

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 338.32

DOI: 10.26730/2587-5574-2022-3-78-87

КИБЕРФИЗИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ЧЕЛОВЕК В КОНТЕКСТЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА ИНДУСТРИИ 4.0

Абу-Абед Ф.Н.

Тверской государственный технический университет

**Информация о статье**

Поступила:

05 Сентября 2022 г.

Одобрена после рецензирования:

21 Сентября 2022 г.

Принята к публикации:

26 Октября 2022 г.

Ключевые слова: Индустрия 4.0, киберфизические системы, интеллектуальное производство, искусственный интеллект, машинный интеллект

Аннотация.

Ультрасовременная концепция развития промышленности основана на технологиях Индустрии 4.0, ядром которых являются киберфизические системы, основанные на искусственном (машинном) интеллекте, «умной» роботизации, безлюдных интеллектуальных производственных системах. Их эволюция происходит от цифровых «замкнутых» производственных систем к сетевым, и с каждым новым поколением киберфизические системы становятся все более автономными за счет развития машинного самообучения, распространяющегося на всю цепочку промышленного производства. Переосмысление роли людей в переходе к четвертому поколению киберфизических систем в интеллектуальном производстве развивает интеллектуальные способности людей, позволяя им концентрироваться на инженерном творчестве. Поэтому предметом исследования стали те формы, которые принимает соединение человека и киберфизических систем, новые возможности роста производительности и конкурентоспособности, а также связанные с этим риски. Гипотеза исследования заключается в возможности перехода к четвертому поколению киберфизических систем в процессе технологического перехода – от индивидуальных до сетевых отраслевых систем интеллектуального производства, – что означает новый принцип структуроформирования в экономике. В статье рассмотрена эволюция киберфизических систем интеллектуального производства, выделены преимущества и риски их внедрения в современной промышленности.

Для цитирования: Абу-Абед Ф.Н. Киберфизические системы и человек в контексте интеллектуального производства Индустрии 4.0 // Экономика и управление инновациями. 2022. № 3 (22). С. 78-87. DOI: 10.26730/2587-5574-2022-3-78-87

CYBER-PHYSICAL SYSTEMS AND HUMAN IN THE CONTEXT OF INTELLIGENT PRODUCTION OF INDUSTRY 4.0

Fares Abu-Abed

Tver State Technical University

**Article info**

Submitted:

05 September 2022

Approved after reviewing:

21 September 2022

Abstract.

The ultra-modern concept of industrial development is based on Industry 4.0 technologies, the core of which is cyber-physical systems based on artificial (machine) intelligence, smart robotics, unmanned intelligent production systems. Their evolution is from digital "closed" production systems to network ones, and with each new generation, cyber-physical systems become more autonomous due to the development of machine learning, which spreads to the entire chain of industrial production. Rethinking the role of people in the transition to the fourth generation of cyber-physical systems in intellectual production develops the intellectual abilities of people, allowing them to concentrate on engineering creativity. Therefore, the subject of the study is the forms that the connection of a person and cyber-physical systems

Accepted for publication:
26 October 2022

Keywords:
Industry 4.0, cyber-physical systems, intelligent manufacturing, artificial intelligence, machine intelligence.

takes, new opportunities for increasing productivity and competitiveness, as well as the risks associated with this. The research hypothesis lies in the possibility of transition to the fourth generation of cyber-physical systems in the process of technological transition – from individual systems to network branches intelligent production, which means a new principle of structure formation in the economy. The article considers the evolution of cyber-physical systems of intelligent production, highlights the advantages and risks of their implementation in modern industry.

For citation: Abu-Abed F.N. Cyber-physical systems and human in the context of intelligent production of Industry 4.0. *Economics and Innovation Management*, 2022, no. 3 (22), pp. 78-87. DOI: 10.26730/2587-5574-2022-3-78-87

1 Introduction / Введение

Наиболее передовой концепцией развития современной экономики считается т.н. «интеллектуальное» производство, которое охватывает создание как новых материальных ценностей, так и интеллектуальных продуктов, а также оказание высокотехнологичных услуг. Интеллектуальное производство как процесс использования производительных сил и технологий Индустрии 4.0 (искусственного интеллекта, «больших данных», «умных» роботов, машинного обучения и пр.) постоянно развивается с начала 21 в. по мере интеграции информационных и промышленных технологий [1, 2].

За прошедшие две декады многие отрасли промышленности прошли этапы развития от «цифрового производства» [3, 4] к производству с цифровыми сетями [5, 6], и сегодня речь идет о грядущем расширении «интеллектуального производства нового поколения» (New Generation Intelligent Manufacturing – NGIM) [7].

Ряд авторов выделяет основные задачи, стоящие перед развитием интеллектуального производства: повышение качества массово производимой продукции (в глобальном масштабе), ускорение окупаемости инвестиций и снижение затрат, повышение конкурентоспособности на перенасыщенных рынках. Технологическая база промышленных систем интеллектуального производства образована различными формами соединения человека и киберфизических систем (human and cyber-physical systems – HCPS). [8]. Такие системы характеризуются глубокой интеграцией технологий искусственного интеллекта нового поколения (основанных на нейросетях, использовании «умных» сенсоров, машинного зрения и обучения) с отраслевыми технологиями промышленного производства (добывающими, металлургическими, обрабатывающими, транспортными, строительными и пр.) [9].

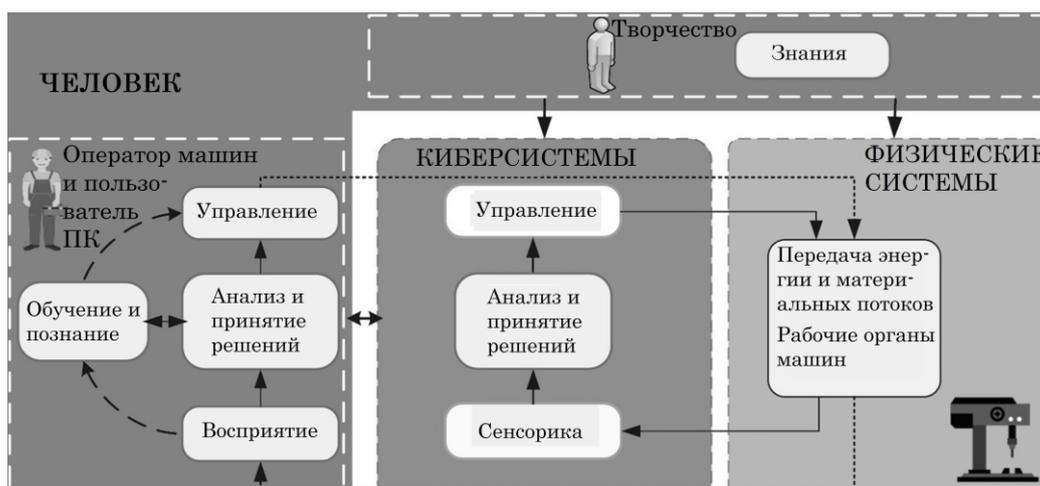


Рис. 1. Структура киберфизической системы интеллектуального производства [8]
Fig. 1. The structure of the cyber-physical system of intellectual production [8]

Следует выделить составляющие традиционных производственных систем – люди и физически существующие (материализованные) средства производства, такие как машины, оборудо-

вание, здания и сооружения. То есть традиционные промышленные системы могут быть охарактеризованы как человеко-физические системы, которые составляли основу предыдущих промышленных революций – от Индустрии 1.0 (начало 19 в.) до Индустрии 3.0 (первая половина 20 в.). В них есть многие виды трудовой и когнитивной деятельности работников, такие как восприятие, познание, обучение, анализ, принятие решений, контроль и эксплуатация.

Напротив, цифровые производственные системы характеризуются внедрением киберсистем – сперва как посреднического звена (в 1990-2000-х гг.), затем – как самостоятельных производительных сил (с 2010-х гг.). Киберсистема состоит из программного обеспечения (нематериальная часть) и различного физического оборудования (материальная часть). В целом роль человека в киберфизических системах интеллектуального производства переходит от контроля над оборудованием к наделению его знаниями (Рис. 1).

Рис. 1 наглядно демонстрирует переход машин с узким набором функций к многофункциональным машинам, позволяющим реализовать гибкое сверхвысокопроизводительное производство. Такой переход также назван некоторыми авторами как «Вторая эра машин» [10].

2 Materials and Methods / Материалы и методы

В развитии современных киберфизических систем интеллектуального производства ряд авторов выделяет ряд этапов, характеризуемых появлением сперва единичных, затем отраслевых, и далее доминирующих систем интеллектуального производства [8, 11-13].

Первое поколение киберфизических систем основано на технологиях Индустрии 4.0, прежде всего на искусственном интеллекте и «умной» роботизации, которые выполняют значительный объем вычислительных и аналитических операций, управления отдельными объектами, ранее выполнявшихся людьми. При этом киберсистемы, как и физические системы, проектируются и создаются людьми, равно как базовые алгоритмы вычислений, анализа и управления разрабатываются людьми, которые используют накопленные знания и опыт, а также эмпирические данные и навыки обслуживания.

Второе поколение киберфизических систем – цифровые производства, которые отличаются от предыдущего поколения своим ядром – киберсистемой. В ней Интернет и облачные вычисления выступают в качестве инструмента системной интеграции, скоординированной и интегрированной оптимизации. В таких интегрированных киберсистемах люди объединены в своего рода сети производства, обслуживания и программирования, и структура промышленного производства трансформируется из модели, ориентированной на продукт, к модели, ориентированной на потребителей (модель «производство-услуги»).

Третье поколение киберфизических систем – цифровое сетевое производство – развивается в модели «интернет + цифровое производство», и заключается в формировании сетевых взаимодействий между людьми, цифровыми данными, «вещами» (материальными объектами) и процессами (объектами управления) через такие сети, как «Интернет вещей», «Интернет людей» и «Интернет энергии» [14, 15].

В результате меняется форма промышленных производственных цепочек создания стоимости в ходе интеграции процессов внутри предприятия и отдельных предприятий, совместного использования и оптимизации различных ресурсов. Например, производители станков-«умных» роботов и их дилеры могут участвовать в их обслуживании удаленно, а также перенастраивать оборудование под нужды потребителей, высказываемых ими в социальных группах и сетях.

В настоящее время киберфизические системы первого, второго и даже третьего поколения активно внедряются в современных промышленных предприятиях [8]. Четвертое поколение киберфизических систем находится в процессе создания и начального этапа внедрения. Такие системы интеллектуального производства включают в себя новый компонент, позволяющий «умным» роботам – управляющим системам оборудования – выполнять самообучение с использованием искусственного интеллекта и нейросетей. Такие интеллектуальные киберсистемы могут самостоятельно воспринимать информацию, принимать решения и контролировать их выполнение. Все это становится возможным благодаря тому, что «умные» роботы постепенно начинают обладать способностью учиться и генерировать новые знания, которые создаются совместно людьми и модулем самообучения киберсистем. Ключевое отличие знаний, создаваемых киберсистемами, от знаний, генерируемых людьми, заключается в том, что машины создают и используют обилие метаданных, быстрота обработки которых позволяет обновлять всю базу знаний.

Ж. Джи, З. Янхонг, У. Байкун, З. Джиюан отмечают, что четвертое поколение киберфизических систем интеллектуального производства не подавляет, а развивает интеллектуальные способности людей, раскрывая их интеллектуальный потенциал в процессе раскрепощения производительных сил, поскольку люди освобождаются не только от физического, но и от части интеллектуального труда, концентрируются на инженерном творчестве [8].

Таким образом, интеллектуальное производство, поощряемое киберфизическими системами четвертого поколения, развивается поэтапно (Рис. 2 [8]).

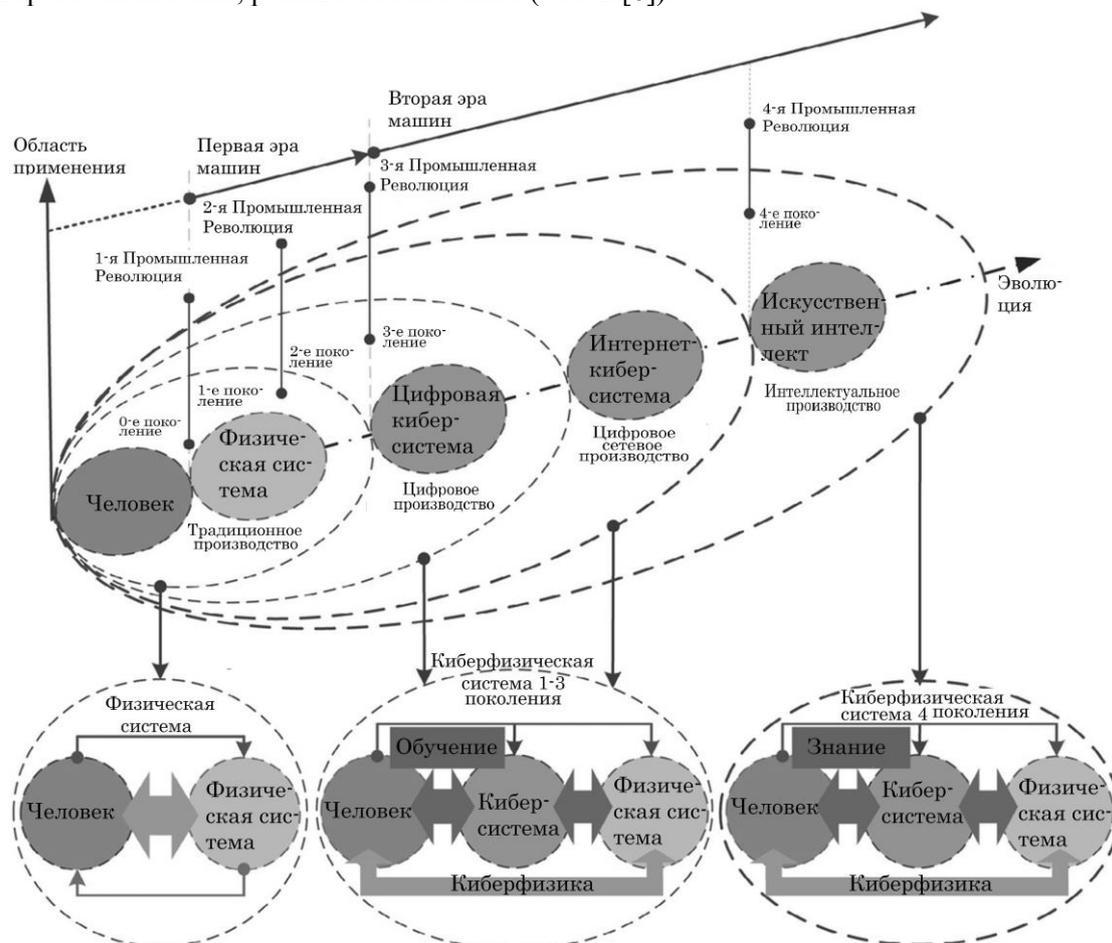


Рис. 2. Этапы развития киберфизических систем интеллектуального производства
 Fig. 2. Stages of development of cyber-physical systems of intellectual production

Основываясь на выделенных этапах эволюции промышленных киберфизических систем, можно представить их как средство решения проблем модернизации как обрабатывающей, так и добывающей промышленности в 21-м в.

3 Results and Discussion / Результаты и обсуждение

Как следует из вышесказанного, промышленные киберфизические системы – интеллектуальные производственные системы (в особенности третьего и четвертого поколений), состоящие из людей (разработчиков, операторов, инспекторов), киберсистем с поддержкой искусственного интеллекта и физических средств производства. Физические контроллеры, которые управляют энергетическими и материальными потоками, выступают в качестве «исполнительного органа» для информационных потоков, которые помогают людям выполнять необходимое восприятие, познание, анализ, принятие решений и управление физическими системами.

Сами киберфизические системы будут постоянно расширяться за счет системной интеграции трех составляющих интеллектуального производства: интеллектуальных продуктов, интеллектуальных средств производства и интеллектуальных услуг, ядром которых выступает «про-

изводственное облако» данных и промышленный Интернет вещей [16-17]. Последние дают возможность предприятиям, занятым интеллектуальным производством, интегрироваться с такими сферами, как здравоохранение и сельское хозяйство, в ходе формирования цифровой экосистемы будущего – «интеллектуального общества».

Основные характеристики искусственного интеллекта нового поколения – основы киберсистем интеллектуального производства (соединяемых с физическими системами) – включают в себя следующие:

1. Способность решать неопределенные и сложные производственные, финансовые и логистические проблемы за счет перехода от традиционной модели причинно-следственных связей к инновационной модели корреляции данных и ее глубокой интеграции с причинностью [18, 19].

2. Наличие опции обучения киберфизических систем, формирования у них когнитивных навыков в процессе машинной аналитики наилучших путей использования знаний [20], что должно привести к значительному повышению предельной производительности.

3. Формирование человеко-машинного гибридно-дополненного интеллекта, который дает полный простор и синергетически интегрирует преимущества человеческого и искусственного интеллекта в его сегодняшнем виде (нейросети, машинное обучение) [21]. Это приведет к значительно большему раскрытию инновационного потенциала человека и увеличению инновационного потенциала промышленности.

Реализация концепции киберфизических систем четвертого поколения (сетевых) будет осуществляться в двух направлениях: оригинальные инновации в технологии производства, которые являются фундаментальными и имеют первостепенное значение; развитие вспомогательных технологий для продвижения интегрированных инноваций [8]. Общая архитектура киберфизических систем интеллектуального производства может быть описана с помощью трех аспектов: ценностного, технического и организационного. Ценность интеллектуального производства в основном отражается в инновационных продуктах, услугах и их системной интеграции. Когда продукты делаются цифровыми, производятся и потребляются сетевым образом, производительность труда в целом в экономике возрастает, создаваемая добавленная стоимость увеличивается, а конкурентоспособность на современных перенасыщенных рынках также повышается.



Рис. 3. Иерархия уровней иерархической системы интеллектуального производства
Fig. 3. Hierarchy of levels of the hierarchical system of intellectual production

В целом интеллектуальную производственную деятельность можно разделить на проектирование и разработку цифровизованных процессов, обеспечение качества управления кибернетическими и физическими системами и их интеграцию. Интеллектуальные услуги, используемые киберфизическими системами, включают в себя их настройку, дистанционное управление и техническое обслуживание. То есть цифровое сетевое производство обеспечивает необходимую сетевую инфраструктуру для интеллектуального производства, интегрируя при этом цепочку создания стоимости бизнеса. С точки зрения последнего, организация интеллектуального произ-

водства состоит из трех уровней: интеллектуальная единица, интеллектуальная подсистема и интеллектуальная иерархическая система [22, 23].

Интеллектуальная единица представляет собой конечную функциональную единицу интеллектуального производства, которая состоит из людей, кибернетических и физических систем.

Интеллектуальная подсистема объединяет несколько интеллектуальных единиц через промышленный Интернет вещей для интеграции разрозненных информационных потоков.

Интеллектуальная иерархическая система объединяет несколько интеллектуальных подсистем посредством создания многоуровневой (иерархической), скоординированной и совместно используемой экосистемы промышленного производства (Рис. 3 [8]).

Говоря о промышленных технологиях, задействованных в киберфизических системах, следует выделить в их совокупности универсальные производственные и специализированные доменные технологии [24]. Благодаря этому интеллектуальное производство не только включает производство, эффективно управляемое в плане выпуска отдельных продуктов, и процессно-ориентированное производство, но и охватывает весь жизненный цикл продукта (доменные технологии).

К доменным технологиям, образующих ядро киберфизических систем и определяющим преемственность и смену их поколений, относятся следующие.

Во-первых, технологии машинного интеллекта, основанные на глубокой интеграции искусственного интеллекта с человеческими знаниями. Технологии машинного интеллекта помогают людям с улучшением восприятия, познания, анализа, принятия решений и контроля над их исполнением. В структуре технологий машинного интеллекта выделяют интеллектуальное восприятие, автономное познание, интеллектуальное принятие решений и интеллектуальное управление [7, 8]:

- интеллектуальное восприятие является основой когнитивного обучения машин; его технологии основаны на использовании «умных» сенсоров для интеллектуального сбора данных в режиме реального времени;

- автономное познание реализует когнитивную функцию машинного интеллекта на основе моделирования и идентификацию параметров, само-формирование структуры модели, ее оценку модели и оптимизацию;

- интеллектуальное принятие решений включает в себя точную оценку состояния системы, оптимизацию модели принятия решений и прогнозный анализ рисков;

- интеллектуальное управление означает разделение труда и координацию взаимодействия человека и машины для автономного управления последними в условиях неопределенности внешней среды.

Во-вторых, технологии взаимодействия людей и машин, которое осуществляется на уровнях познания, принятия решений и управления. Благодаря таким технологиям усовершенствованные киберфизические системы четвертого поколения будут способны к интеллектуальному восприятию информации, автономному познанию окружающей среды и интеллектуальному принятию решений.

На уровне конкретного предприятия структура киберфизической системы и архитектура реализации интеллектуального производства должны включать подсистему интеллектуального продукта, управления физическими активами и интеллектуальным (сервисным) процессом, которые интегрированы через промышленный Интернет и облачную платформу и контролируются интеллектуальной цифровой системой управления и принятия решений корпоративного уровня (Рис. 4) [8].

В-третьих, поддерживающие технологии четвертого поколения, обеспечивающие системную интеграцию процессов внутри одного предприятия и нескольких предприятий в производственную цепочку. К таким технологиям относятся «большие данные» и их математическая аналитика. Хотя математическое моделирование в чистом виде способно выявить объективные законы физического мира, оно неадекватно для решения крайне неопределенных и сложных проблем в интеллектуальных производственных системах [25-27]. Решить эти проблемы может интеллектуальное моделирование на основе больших данных [28].

В частности, метод гибридного моделирования, основанный на глубокой интеграции математического и интеллектуального моделирования на основе больших данных, может существенно улучшить моделирование киберфизических систем.

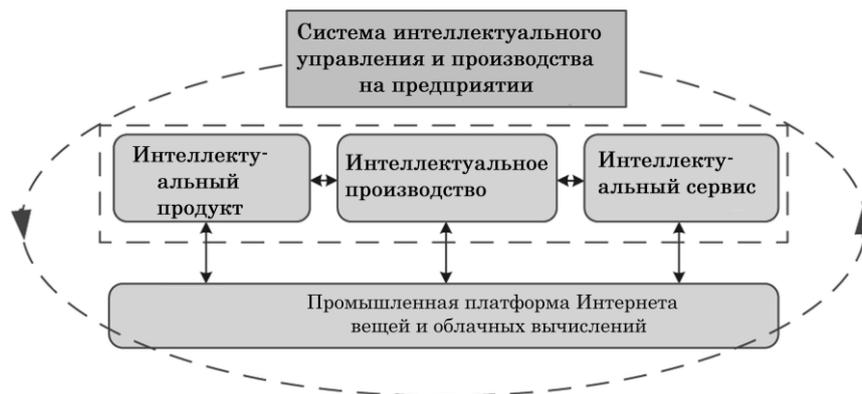


Рис. 4. Киберфизическая система промышленного предприятия
Fig. 4. Cyber-physical system of an industrial enterprise

На отраслевом уровне интеграция отдельных киберфизических систем (Рис. 5 [8]) позволяет производителям продукта, дилерам «умного» оборудования и поставщикам программного обеспечения участвовать во всем процессе от идеи до проектирования, от заказа до покупки. На отраслевом уровне формируется ключевое свойство продукта, полученного в интеллектуальных производственных системах – «ориентированность на пользователя», в основе которого лежит связь фирмы с потребителем. Отраслевые интеллектуальные связи формируются между отдельным потребителем и всеми субъектами цепочки производства, внутри нее – между человеком и машиной. В системе таких связей достигается массовая кастомизация продукта, уровень сервисного обслуживания выходит на качественно новый уровень.



Рис. 5. Отраслевая киберфизическая система
Fig. 5. Branch cyber-physical system

Развитие четвертого поколения киберфизических систем интеллектуального производства требует совершенствования симбиоза человека и машины. Вместе с тем нельзя не отметить те риски, которые несет в себе интеллектуализация производства [8]. Первым риском является понижение индивидуальных преимуществ человеческого интеллекта перед машинным и искусственным – в более широком смысле. Второй риск – нарушение цифровой безопасности, конфиденциальности, этики искусственным интеллектом как основы интеллектуального производства. Третий риск – использование цифровых технологий и продвинутых киберфизических систем не на благо человечества в результате перехвата контроля над ними.

Снижение данных рисков представляет собой передовую деятельность по инженерии производственных знаний, в которой в различных отраслях промышленности будут использоваться цифровые сетевые интеллектуальные технологии. Эти изменения приведут к еще более продвинутым формам интеллектуального производства и новому витку промышленной революции.

4 Conclusion / Заключение

Интеллектуальная производственная система – результат системной интеграции людей, киберсистем и физических (материальных) средств производства, достигающая более высоких производственных целей на оптимизированном уровне. Суть интеллектуального производства заключается в проектировании, конструировании и применении киберфизических систем разных поколений и различных уровней. В таких системах достижения Индустрии 4.0 – технологии искусственного интеллекта, Интернета вещей, больших данных выступают как поддерживающая часть ядра интеллектуального производства, тогда как передовые производственные технологии («умные» роботы, машинное видение и обучение, и пр.) выступают как корневые. Эволюция киберфизических систем в промышленности направлена в сторону цифровых сетевых систем, в которых машинный интеллект сможет самостоятельно учиться и создавать знания, принимать и контролировать управленческие решения.

Список источников

1. Мезина Т.В., Зозуля А.В., Зозуля П.В., Чернова Т.Ф., Плетнёва А.В. Влияние Индустрии 4.0 на экономику и производство // Вестник университета. – 2022. – №2. – С. 71-76.
2. Цхададзе Н.В. Индустрия 4.0: концепция воздействия на экономику // Инновации и инвестиции. – 2020. – №7. – С. 43-45.
3. Курегян С.В., Мелешко Ю.В. Механизмы взаимодействия цифрового производства, цифровых услуг и цифровых бизнес-моделей // Техничко-технологические проблемы сервиса. – 2021. – №2 (56). – С. 90-94.
4. Попков М.П. Россия на пути развития цифрового производства // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2018. – №14. – С. 353-355.
5. Сочнев А.Н. Применение искусственной нейронной сети для решения задач оптимизации производства на основе цифровых двойников // Приборостроение. – 2021. – №9. – С. 759-766.
6. Соловьев Е.Н. Цифровая трансформация как модель управления бизнеса // Вестник Национального института бизнеса. – 2019. – №37. – С. 245-279.
7. Zhong R.Y., Xu X., Klotz E., Newman S.T. Intelligent manufacturing in the context of Industry 4.0: a review // Engineering. – 2017. – Vol. 3(5). – pp. 616-630.
8. Ji Z., Yanhong Z., Baicun W., Jiyuan Z. Human-Cyber-Physical Systems (HCPSs) in the Context of New-Generation Intelligent Manufacturing // Engineering. – 2019. – Vol. 5. – pp. 624-636.
9. Болдырева Л.Б., Белова Е.Ю. Квантовые корреляции и искусственный интеллект // Управление. – 2020. – №2. – С. 74-80.
10. Brynjolfsson E., McAfee A. The Second Machine: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies. – New York: Norton & Company, 2014. – 384 p.
11. Курегян С.В. Экономические характеристики интеллектуального производства // Экономическая наука сегодня. – 2018. – №7. – С. 34-33.
12. Шинкевич А.И., Кудрявцева С.С., Шинкевич М.В. Тенденции бизнес-решений в развитии интеллектуального производства // Вестник университета. – 2020. – № 8. – С. 41-47.
13. Толкачев С.А., Андрианов К.А., Лапенкова Н.В. Интеллектуальное производство сквозь призму третьей промышленной революции // Мир новой экономики. – 2014. – №4. – С. 28-38.
14. Ким Е.О., Шин А.А. Интернет вещей: перспективы применения // Вестник ЧелГУ. – 2019. – №3(425). – С. 230-234.
15. Старченко А.Г., Дзюбенко В.В., Ряпин И.Ю. Интернет энергии: будущее электроэнергетики уже наступило // Энергетическая политика. – 2018. – №5. – С. 12-19.
16. Zhang P., Liu H.Y., Li W.J., Zhou F.Q. Intelligent industrial network: a development and upgrade from industrial Internet // Journal of Communal Energy. – 2018. – Vol. 39 (12). – pp. 134-140.
17. Tao F., Cheng Y., Xu L.D., Zhang L., Li B.H. CCloudT-CMfg: cloud computing and Internet of Things-based cloud manufacturing service system // IEEE Transfers of Industrial Information. – 2014. – Vol. 10(2). – pp. 1435-1442
18. Lee J., Qiu B.H., Liu Z.C., Wei M.H. Cyber-physical system: the new generation of industrial intelligence. – Shanghai: Shanghai Jiao Tong University Press, 2017. – 366 p.
19. Wu J. Age of intelligence: big data and AI redefine the future. – Beijing: CITIC Press, 2016. – 206 p.
20. Pan Y. Heading toward artificial intelligence 2.0 // Engineering. – 2016. – Vol. 2(4). – pp. 409-413.
21. Hu H., Zhao M., Ning Z.B., Guo ZH., Chen Z.C., Zhu D.X. Three-body intelligence revolution. – Beijing: China Machine Press, 2016. – 488 p.

22. White paper on standardization of industrial Internet platforms-2018. – Beijing: China Electronics Standardization Institute, 2018. – 54 p.
23. White paper on the industrial Internet of Things. – Beijing: China Electronics Standardization Institute, 2017. – 42 p.
24. National Manufacturing Strategy Advisory Committee, Center for Strategic Studies, CAE. Intelligent manufacturing. – Beijing: Electronic Industry Press, 2016. – 87 p.
25. Chen J., Yang J., Zhou H., Xiang H., Zhu Z, Li Y. CPS modeling of CNC machine tool work processes using an instruction-domain based approach // *Engineering*. – 2015. – Vol. 1(2). – pp. 247-260.
26. Vogel-Heuser B., Wildermann S., Teich J. Towards the co-evolution of industrial products and its production systems by combining models from development and hardware/software deployment in cyber-physical systems // *Products Engineering*. – 2017. – Vol. 11(6). – pp. 687-94.
27. Sterman J.D. System dynamics modeling: tools for learning in a complex world // *California Management Review*. – 2001. – Vol. 43(4). – pp. 8-25.
28. Zhuang Y., Wu F., Chen C., Pan Y. Challenges and opportunities: from big data to knowledge in AI 2.0 // *Frontiers of Information Technologies and Electronics*. – 2017. – Vol. 18(1). – pp. 3-14.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© 2022 Авторы. Издательство Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы

Абу-Абед Фарес Надимович – кандидат технических наук, доцент, декан факультета международного академического сотрудничества, Тверской государственный технический университет, 170026 наб. Афанасия Никитина, 22, Тверь, e-mail: aafaresh@tstu.tver.ru

References

1. Mezina T.V., Zozulja A.V., Zozulja P.V., Chernova T.F., Pletnjova A.V. Vlijanie Industrii 4.0 na jekonomiku i proizvodstvo [Influence of Industry 4.0 on the economy and production]. *Vestnik universiteta = Bulletin of the University*. 2022. Vol. 2. pp. 71-76.
2. Chadadze N.V. Industrija 4.0: koncepcija vozdeystvija na jekonomiku [Industry 4.0: the concept of impact on the economy]. *Innovacii i investicii = Innovations and investments*. 2020. Vol. 7. pp. 43-45.
3. Kuregjan S.V., Meleshko Ju.V. Mehanizmy vzaimodejstvija cifrovogo proizvodstva, cifrovyh uslug i cifrovyh biznes-modelej [Mechanisms of interaction between digital production, digital services and digital business models]. *Tehniko-tehnologicheskie problemy servisa = Technical and technological problems of service*. 2021. Vol. 2 (56). pp. 90-94.
4. Popkov M.L. Rossija na puti razvitija cifrovogo proizvodstva [Russia on the way of digital production development]. *Aktual'nye problemy aviacii i kosmonavtiki = Actual problems of aviation and cosmonautics*. 2018. Vol. 14. pp. 353-355.
5. Sochnev A.N. Primenenie iskusstvennoj nejronnoj seti dlja reshenija zadach optimizacii proizvodstva na osnove cifrovyh dvojniov [Application of an artificial neural network for solving problems of production optimization based on digital twins]. *Priborostroenie = Machine Building*. 2021. Vol. 9. pp. 759-766.
6. Solov'ev E.N. Cifrovaja transformacija kak model' upravlenija biznesa [Digital transformation as a business management model]. *Vestnik Nacional'nogo instituta biznesa = Bulletin of the National Institute of Business*. 2019. Vol. 37. pp. 245-279.
7. Zhong R.Y., Xu X., Klotz E., Newman S.T. Intelligent manufacturing in the context of Industry 4.0: a review. *Engineering*. 2017. Vol. 3(5). pp. 616-630.
8. Ji Z., Yanhong Z., Baicun W., Jiyuan Z. Human-Cyber-Physical Systems (HCPSs) in the Context of New-Generation Intelligent Manufacturing. *Engineering*. 2019. Vol. 5. pp. 624-636.
9. Boldyreva L.B., Belova E.Ju. Kvantovye korrelyacii i iskusstvennyj intellekt [Quantum correlations and artificial intelligence]. *Upravlenie = Management*. 2020. Vol. 2. pp. 74-80.
10. Brynjolfsson E., McAfee A. *The Second Machine: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies*. New York: Norton & Company, 2014. 384 p.
11. Kuregjan S.V. Jekonomicheskie harakteristiki intellektual'nogo proizvodstva [Economic characteristics of intellectual production]. *Jekonomicheskaja nauka segodnja = Economic science today*. 2018. Vol. 7. pp. 34-33.

12. Shinkevich A.I., Kudrjavceva S.S., Shinkevich M.V. Tendencii biznes-reshenij v razvitii intellektual'nogo proizvodstva [Trends in business solutions in the development of intellectual production]. Vestnik universiteta Bulletin of the University. 2020. Vol. 8. pp. 41-47.
13. Tolkachev S.A., Andrianov K.A., Lapenkova N.V. Intellektual'noe proizvodstvo skvoz' prizmu tret'ej promyshlennoj revoljucii [Intelligent manufacturing through the prism of the third industrial revolution]. Mir novoj jekonomiki = World of New Economy. 2014. Vol. 4. pp. 28-38.
14. Kim E.O., Shin A.A. Internet veshhej: perspektivy primenenija [Internet of things: perspectives of application]. Vestnik ChelGU = Bulletin of ChelSU. 2019. Vol. 3(425). pp. 230-234.
15. Starchenko A.G., Dzubenko V.V., Rjapin I.Ju. Internet jenergii: budushhee jelektrojener-getiki uzhe nastupilo [Internet of energy: the future of the electric power industry has already arrived]. Jenergeticheskaja politika = Energy Policy. 2018. Vol. 5. pp. 12-19.
16. Zhang P., Liu H.Y., Li W.J., Zhou F.Q. Intelligent industrial network: a development and upgrade from industrial Internet. Journal of Communal Energy. 2018. Vol. 39 (12). pp. 134-140.
17. Tao F., Cheng Y., Xu L.D., Zhang L., Li B.H. CCloudT-CMfg: cloud computing and Internet of Things-based cloud manufacturing service system. IEEE Transfers of Industrial Information. 2014. Vol. 10(2). pp. 1435-1442
18. Lee J., Qiu B.H., Liu Z.C., Wei M.H. Cyber-physical system: the new generation of industrial intelligence. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University Press, 2017. 366 p.
19. Wu J. Age of intelligence: big data and AI redefine the future. Beijing: CITIC Press, 2016. 206 p.
20. Pan Y. Heading toward artificial intelligence 2.0. Engineering. – 2016. Vol. 2(4). pp. 409-413.
21. Hu H., Zhao M., Ning Z.B., Guo ZH., Chen Z.C., Zhu D.X. Three-body intelligence revolution. Beijing: China Machine Press, 2016. 488 p.
22. White paper on standardization of industrial Internet platforms-2018. Beijing: China Electronics Standardization Institute, 2018. 54 p.
23. White paper on the industrial Internet of Things. Beijing: China Electronics Standardization Institute, 2017. 42 p.
24. National Manufacturing Strategy Advisory Committee, Center for Strategic Studies, CAE. Intelligent manufacturing. Beijing: Electronic Industry Press, 2016. 87 p.
25. Chen J., Yang J., Zhou H., Xiang H., Zhu Z, Li Y. CPS modeling of CNC machine tool work processes using an instruction-domain based approach. Engineering. 2015. Vol. 1(2). pp. 247-260.
26. Vogel-Heuser B., Wildermann S., Teich J. Towards the co-evolution of industrial products and its production systems by combining models from development and hardware/software deployment in cyber-physical systems. Products Engineering. 2017. Vol. 11(6). pp. 687-94.
27. Serman J.D. System dynamics modeling: tools for learning in a complex world. California Management Review. 2001. Vol. 43(4). pp. 8-25.
28. Zhuang Y., Wu F., Chen C., Pan Y. Challenges and opportunities: from big data to knowledge in AI 2.0. Frontiers of Information Technologies and Electronics. 2017. Vol. 18(1). pp. 3-14.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

© 2022 The Authors. Published by T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Authors

Fares Abu-Abed – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Dean of the Faculty of International Academic Cooperation, Tver State Technical University, 170026 22 nab. Afanasy Nikitina, Tver, e-mail: aafares@tstu.tver.ru

