки
1. Производство и распространение продуктов в области ИИ	1. Доступность продуктов ИИ
	2. Доля отечественных продуктов ИИ
2. Уровень использования ИИ в организациях различных отраслей	3. Доля организаций, использующих ИИ
	4. Доля организаций, применяющих ИИ в основных процессах
3. Эффекты и экономическая результативность применения ИИ	5. Доля организаций, получивших эффект от ИИ
	6. Воздействие ИИ на основные процессы
	7. Воздействие ИИ на обеспечивающие процессы
	8. Воздействие ИИ на управленческие процессы
4. Государственная политика развития и применения ИИ	9. Наличие стратегии развития ИИ в отрасли
	10. Наличие плана внедрения ИИ в отрасли
	11. Наличие системы управления ИИ в отрасли
5. Регулирование и нормативно-правовая поддержка ИИ	12. Эффективность правового регулирования ИИ
	13. Эффективность технического регулирования ИИ
	14. Наличие профильных общественных организаций
	15. Доля организаций со стратегией ИИ
6. Реализация стратегий и программ развития и использования ИИ	16. Доля организаций с планом внедрения ИИ
	17. Доля организаций с финансированием ИИ
	18. Наличие системы управления ИИ в организациях
	19. Доля организаций, обеспеченных ИИ-специалистами
7. Кадровая обеспеченность и уровень компетенций в области ИИ	20. Осведомлённость руководителей об ИИ
	21. Осведомлённость сотрудников об ИИ
	22. Доля обученных специалистов по ИИ
	23. Доля обученных руководителей по ИИ
	24. Доля обученных сотрудников по ИИ
8. Исследования и разработки в сфере ИИ	25. Число патентов по ИИ
9. Данные и инфраструктурные возможности для ИИ	26. Обеспеченность организаций данными для ИИ
10. Цифровая инфраструктура для внедрения интеллектуальных технологий	27. Обеспеченность вычислительной инфраструктурой
	28. Обеспеченность платформенной инфраструктурой
	29. Доля организаций с интернетом >100 Мбит/с
	30. Доля организаций, использующих цифровые платформы
11. Доверие, безопасность и управление рисками при использовании ИИ	31. Доля организаций с политикой доверия и безопасности ИИ
	32. Доля организаций, считающих, что есть доступные решения по безопасности ИИ
	33. Доля организаций, использующих решения по безопасности ИИ
	34. Доля организаций, применяющих ИИ в кибербезопасности
	35. Наличие отраслевых центров мониторинга ИИ
	36. Наличие отраслевой политики безопасности ИИ

⁷ Индекс готовности приоритетных отраслей экономики Российской Федерации к внедрению искусственного интеллекта. Аналитический доклад. – М.: Национальный центр развития искусственного интеллекта при Правительстве Российской Федерации, 2024. – 85 с. https://ai.gov.ru/knowledgebase/infrastruktura-ii/2024_indeks_gotovnosti_prioritetnyh_otrasley_ekonomiki_rossiyskoy_federacii_k_vnedreniyu_iskusstvennogo_intellekta_ncrri_pri_pravitelystve_rf/ (дата обращения: 03.03.2025).

Методика оценки интеллектуальной зрелости промышленных отраслей включает следующие этапы.

1. *Расчёт показателей индекса ИИ.*

Каждый показатель X_i нормируется в диапазоне от 0 до 10 по следующей формуле:

$$score_i = \frac{X_i}{X_{max}} \times 10, \quad (1)$$

где $score_i$ – нормированное значение i -го показателя,
 X_i – фактическое значение i -го показателя,
 X_{max} – максимальное значение i -го показателя среди всех анализируемых отраслей.

Если показатель имеет разнонаправленную шкалу (например, чем выше – тем хуже), применяется нормирование с учётом минимального значения:

$$score_i = \frac{X_{max} - X_i}{X_{max} - X_{min}} \times 10, \quad (2)$$

где X_{min} – минимальное значение i -го показателя среди отраслей.

2. *Расчёт индекса по направлениям.*

Для каждого из 11 направлений оценки интеллектуальной зрелости рассчитывается среднее взвешенное значение нормированных показателей:

$$score_j = \frac{\sum_{i=1}^m w_i \times score_i}{\sum_{i=1}^m w_i}, \quad (3)$$

где $score_j$ – значение индекса по направлению j ,
 w_i – весовой коэффициент i -го показателя,
 m – количество показателей в направлении.

Направления «Использование ИИ в организациях» и «Эффекты от использования ИИ» имеют повышенные весовые коэффициенты $w_i = 2$, так как они наиболее критичны для оценки интеллектуальной зрелости.

3. *Расчёт интегрального индекса ИИ.*

Финальный Индекс интеллектуальной зрелости (ИИЗ) для промышленной экосистемы рассчитывается как взвешенная сумма индексов направлений:

$$score_{ИИ} = \frac{\sum_{j=1}^{11} v_j \times score_j}{\sum_{j=1}^{11} v_j}, \quad (4)$$

где $score_{ИИ}$ – интегральный индекс интеллектуальной зрелости,
 v_j – весовой коэффициент направления j ,
 11 – количество направлений оценки.

Весовые коэффициенты v_j определяются экспертным путём и могут варьироваться в зависимости от значимости направления для конкретной отрасли.

4. *Группировка отраслей по уровням интеллектуальной зрелости.*

На основе полученного Индекса ИИ отрасли и организации классифицируются по уровню зрелости:

– Начинаящие: $score_{ИИ} < 3,2$ (низкая готовность к внедрению ИИ).

– Развивающиеся: $3,2 \leq score_{ИИ} < 4,1$ (активная цифровизация, но недостаточная интеграция ИИ).

– Лидеры: $score_{ИИ} \geq 4,1$ (высокий уровень интеллектуальной зрелости).

Значения индекса ИИ для отраслей обрабатывающей промышленности за 2024 г. представлено на рис. 3.



Рис. 3. Значения индекса ИИ для отраслей обрабатывающей промышленности за 2024 г. (максимум – 10 баллов) (составлено авторами по данным⁸)

Индекс готовности обрабатывающей промышленности к внедрению ИИ в 2024 г. зафиксировал снижение до 3,5 баллов (-0,4 балла к 2023 г.), что демонстрирует незначительную регрессию интеллектуальной трансформации отрасли на фоне сохраняющихся системных ограничений. Доля организаций, использующих ИИ, достигла 32 %. Доля предприятий, рассматривающих возможность использования интеллектуальных технологий в перспективе трёх лет, зафиксирована на уровне 18 %. Показатели экономической эффективности применения ИИ демонстрируют существенный рост: 42 % организаций, использующих ИИ, оценивают его влияние на бизнес-процессы как существенное или многократное. Несмотря на наличие формализованных стратегий и программных инициатив, эффективность нормативно-правовой среды остаётся спорной: лишь 22 % организаций, использующих или планирующих внедрение ИИ, оценивают существующие механизмы регулирования как частично или полностью эффективные. Лишь 19 % организаций оценивают кадровые ресурсы как достаточные, что на 8 п.п. ниже показателя предыдущего года. Доля предприятий, обладающих достаточными данными для интеграции ИИ, составляет всего 5 %, что свидетельствует о низкой степени готовности экосистемы к масштабированию интеллектуальных решений. Ключевые барьеры внедрения ИИ связаны с нехваткой

⁸ Индекс готовности приоритетных отраслей экономики Российской Федерации к внедрению искусственного интеллекта. Аналитический доклад. – М.: Национальный центр развития искусственного интеллекта при Правительстве Российской Федерации, 2024. – 85 с. https://ai.gov.ru/knowledgebase/infrastruktura-ii/2024_indeks_gotovnosti_prioritetnyh_otrasley_ekonomiki_rossiyskoy_federacii_k_vnedreniyu_iskusstvennogo_intellekta_ncrrii_pri_pravitelystve_rf/ (дата обращения: 03.03.2025).

компетентных специалистов, финансовыми ограничениями, отсутствием долгосрочных стратегий и недостаточной прозрачностью ожидаемых экономических эффектов. Доля компаний, не видящих финансовой целесообразности инвестиций в ИИ, остаётся на уровне 37 %⁹.

Позитивные эффекты от применения ИИ демонстрируют разнонаправленную динамику: несмотря на увеличение доли организаций, отмечающих значительный экономический эффект, наблюдается снижение показателей, связанных с ростом качества решений, объективностью и персонализацией. Данное обстоятельство свидетельствует о сохраняющемся технологическом разрыве между предприятиями, использующими передовые интеллектуальные решения, и организациями, находящимися на этапе экспериментального внедрения интеллектуальных технологий.

Перспективы интеграции интеллектуального производства в Индустрию X.0

Перспективы интеграции интеллектуального производства в Индустрию X.0 связаны с трансформацией традиционных промышленных процессов через симбиоз цифровизации, децентрализации, устойчивого развития и человеко-ориентированных технологий. В условиях эволюции индустриальных парадигм, от Индустрии 4.0 к Индустрии 5.0 и далее, интеллектуальное производство становится ключевым элементом, формирующим новые организационные и технологические модели.

Одним из ключевых направлений развития является интеграция человека в цифровую производственную среду. Концепция цифрового/виртуального двойника человека (Human Digital / Virtual Twin) позволяет не только моделировать и анализировать его рабочие процессы, но и адаптировать производственную среду в реальном времени, что способствует повышению эргономики, снижению утомляемости и улучшению взаимодействия с автоматизированными системами. При этом развитие человеко-машинного сотрудничества (Human-Robot Collaboration) становится основополагающим фактором повышения гибкости производства. Взаимодействие с интеллектуальными роботизированными системами позволяет работникам сосредоточиться на креативных и управленческих задачах, передавая механическую и повторяющуюся работу адаптивным автоматизированным решениям.

Интеллектуализация производства приводит к переосмыслению традиционных подходов к управлению операционными процессами. Использование виртуальных двойников не только для оборудования, но и для производственных процессов позволяет создать виртуальные модели, обеспечивающие высокоточную аналитику и прогнозирование. ИИ встраивается в цепочки принятия решений, оптимизируя управление ресурсами, снижая уровень потерь и повышая операционную эффективность.

Наряду с этим, децентрализация становится определяющим вектором трансформации интеллектуального производства. Автономные децентрализованные производственные системы формируют распределённую структуру управления, обеспечивая высокую адаптивность и отказоустойчивость. Технологии ПоТ создают единую взаимосвязанную среду, где узлы производства, виртуальные двойники и управ-

⁹ Опрос 2024 г. проведен Национальным центром развития искусственного интеллекта при Правительстве Российской Федерации совместно с АО «Всероссийский центр изучения общественного мнения» при поддержке 15 федеральных органов власти, курирующих оцениваемые сферы деятельности, включая Центральный Банк Российской Федерации. В опросе приняли участие более 5 тысяч организаций из приоритетных сфер деятельности.

ляющие системы функционируют в рамках единой киберфизической архитектуры. Децентрализованное управление на основе блокчейна позволяет не только повысить безопасность и прозрачность процессов, но и создать механизмы доверительного взаимодействия между автономными субъектами производства. Таким образом, формируется парадигма интеллектуального производства, способного адаптироваться к динамически изменяющимся условиям внешней среды.

Сохранение устойчивости развития становится неотъемлемой частью интеллектуального производства в Индустрии X.0. Использование концепции «зелёного» интернета вещей (Green IoT) обеспечивает интеллектуальное управление потреблением ресурсов, снижая экологический след промышленных процессов. Внедрение индустриального ИИ (Industrial AI) в модели устойчивого производства позволяет оптимизировать энергопотребление, перераспределять нагрузки и минимизировать отходы. Особую роль играет концепция устойчивых цепочек поставок (Sustainable Supply Chain), где цифровизация и децентрализация обеспечивают замкнутость производственных циклов, снижая издержки и обеспечивая высокую степень ресурсосбережения.

Таким образом, интеллектуальное производство в Индустрии X.0 формирует новый уровень адаптивности, эффективности и устойчивости, сочетая технологические достижения с принципами человеко-ориентированного развития. Интеграция виртуальных двойников, человеко-машинного взаимодействия, децентрализованных автономных систем и устойчивых практик создаёт платформу для перехода к интеллектуальной промышленной экосистеме, в которой гармонично сочетаются технологическая прогрессивность, социальная ответственность и экономическая эффективность.

Заключение

1. Разработана концептуальная триада «умное → интеллектуализированное → интеллектуальное» производство, отражающая эволюцию промышленности в условиях Индустрии X.0. *Умное производство* ориентировано на автономность, сетевую интеграцию и самоорганизующиеся системы на основе кибер-физических технологий. *Интеллектуализированное производство* усиливает интеллектуальный компонент за счёт цифровых инструментов, предиктивных моделей управления и автоматизированного принятия решений. *Интеллектуальное производство* делает акцент на знаниеёмкость, креативность и инновационную деятельность человека, обеспечивая адаптивную трансформацию роли технологий и человеческого капитала в производственных процессах.

2. Создан эволюционный фреймворк промышленных систем, который отражает переход от автоматизированного умного производства к интеллектуализированному и интеллектуальному производству. Определена их взаимосвязь с концептуальными этапами технологического развития, включая Индустрию 4.0, 5.0 и перспективную Индустрию 6.0.

3. Описана существующая методика оценки индекса интеллектуальной зрелости (ИИЗ), или индекса готовности приоритетных сфер деятельности к внедрению ИИ (Индекса ИИ), включающая четыре этапа (расчёт показателей индекса ИИ; расчёт индекса по направлениям; расчёт интегрального индекса ИИ; группировка отраслей по уровням интеллектуальной зрелости).

4. Определены 11 ключевых направлений и 36 показателей оценки интеллектуальной зрелости, охватывающие степень внедрения ИИ, государственную политику,

нормативно-правовую поддержку, кадровое обеспечение, исследования и разработки, инфраструктурные возможности и безопасность интеллектуальных технологий.

5. Предложена шкала оценки отраслей по уровням интеллектуальной зрелости: начинающие (низкая готовности к внедрению ИИ); развивающиеся (активная цифровизация, но недостаточная интеграция ИИ) и лидеры (высокий уровень интеллектуальной зрелости).

6. Проанализирован индекс интеллектуальной зрелости (ИИЗ) для отраслей обрабатывающей промышленности за 2024 г. Средний уровень зрелости составил 3,5 балла, что можно интерпретировать как умеренный уровень готовности к интеграции интеллектуальных технологий. Доля организаций, использующих ИИ, достигла 32 %, доля компаний, оценивающих экономический эффект от ИИ как значительный, – 42 %.

7. Проанализированы перспективы интеграции интеллектуального производства в Индустрию Х.0. Выявлены ключевые векторы развития: внедрение виртуальных (превосходящих цифровые) двойников, расширение человеко-машинного сотрудничества, децентрализация управления производственными процессами с использованием блокчейн-технологий, а также применение устойчивых цифровых решений для повышения эффективности и экологичности промышленного производства.

Список литературы

1. Бодрунов, С. Д. Национальная суперкомпьютерная инфраструктура для моделирования нооразвития / С. Д. Бодрунов // *Экономическое возрождение России*. – 2023. – № 4(78). – С. 5–13. – DOI 10.37930/1990-9780-2023-4-78-5-13. – EDN LPLDTJ.

2. Zhong R. Y. et al. Intelligent manufacturing in the context of industry 4.0: a review // *Engineering*. – 2017. – Т. 3, №. 5. – С. 616–630.

3. Liu S. et al. Toward industry 5.0: Challenges and enablers of intelligent manufacturing technology implementation under the perspective of sustainability // *Heliyon*. – 2024. – Т. 10, №. 15.

4. *Толкачев, С. А.* Интеллектуальное производство сквозь призму третьей промышленной революции / С. А. Толкачев, К. Н. Андрианов, Н. В. Лапенкова // *Мир новой экономики*. – 2014. – №. 4. – С. 28–38.

5. *Мещерякова, Е. Н.* Интеллектуальное производство, как новая ступень развития интеллектуальных систем / Е. Н. Мещерякова, Ю. А. Боровикова // *Современные информационные технологии*. – 2019. – №. 30. – С. 118–120.

6. *Грязнов, С. А.* Умная промышленность и умное производство / С. А. Грязнов // *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*. – 2021. – №. 4-2. – С. 199–201.

7. *Неволин, И. В.* Искусственные общества: технологии построения и сферы применения / И. В. Неволин // *Экономическая наука современной России*. – 2023. – № 4(103). – С. 85–93. – DOI 10.33293/1609-1442-2023-4(103)-85-93. – EDN YPJGPV.

8. *Бахтизин, А. Р.* Применение суперкомпьютерных технологий в моделировании развития общества / А. Р. Бахтизин // *Экономическое возрождение России*. – 2023. – № 4(78). – С. 14–20. – DOI 10.37930/1990-9780-2023-4-78-14-20. – EDN CICULB.

9. *Толкачев, С. А.* Промышленная политика «байденомики» в период смены технологического и мирохозяйственного укладов / С. А. Толкачев // *Экономическое возрождение России*. – 2023. – № 4(78). – С. 21–41. – DOI 10.37930/1990-9780-2023-4-78-21-41. – EDN UBDFFK.

10. Ломанов, А. В. Стратегические принципы ноономики в глобальных межгосударственных и межрегиональных отношениях: теория и практика / А. В. Ломанов, А. А. Золотарёв // *Экономическое возрождение России*. – 2023. – № 4(78). – С. 42–48. – DOI 10.37930/1990-9780-2023-4-78-42-48. – EDN NSZUGP.
11. Симченко, Н. А. Стратегирование внедрения цифровых двойников в промышленности / Н. А. Симченко // *Интегрированные модели современных информационных систем в условиях цифровизации экономики России*. – 2021. – С. 286–290.
12. Lei Z. et al. Intelligent manufacturing from the perspective of Industry 5.0: Application review and prospects // *IEEE Access*. – 2024.
13. Liu Y., Zheng L. Intelligent Manufacturing Level and Corporate Investment Efficiency // *Finance Research Letters*. – 2025. – С. 107107.
14. Li X. et al. Intelligent manufacturing and corporate human capital upgrade in China // *Journal of Asian Economics*. – 2025. – Т. 97. – С. 101886.
15. Zhou Y. et al. Green bonds and intelligent manufacturing: Evidence from listed firms in China // *Economics Letters*. – 2025. – Т. 247. – С. 112150.
16. Hu Y. Research on financial optimization of automatic production process in intelligent manufacturing factory based on cloud computing and thermal energy consumption optimization // *Thermal Science and Engineering Progress*. – 2025. – С. 103450.
17. Liu Y., Zuo Y. Implementing intelligent manufacturing policies to increase the total factor productivity in manufacturing: Transmission mechanisms through construction of industrial chains // *International Journal of Production Economics*. – 2025. – Т. 279. – С. 109468.
18. Cai X., Lin P., Wang R. Intelligent manufacturing and corporate green transformation // *International Review of Financial Analysis*. – 2025. – Т. 97. – С. 103796.
19. Yang J., Yu J., Bao M. Intelligent manufacturing and trade credit // *International Review of Financial Analysis*. – 2025. – Т. 97. – С. 103784.
20. Gu P. et al. A shared value network model based on synergy theory in intelligent manufacturing // *Heliyon*. – 2025. – Т. 11. – № 2.
21. Emer A. et al. Examples of Potential Applications of Bio-intelligent Manufacturing // *Procedia Computer Science*. – 2025. – Т. 253. – С. 2196–2205.
22. Zhang C. et al. A survey on potentials, pathways and challenges of large language models in new-generation intelligent manufacturing // *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. – 2025. – Т. 92. – С. 102883.
23. Yue X. et al. Multi-objective optimization for energy-efficient hybrid flow shop scheduling problem in panel furniture intelligent manufacturing with transportation constraints // *Expert Systems with Applications*. – 2025. – С. 126830.
24. Katariya M., Mathur A., Singh S. Role of intelligent manufacturing in achieving SDGs // *Smart Cities and Sustainable Manufacturing*. – Elsevier, 2025. – С. 9–28.
25. Wang Z. et al. Multi-scale control and action recognition based human-robot collaboration framework facing new generation intelligent manufacturing // *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. – 2025. – Т. 91. – С. 102847.
26. Вертакова, Ю. В. Движение социально-экономической системы к ноономике: аспект знаниевой трансформации / Ю. В. Вертакова, В. А. Плотников // *Экономическое возрождение России*. – 2024. – № 3(81). – С. 12–23.
27. Яковлева, Н. Г. Человеческий потенциал в свете теории ноономики: о трансформации «человека экономического» в «человека культурного» / Н. Г. Яковлева // *Экономиче-*

ское возрождение России. – 2023. – № 4(78). – С. 49–58. – DOI 10.37930/1990-9780-2023-4-78-49-58. – EDN TKXCLH.

28. Плотников, В. А. Удалённая занятость в современных условиях: краткий анализ с позиций концепции социализации / В. А. Плотников // *Экономическое возрождение России*. – 2020. – № 4(66). – С. 43–52.

29. Vertakova, Yu. Strategic Management of the Metaverse Ecosystem in the Context of Web 3.0: Theory, Framework and Tools / Yu. Vertakova, E. Shkarupeta // *Review of Business and Economics Studies*. – 2024. – Vol. 12, No. 4. – P. 29–41. – DOI 10.26794/2308-944X-2024-12-4-29-41. – EDN BFJUJO.

30. Бабкин, А. В. Индустрия 6.0: сущность, тенденции и стратегические возможности для России / А. В. Бабкин, Е. В. Шкарупета // *Экономика промышленности / Russian Journal of Industrial Economics*. – 2024. – Т. 17, №. 4. – С. 353–377.

References

1. Bodrunov S. D. (2023) Natsional'naya superkomp'yuternaya infrastruktura dlya modelirovaniya noorazvitiya [National Supercomputer Infrastructure for Noodevelopment Modelling]. *Economic Revival of Russia*, 4 (78), pp. 5–13. DOI: 10.37930/1990-9780-2023-4-78-5-13. – EDN LPLDTJ.

2. Zhong R. Y. et al. (2017) Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review. *Engineering*, 5 (3), pp. 616–630.

3. Liu S. et al. (2024) Toward Industry 5.0: Challenges and Enablers of Intelligent Manufacturing Technology Implementation Under the Perspective of Sustainability. *Heliyon*, 15 (10), article no. e35162.

4. Tolkachev S. A., Andrianov K. N., Lapenkova N. V. (2014) Intellectual'noye proizvodstvo skvoz' prizmu tret'yey promyshlennoy revolyutsii [Intellectual Production in the Light of the Third Industry Revolution]. *The World of New Economy*, 4, pp. 28–38.

5. Meshcheryakova E. N., Borovikova Y. A. (2019) Intellectual'noye proizvodstvo, kak novaya stupen' razvitiya intellektual'nykh sistem [Intelligent Manufacturing as a New Stage in the Development of Intelligent Systems]. *Modern Information Technologies*, 30, pp. 118–120.

6. Gryaznov S. A. (2021) Umnaya promyshlennost' i umnoye proizvodstvo [Smart Industry and Smart Manufacturing]. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*, 4-2, pp. 199–201.

7. Nevolin I. V. (2023) Iskusstvennyye obshchestva: tekhnologii postroyeniya i sfery primeneniya [Artificial Societies: Design and Applications]. *Economics of Contemporary Russia*, 4 (103), pp. 85–93. DOI: 10.33293/1609-1442-2023-4(103)-85-93. – EDN YPJGPV.

8. Bakhtizin A. R. (2023) Primeneniye superkomp'yuternykh tekhnologiy v modelirovanii razvitiya obshchestva [Application of Supercomputer Technologies for Simulation of Society Development]. *Economic Revival of Russia*, 4 (78), pp. 14–20. DOI: 10.37930/1990-9780-2023-4-78-14-20. – EDN CICULB.

9. Tolkachev S. A. (2023) Promyshlennaya politika «baydenomiki» v period smeny tekhnologicheskogo i mirokhozaystvennogo ukladov [Industrial Policy of “Bidenomics” During the Period of Changing Technological and World Economic Orders]. *Economic Revival of Russia*, 4 (78), pp. 21–41. DOI: 10.37930/1990-9780-2023-4-78-21-41. – EDN UBDFFK.

10. Lomanov A. V., Zolotarev A. A. (2023) Strategicheskiye printsipy noonomiki v global'nykh mezhgosudarstvennykh i mezhregional'nykh otnosheniyakh: teoriya i praktika [Strategic Principles of Noonomy in Global International and Interregional Relations: Theory

and Practice]. *Economic Revival of Russia*, 4 (78), pp. 42–48. DOI: 10.37930/1990-9780-2023-4-78-42-48. – EDN NSZUGP.

11. Simchenko N. A. (2021) *Strategirovaniye vnedreniya tsifrovyykh dvoynikov v promyshlennosti* [Strategizing the Implementation of Digital Twins in the Industry]. In: *Integrirovannyye modeli sovremennykh informatsionnykh sistem v usloviyakh tsifrovizatsii ekonomiki Rossii* [Integrated Models of Modern Information Systems in the Context of Digitalization of the Russian Economy]. Pp. 286–290.

12. Lei Z. et al. (2024) *Intelligent Manufacturing from the Perspective of Industry 5.0: Application Review and Prospects*. *IEEE Access*, 12, pp. 167436–167451.

13. Liu Y., Zheng L. (2025) *Intelligent Manufacturing Level and Corporate Investment Efficiency*. *Finance Research Letters*, 77, article no. 107107.

14. Li X. et al. (2025) *Intelligent Manufacturing and Corporate Human Capital Upgrade in China*. *Journal of Asian Economics*, 97, article no. 101886.

15. Zhou Y. et al. (2025) *Green Bonds and Intelligent Manufacturing: Evidence from Listed Firms in China*. *Economics Letters*, 247, article no. 112150.

16. Hu Y. (2025) *Research on Financial Optimization of Automatic Production Process in Intelligent Manufacturing Factory Based on Cloud Computing and Thermal Energy Consumption Optimization*. *Thermal Science and Engineering Progress*, 60, article no. 103450.

17. Liu Y., Zuo Y. (2025) *Implementing Intelligent Manufacturing Policies to Increase the Total Factor Productivity in Manufacturing: Transmission Mechanisms Through Construction of Industrial Chains*. *International Journal of Production Economics*, 279, article no. 109468.

18. Cai X., Lin P., Wang R. (2025) *Intelligent Manufacturing and Corporate Green Transformation*. *International Review of Financial Analysis*, 97, article no. 103796.

19. Yang J., Yu J., Bao M. (2025) *Intelligent Manufacturing and Trade Credit*. *International Review of Financial Analysis*, 97, article no. 103784.

20. Gu P. et al. (2025) *A Shared Value Network Model Based on Synergy Theory in Intelligent Manufacturing*. *Heliyon*, 11(2), article no. e41711.

21. Emer A. et al. (2025) *Examples of Potential Applications of Bio-intelligent Manufacturing*. *Procedia Computer Science*, 253, pp. 2196–2205.

22. Zhang C. et al. (2025) *A Survey on Potentials, Pathways and Challenges of Large Language Models in New-Generation Intelligent Manufacturing*. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 92, article no. 102883.

23. Yue X. et al. (2025) *Multi-Objective Optimization for Energy-Efficient Hybrid Flow Shop Scheduling Problem in Panel Furniture Intelligent Manufacturing with Transportation Constraints*. *Expert Systems with Applications*, 274, article no. 126830.

24. Katariya M., Mathur A., Singh S. (2025) *Role of Intelligent Manufacturing in Achieving SDGs*. *Smart Cities and Sustainable Manufacturing*, Elsevier, pp. 9–28.

25. Wang Z. et al. (2025) *Multi-Scale Control and Action Recognition Based Human-Robot Collaboration Framework Facing New Generation Intelligent Manufacturing*. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 91, article no. 102847.

26. Vertakova Y. V., Plotnikov V. A. (2024) *Dvizheniye sotsial'no-ekonomicheskoy sistemy k noonomike: aspekt znaniyevoy transformatsii* [The Movement of Socio-Economic System Towards Noonomy: Knowledge Transformation Aspect]. *Economic Revival of Russia*, 3 (81), pp. 12–23.

27. Yakovleva N. G. (2023) *Chelovecheskiy potentsial v svete teorii noonomiki: o transformatsii «cheloveka ekonomicheskogo» v «cheloveka kul'turnogo»* [The Human Potential in Rela-

tion to Noonomy Theory: of Transformation of the “Homo Economicus” to the “Homo Culturalis”]. *Economic Revival of Russia*, 4 (78), pp. 49–58. DOI: 10.37930/1990-9780-2023-4-78-49-58. – EDN TKXCLH.

28. Plotnikov V. A. (2020) *Udalennaya zanyatost' v sovremennykh usloviyakh: kratkiy analiz s pozitsiy kontseptsii sotsializatsii [Remote Employment Under Modern Conditions: Brief Analysis from the Perspective of Socialization Theory]*. *Economic Revival of Russia*, 4 (66), pp. 43–52.

29. Vertakova Y., Shkarupeta E. (2024) *Strategic Management of the Metaverse Ecosystem in the Context of Web 3.0: Theory, Framework and Tools. Review of Business and Economics Studies* 4 (12), pp. 29–41. DOI: 10.26794/2308-944X-2024-12-4-29-41. – EDN BFJUJO.

30. Babkin A. V., Shkarupeta E. V. (2024) *Industriya 6.0: sushchnost', tendentsii i strategicheskiye vozmozhnosti dlya Rossii [Industry 6.0: The Essence, Trends and Strategic Opportunities for Russia]*. *Russian Journal of Industrial Economics*, 4 (17), pp. 353–377.

Y. V. Vertakova¹⁰, E. V. Shkarupeta¹¹. Intelligent Manufacturing in the Context of Industry X.0. The purpose of this study is to formulate conceptual foundations of intelligent manufacturing in the context of Industry X.0. The paper substantiates the conceptual triad "smart → intellectualized → intelligent" manufacturing, which allows classifying modern industrial systems considering the level of their autonomy, digital integration and the use of cognitive technologies. An evolutionary framework is proposed that reflects the transformation of industry from automated and digital models to cognitive-oriented intelligent ecosystems. The authors describe a methodology for assessing the intellectual maturity of industrial sectors, including 11 key areas and 36 indicators reflecting the level of implementation of artificial intelligence technologies. The intellectual maturity index for manufacturing industries for 2024 was analyzed, which amounted to 3,5 points out of 10 (maximum), which indicates an average degree of readiness of the industry for the implementation of intelligent technologies. Key obstacles and prospects for integrating intelligent manufacturing into Industry X.0 have been identified, including the development of virtual twins, expansion of human-machine collaboration, decentralization of blockchain-based management, and the implementation of sustainable digital solutions. Future research will be focused on further detailing the concept of intelligent manufacturing in the context of Industry X.0, as well as improving the methodology for assessing intellectual maturity, taking into account cognitive and emotional human-machine interactions.

Keywords: artificial intelligence, intelligent manufacturing, intelligentized manufacturing, smart manufacturing, methodology, intellectual maturity, readiness, artificial intelligence index, Industry X.0.

¹⁰ *Yulia V. Vertakova*, Professor at the Department of Marketing, Russian State University for the Humanities (6 Miusskaya pl., Moscow, 125047, Russia), Doctor of Economics, Professor, e-mail: vertakova7@yandex.ru.

¹¹ *Elena V. Shkarupeta*, Professor at the Department of Digital and Industrial Economics, Voronezh State Technical University (84 20-letiya Oktyabrya ul., Voronezh, 394071, Russia), Doctor of Economics, Professor, e-mail: 9056591561@mail.ru.