

УДК 338.24

## КОГНИТИВНЫЕ АСПЕКТЫ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ОТРАСЛИ

Клименко А.Д.<sup>1</sup>, аспирант, III курсНаучный руководитель: Бабич О.В.<sup>1</sup>, д-р экон. наук, доцент<sup>1</sup>Брянский государственный университет им. академика И.Г. Петровского  
г. Брянск

Четвертая промышленная революция, ключевым драйвером которой стали киберфизические системы (далее КФС), цифровые двойники (далее ЦД) и прогресс в информационно-коммуникационных технологиях (далее ИКТ), переопределила подходы к организации корпоративных инфраструктур. Сегодня эти системы представляют собой не просто инструменты автоматизации, а сложные экосистемы, требующие глубокой интеграции с внешней средой и гибридного взаимодействия физических и цифровых элементов.

Современные технологии ориентированы на три основных направления:

1. Сбор данных – создание решений для мониторинга окружающей среды и физических процессов.
2. Цифровизация – преобразование наблюдаемых систем в виртуальные модели, позволяющие прогнозировать изменения.
3. Синхронизация – обеспечение двусторонней связи между материальными объектами и их цифровыми аналогами.

Именно симбиоз КФС, ЦД и ИКТ позволил достичь принципиально нового уровня управления процессами: от предиктивной аналитики до адаптации систем в реальном времени. Это не только повысило эффективность бизнес-моделей, но и сформировало основу для устойчивого развития, где экологические факторы становятся частью цифровых расчетов. Таким образом, промышленность перешла от изолированных решений к интеллектуальным сетям, где каждое звено взаимодействует как с локальными, так и с глобальными вызовами.

КФС представляют собой класс технологий, объединяющих вычислительные алгоритмы с физическими процессами [7]. Их функциональность базируется на трех ключевых аспектах:

- интеллектуальная обработка данных (способность к анализу и принятию решений за счет вычислительных мощностей);
- сетевая интеграция (взаимодействие компонентов через коммуникационные каналы);
- адаптивное управление (оперативное реагирование на изменения в реальном времени) [13].

Эти характеристики превращают КФС в динамичные платформы, где цифровые алгоритмы напрямую влияют на физические объекты, а обратная связь от среды корректирует их работу.

ЦД создает комплексную модель физического объекта и его цифрового аналога, детально описывая ключевые параметры и функциональные особенности компонентов, продуктов или систем. Эта технология позволяет не только прогнозировать потенциальные сбои и возможности для модернизации, но и формировать рекомендации в режиме реального времени. Такие решения направлены на оптимизацию процессов, а также минимизацию последствий непредвиденных событий. Наряду с КФС, ЦД стали важнейшим элементом современной промышленности [11]. Обе технологии взаимно дополняют друг друга, образуя единые корпоративные экосистемы, где каждый физический объект потенциально интегрирован с цифровой копией.

Киберфизическое предприятие (далее КФП) становится основой промышленности будущего. Его архитектура объединяет автономные технические компоненты, персонал и подразделения в глобальную сеть — от производственных процессов и оборудования до логистических цепочек. Такая интеграция резко повышает сложность управленческих задач, что требует безупречной функциональной совместимости. Под этим термином понимается способность разнородных компьютерных систем и устройств к взаимодействию: они должны обмениваться данными без ограничений как на уровне технической реализации, так и доступа к информации. Функциональная совместимость признана ключевым условием для функционирования как КФС, так и КФП в целом [14].

Особенности КФП, включающие автономные компоненты с функцией взаимодействия, создают потребность в КФС с расширенным функционалом и интеллектуальными алгоритмами. Это становится критически важным для организации слаженного взаимодействия между техническими элементами и человеческими агентами. Фундаментом такого сотрудничества выступает семантическая совместимость — способность сторон корректно интерпретировать обмениваемые данные, что требует согласования как концептуальных моделей, так и смысловых контекстов.

Основная задача искусственного интеллекта (далее ИИ) заключается в развитии способности когнитивных систем анализировать данные, обучаться, генерировать логические выводы и принимать решения. Однако сложность человеческого поведения, его непредсказуемость и многофакторность окружающего мира ставят принципиальные ограничения: даже самые продвинутые ИИ-системы не способны полностью воспроизвести или заменить человека. Для преодоления этого барьера предлагается внедрение антропоморфных принципов в разработку ИИ [5]. Такой подход, включающий моделирование человеческих когнитивных процессов, способствует созданию «бесшовного» взаимодействия между людьми и машинами, где технологии не имитируют, а органично дополняют естественные методы мышления.

Познание определяется как способность к приобретению знаний и их интерпретации. Данный комплекс психических процессов охватывает восприятие, концентрацию внимания, запоминание, обучение, логическое мышление, решение задач и анализ ситуаций [9].

Ключевыми элементами выступают память и обучаемость – именно они позволяют систематизировать информацию, строить умозаключения и делать осознанный выбор. С развитием компьютерных технологий стало очевидно, что машины, при корректной настройке алгоритмов, способны воспроизводить подобные когнитивные функции [1]. Данный принцип лег в основу когнитивных вычислений – направления, имитирующего человеческое мышление для обработки данных.

Когнитивная система в данном контексте – это принцип, основанный на фактах работы человеческого мозга. Она обладает способностью к обучению, логическому анализу и автономному принятию решений, а также адаптируется к изменениям через взаимодействие с пользователями. Такие системы не просто обрабатывают данные, но и интерпретируют сложные информационные потоки, что позволяет решать нетривиальные задачи и оптимизировать рабочие потоки.

В контексте Индустрии 4.0 особое внимание уделяется роли больших данных, которые служат основой для оптимизации решений и повышения гибкости когнитивного производства. Совокупность этих элементов формирует концепцию КФП, которая не ограничивается обработкой информации, а интегрирует когнитивные механизмы в технологические процессы, трансформируя абстрактное познание в инженерные решения [10].

КФС является одной из ключевых технологий Индустрии 4.0, выступающей мостом между цифровыми и физическими средами. Их функционал строится на синтезе сетевых, вычислительных и инфраструктурных ресурсов, что позволяет проектировать интерактивные производственные объекты, включая «умные фабрики» [6]. По своей сути, КФС представляют собой распределенные интеллектуальные системы, где физические компоненты гармонично интегрированы с коммуникационными сетями и алгоритмами обработки данных.

Эволюцией данной концепции стала когнитивная киберфизическая система (далее ККФС) – инновационная модель, в которой акцент смещен на стратегическое извлечение знаний для достижения целевых показателей [4]. ККФС объединяет три взаимозависимых аспекта:

- адаптивность (способность динамически корректировать алгоритмы и параметры в ответ на внешние изменения или внутренние сбои);
- автономность (возможность самоуправления, включая диагностику проблем и их устранение без внешних вмешательств);
- интеллектуальная интеграция (синхронизация физических процессов с когнитивными алгоритмами, такими как машинное обучение и прогнозная аналитика) [8].

Ключевое отличие ККФС от КФС заключается в интеграции когнитивных функций, которые могут быть изначально заложены в архитектуру или развиваться в процессе взаимодействия с внешней средой. Это наделяет ККФС способностью к самоуправлению, обучению в реальном времени и принятию решений без внешнего вмешательства, что приближает их к принципам человеческого интеллекта. Такие системы отличаются высокой адаптивностью, активно анализируя контекст и динамически подстраиваясь под изменения условий. Для реализации этих возможностей требуется проектирование специализированных интерфейсов, обеспечивающих динамический обмен данными с окружающей средой, оптимизацию процессов принятия решений через машинное обучение и усиление синергии между человеком и технологиями за счет интуитивного взаимодействия.

В свою очередь ЦД – это комплексная виртуальная модель объекта или системы, отражающая его физические и функциональные характеристики. Для ее создания применяются технологии, обеспечивающие высокую точность [2]:

1. Симуляция, т.е. прогнозирование поведения системы в заданных условиях.

2. Эмуляция, т.е. воспроизведение работы объекта в реальном времени.

Если симуляция дает статичный «снимок» возможных сценариев, то эмуляция создает динамичную копию, полностью имитирующую физический аналог.

Однако традиционные цифровые двойники часто ограничиваются точным дублированием параметров, оставаясь пассивными инструментами без когнитивных функций [3]. Преодолеть это ограничение позволяет концепция когнитивного цифрового двойника (далее КЦД). В отличие от стандартных ЦД, такие системы оснащены алгоритмами ИИ, что наделяет их способностью анализировать данные в контексте, принимать автономные решения и адаптироваться к изменениям без вмешательства человека.

КЦД становятся интеллектуальными «партнерами», трансформируя пассивное моделирование в активное управление процессами.

Когнитивная совместимость функционирует как многоуровневая система взаимодействий [12]:

1. Разработчик ↔ ИИ-система (согласование целей и логики функционирования).

2. Человек ↔ машина (интеграция в гибридных системах, где интеллектуальные агенты дополняют друг друга).

3. ИИ-системы ↔ ИИ-системы (кроссплатформенное взаимодействие независимо созданных решений).

Подобная совместимость обеспечивает коллективную деятельность на основе единой онтологии знаний, совместное генерирование новых данных и выводов и бесшовный обмен информацией между разнородными системами.

Функциональная совместимость в промышленных структурах направлена на синхронизацию компонентов (оборудование, программное обеспечение и человеческие ресурсы должны обмениваться данными и функциями без ограничений). Однако ее достижение требует не только технической стандартизации (протоколы, интерфейсы и т.д.), но и учета антропогенных факторов, а именно: поведенческих паттернов сотрудников, коммуникативных моделей внутри команд, когнитивных особенностей принятия решений.

Именно здесь когнитивная совместимость становится критической и создает основу для общего понимания задач и координации усилий между всеми участниками процессов, от алгоритмов до людей.

Интеграция множества инструментов в КИД сопряжена с рядом вызовов. Во-первых, сочетание статических и динамических функций может нарушать синхронизацию процессов, например, при обновлении моделей в режиме реального времени. Во-вторых, сложность архитектуры, обусловленная семантическими возможностями систем, усложняет их проектирование и внедрение. Это, в свою очередь, создает перегрузку инфраструктуры обработки данных, особенно при управлении потоками информации и принятии решений в условиях дефицита времени. Для ККФС критически важным остается вопрос доверия, из-за чего необходимо выстроить прозрачное взаимодействие между людьми и алгоритмами, чтобы исключить конфликт интерпретаций. Дополнительную сложность вносит распределенный характер таких систем, так как координация компонентов в глобальных масштабах требует преодоления задержек связи и адаптации к динамически меняющимся условиям. Ключевым барьером для синергии человека и машины остается когнитивная совместимость, достижение которой предполагает унификацию форматов обмена данными между разнородными системами, согласование ментальных моделей пользователей и логики ИИ и разработку протоколов для совместного решения задач, где ответственность распределяется между участниками.

Несмотря на значительный прогресс в развитии ККФС и КИД их переход от базовой интеграции ИИ-компонентов к полноценному когнитивному поведению остается незавершенным. Для прорыва необходимо глубинное объединение принципов человеческого познания с алгоритмами машинного обучения, что позволит создать платформы для подлинного симбиоза человека и технологии. Ключевыми задачами на этом пути становятся баланс адаптивности и контроля, так как даже самообучающиеся системы должны сохранять предсказуемость и стабильность, особенно в критических отраслях вроде медицины или энергетики; синхронизация инженерных решений с эргономикой и психологией пользовательского взаимодействия; социально-когнитивная интеграция, учитывающая культурные нормы, командную динамику и этические аспекты при внедрении ИИ в рабочие процессы.

Хотя идея бесшовного сотрудничества людей и машин не нова, ее реализация сталкивается с «системным трением», когда технологии опережают готовность общества к их принятию. Преодоление этого разрыва требует переосмысления роли социальных факторов – от формирования доверия к алгоритмам до переподготовки кадров для работы в гибридных средах.

### Список литературы:

1. Берман Н.Д. Роль информационных технологий в развитии навыков вычислительного мышления / Н.Д. Берман // Мир науки. Педагогика и психология. – 2019. – Т. 7, № 2. – С. 2.
2. Дозорцев В.М. Цифровые двойники в промышленности: генезис, состав, терминология, технологии, платформы, перспективы. Часть 1. Возникновение и становление цифровых двойников. Как существующие определения отражают содержание и функции цифровых двойников? / В.М. Дозорцев // Автоматизация в промышленности. – 2020. – № 9. – С. 3-11.
3. Дозорцев В.М. Цифровые двойники в промышленности: генезис, состав, терминология, технологии, платформы, перспективы. Часть 2. Ключевые технологии цифровых двойников. Типы моделирования физического объекта / В.М. Дозорцев // Автоматизация в промышленности. – 2020. – № 11. – С. 3-10.
4. Киберфизические, кибербиологические и искусственные когнитивные системы: сущность и юридические свойства / Д.Л. Кутейников, О.А. Ижаев, С.С. Зенин, В.А. Лебедев // Российское право: образование, практика, наука. – 2019. – № 3(111). – С. 75-81.
5. Мамедова Л.Э. г. Основные аспекты технологии искусственного интеллекта / Л.Э. г. Мамедова, Л.Н. Иванова, Е.С. Алтаев // Известия высших учебных заведений. Серия: Экономика, финансы и управление производством. – 2023. – № 3(57). – С. 78-88.
6. Смышляева А.А. Современные технологии в Индустрии 4.0 - киберфизические системы / А.А. Смышляева, К.М. Резникова, Д.В. Савченко // Отходы и ресурсы. – 2020. – Т. 7, № 3. – С. 2.
7. Шкодырев В.П. Киберфизические системы как технологическая платформа синергетической интеграции перспективных прорывных технологий / В.П. Шкодырев // Системный анализ в проектировании и управлении : сборник научных трудов XXIV Международной научной и учебно- практической конференции : в 3 ч., Санкт-Петербург, 13–14 октября 2020 года / Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. Том Часть 1. – Санкт-Петербург: Политех-пресс, 2020. – С. 36-41.
8. Alohal M. A. et al. Artificial intelligence enabled intrusion detection systems for cognitive cyber-physical systems in industry 4.0 environment //Cognitive Neurodynamics. – 2022. – Vol. 16, № 5. – P. 1045-1057.
9. Blomberg O. Conceptions of cognition for cognitive engineering //The international journal of aviation psychology. – 2011. – Vol. 21, № 1. – P. 85-104.

10. Elia G., Margherita A.A conceptual framework for the cognitive enterprise: pillars, maturity, value drivers // Technology analysis & strategic management. – 2022. – Vol. 34, № 4. – P. 377-389.

11. Gaffinet B. et al. Human-centric digital twins: Advancing safety and ergonomics in human-robot collaboration //International conference on innovative intelligent industrial production and logistics. – Cham : Springer Nature Switzerland. – 2023. – P. 380-397.

12. Krinkin K., Shichkina Y. Cognitive architecture for co-evolutionary hybrid intelligence //International Conference on Artificial General Intelligence. – Cham : Springer International Publishing. – 2022. – P. 293-303.

13. Lezoche M., Panetto H. Cyber-physical systems, a new formal paradigm to model redundancy and resiliency //Enterprise Information Systems. – 2020. – Vol. 14, № 8. – P. 1150-1171.

14. Panetto H. et al. Challenges for the cyber-physical manufacturing enterprises of the future //Annual reviews in control. – 2019. – Vol. 47. – P. 200-213.