

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ ОТРАСЛЕВОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИНДУСТРИИ 4.0

Алексей Григорьевич Ташкинов

кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики управления промышленным производством, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия, alekss.perm@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6248-8441>

Аннотация. Современный этап экономического развития, характеризующийся становлением нового ресурсного уклада и повсеместной цифровой трансформацией, озаменован переходом к парадигме Индустрии 4.0. Динамичное развитие технологий Индустрии 4.0 актуализирует проблему обеспечения гибкости и оперативной адаптации промышленных предприятий к турбулентным изменениям внешней среды. Цель настоящего исследования состоит в разработке методологического подхода к построению отраслевой производственно-экономической системы предприятия на основе технологий Индустрии 4.0, интегрирующей передовые технологические решения и современные управленческие парадигмы. Методологическую основу работы составил комплексный анализ и синтез положений ряда научных подходов: системно-кибернетического и математического, эволюционно-синергетического и нелинейного в их отраслевом измерении, организационно-управленческого и потенциал-ориентированного применительно к конкретной отрасли, а также ключевых положений теории сложных адаптивных систем. Объединение принципов адаптивного управления и инструментария данных парадигм позволило сформировать целостное теоретическое основание исследования. Полученные результаты исследования представлены совокупностью взаимосвязанных положений, базирующихся на принципах киберфизической интеграции, цифровых двойников и автономного контура управления. Автором предложена классификация типов адаптации отраслевых производственно-экономических систем в контексте Индустрии 4.0, которая позволяет унифицировать описание адаптивных сценариев и служит основой для проектирования цифровой экосистемы.

Ключевые слова: адаптивное управление, Индустрия 4.0, отраслевая производственно-экономическая система предприятия, цифровая трансформация, экономика, цифровая экосистема

Для цитирования: Ташкинов А.Г. 2025. Методологический подход к построению отраслевой производственно-экономической системы предприятия на основе технологий Индустрии 4.0. Международный бизнес. 4 (14). С. 48–63. <https://doi.org/10.24833/2949-639X-2025-4-14-48-63>

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

© Ташкинов А.Г., 2025

Введение

Традиционные модели управления, базирующиеся на жестких иерархических структурах и реактивном подходе к изменениям, демонстрируют свою ограниченность, поскольку не обеспечивают своевременной адаптации к скорости технологических обновлений, флуктуациям рыночного спроса и трансформации институциональных условий.

В этой связи проблема разработки и внедрения адаптивного управления отраслевыми производственно-экономическими системами (ОПЭС) приобретает особую актуальность. Адаптивное управление в контексте Индустрии 4.0 понимается не просто как механизм адаптации, а как способность системы к проактивной самонастройке, самоорганизации и опережающему реагированию.

Несмотря на растущий интерес к вопросам цифровизации и гибкости производства, проблема формирования целостной концепции адаптивного управления ОПЭС в условиях Индустрии 4.0 остается недостаточно изученной. Существующие исследования зачастую фрагментированы: одни из них сосредоточены на технологических аспектах внедрения отдельных инструментов Индустрии 4.0, тогда как другие рассматривают общие принципы организационной гибкости без учета специфики производственно-экономических систем отраслевого уровня.

Ключевая научная проблема заключается в разрешении противоречия между объективной потребностью промышленных предприятий в превентивном и динамическом приведении внутреннего потенциала в соответствие с изменяющимися требованиями внешней среды, с одной стороны, и недостаточной разработанностью теоретико-методологической базы, способной обеспечить такую адаптацию на системном уровне, — с другой.

Целью настоящего исследования является разработка концепции адаптивного управления отраслевой производственно-экономической системой предприятия в условиях Индустрии 4.0.

Теоретико-методологическая систематизация авторских подходов к адаптивному управлению в отраслевом контексте

Проведенный анализ, основанный на группировке научных позиций вокруг ключевых идей адаптивного управления применительно к отраслевым системам, позволил сформировать теоретический базис для последующей разработки концепции отраслевой производственно-экономической системы в условиях Индустрии 4.0.

1. Системно-кибернетический и математический подход в приложении к отрасли.

В исследованиях К.А. Багриновского, Д.П. Деревицкого и А.Л. Фрадкова адаптивное управление рассматривается как фундаментальная математическая проблема синтеза систем, функционирующих в условиях неполной информации (Багриновский 1999; Деревицкий, Фрадков 1981).

Принципиальное значение для данного исследования имеет тезис автора о возможности применения разработанного формального аппарата к отраслевым производственно-экономическим системам, что открывает перспективы их моделирования в качестве кибернетических объектов. В рамках данного подхода отрасль предстает как иерархически организованная система с обратными связями, параметры которой подлежат автоматической настройке под влиянием внешних рыночных сигналов.

2. Эволюционно-синергетический и нелинейный подход в отраслевом измерении.

Синергетическая парадигма, восходящая к классическим трудам Г. Николиса и И.Р. Пригожина, раскрывает адаптацию и развитие как имманентные свойства сложных неравновесных систем, открытых для обмена с внешней средой (Николис, Пригожин 1979).

Синергетический эффект для отрасли проявляется в обосновании необходимости нелинейного управления, учитывающего точки бифуркации (технологические разрывы, отраслевые кризисы, смену технологических укладов) и оперирующего эмерджентными свойствами. Данный подход позволяет трансформировать стохастические изменения внешней среды в источник новой структурной сложности и конкурентных преимуществ отрасли.

Развивая данную логику, Г.Б. Клейнер рассматривает отрасль как сложную эволюционирующую систему и задает принципы проектирования цифровой адаптивной экосистемы в рамках технологического уклада (Клейнер 2023).

Развитием теории долгосрочных циклов в контексте современной экономики занимается российский экономист С.Ю. Глазьев, интегрировавший идеи Н.Д. Кондратьева и Й. Шумпетера. Центральным элементом его концепции выступает понятие технологического уклада, определяемого как целостная система технологически сопряженных производств, обладающая свойством

самовоспроизводства. С точки зрения автора, большие циклы Кондратьева являются следствием процесса смены доминирующих технологических укладов (Глазьев 2011). Каждый новый цикл начинается с момента достижения формирующимся пакетом инноваций стадии экономической востребованности. При этом в научной литературе справедливо отмечается, что подобные теории, как правило, обладают высокой объяснительной силой при ретроспективном анализе, но их применение для точного прогнозирования будущего имеет ограниченный характер (Клейнер 2023).

Таким образом, цифровая экосистема предприятия выступает в качестве инструмента эволюционного управления отраслью, который, подчиняясь логике ее жизненного цикла, обеспечивает синергетический эффект, превышающий алгебраическую сумму индивидуальных вкладов участников.

3. Организационно-управленческий и потенциал-ориентированный подходы в разрезе отрасли.

Б.А. Эфендиев выделяет следующие составляющие организационного каркаса отраслевой экосистемы:

- гибкая целостность, предполагающая сочетание стабильного цифрового ядра (отраслевая платформа, стандарты данных, протоколы взаимодействия) с динамичными сетевыми структурами (межфирменные проектные группы, виртуальные команды под конкретные задачи);
- цифровой мониторинг отраслевой динамики, представляющий собой непрерывный сбор и анализ данных со всех узлов экосистемы для предиктивного управления отраслевыми процессами;
- формирование цифровой культуры межфирменной кооперации, способствующей активизации обмена знаниями и инновационной деятельности на отраслевом уровне (Эфендиев 2008).

Концепция Н.В. Зяблицкой наделяет данный организационный каркас ресурсной логикой отраслевого развития, а именно:

- трактовкой потенциала как цифрового актива, в рамках которой финансовые, технологические и человеческие ресурсы предприятий трансформируются в оцифрованные профили и метрики, обретая статус управляемых активов отраслевой экосистемы;
- диагностикой на основе данных, предусматривающей автоматизированную оценку адаптационного потенциала участников посредством анализа больших отраслевых данных, что позволяет объективно ранжировать предприятия, выявлять слабые звенья и точки роста в отраслевой структуре (Зяблицкая 2012).

4. Теория сложных адаптивных систем.

Зарубежные исследователи Н. Блум, К.С. Холлинг, Б.К. Уильямс, Р.С. Шаро и К.Д. Шапиро обосновывают необходимость принципиально иного подхода к управлению в экономике Индустрии 4.0 (Bloom 2014; Holling 1978; Williams, Szaro, Shapiro 2009).

Адаптивная система в данной логике выступает в качестве инструмента усиления имманентных свойств сложных систем для достижения контролируемого синергетического эффекта.

Сложность и многоаспектность феномена адаптивного управления отраслевой производственно-экономической системой в условиях Индустрии 4.0 обуславливают необходимость его междисциплинарного анализа, выходящего за рамки какого-либо одного теоретического подхода. Отраслевая система, функционирующая в турбулентной среде цифровой трансформации, одновременно проявляет свойства кибернетического объекта с формализуемыми параметрами, неравновесной эволюционирующей структуры, способной к самоорганизации, а также организационно-ресурсного комплекса, требующего целенаправленного управленческого воздействия. Каждый из перечисленных аспектов отражает лишь отдельную грань адаптационного механизма, тогда как для формирования целостной концепции цифровой адаптивной экосистемы необходимо их синтетическое единство.

Данное обстоятельство требует трехстороннего анализа адаптивного управления отраслевой системой, что позволяет преодолеть фрагментарность существующих теоретических представлений.

С позиций системно-кибернетического и математического подходов применительно к территории экономическая экосистема рассматривается как иерархически организованная структура с четко выделенным управляющим ядром (органы власти) и управляемыми элементами (муниципалитеты, бизнес, университеты, СМИ, граждане). Цифровое взаимодействие между ядром и стейкхолдерами формирует контур с обратными связями, где потоки информации поддаются формализации, количественной оценке и математическому моделированию. Данный кибернетический ракурс создает предпосылки для разработки формального аппарата сбора, хранения и обработки данных об инфраструктуре в режиме реального времени посредством сквозных цифровых технологий, что обуславливает параметрическую настройку управленческих воздействий.

В рамках эволюционно-синергетического и нелинейного подходов территориальная экосистема рассматривается как сложная неравновесная система, способная к самоорганизации и качественным трансформациям в точках бифуркации (кризисы, технологические сдвиги). Характерное состояние такой системы отличается динамической неравновесностью, при которой устойчивое развитие достигается не посредством статической стабильности, а через адаптацию к флуктуациям внешней среды. Цифровые технологии служат инструментом мониторинга эмерджентных свойств экосистемы, обеспечивая выявление точек перехода на новые траектории развития и управление нелинейными процессами, что позволяет трансформировать хаотические изменения в источник структурного усложнения и повышения качества жизни.

С точки зрения организационно-управленческого и потенциал-ориентированного подходов в территориальном разрезе акцент смещается на ресурсный

потенциал участников экосистемы и организационные механизмы его активации. Экономическая экосистема предстает как среда, в которой разнородные стейкхолдеры (органы власти, бизнес, наука, гражданское общество) объединяются вокруг единого цифрового контура, синхронизирующего их стратегии и действия. Организационный дизайн такой экосистемы сочетает стабильность институционального ядра с гибкостью сетевых взаимодействий. Цифровизация позволяет преобразовать разрозненные гетерогенные ресурсы (инфраструктурные, финансовые, человеческие, информационные) в единые управляемые активы, а непрерывная диагностика адаптационного потенциала участников на основе больших данных повышает обоснованность управленческих решений.

Формирование концепции адаптивного управления отраслевой производственно-экономической системой предприятия в условиях Индустрии 4.0

Проведенная методологическая интеграция, объединившая принципы системно-кибернетического, эволюционно-синергетического, организационно-управленческого и потенциал-ориентированного подходов, а также ключевые положения теории сложных адаптивных систем, позволила сформировать целостную теоретическую базу для разработки концепции адаптивного управления ОПЭС предприятия в условиях Индустрии 4.0.

Во-первых, синтез системно-кибернетического и математического подходов в их отраслевой проекции обеспечил понимание адаптивного управления как формализуемого процесса параметрической настройки производственно-экономической системы. Данный подход формирует предпосылки для моделирования отраслевых объектов в качестве кибернетических систем с обратными связями, в рамках которых адаптация приобретает характер автоматической подстройки к изменяющимся внешним условиям.

Во-вторых, интеграция эволюционно-синергетического и нелинейного подходов в отраслевом измерении позволила интерпретировать отраслевую систему как диссипативную структуру, способную к самоорганизации в точках бифуркации. Данный подход раскрывает неравновесность как типичное состояние развивающейся системы, а нелинейность управленческих решений — как инструмент перехода на качественно новые траектории роста. Принципиальным выводом здесь является то, что в условиях Индустрии 4.0 хаотические изменения внешней среды могут быть трансформированы в источник структурной сложности и конкурентных преимуществ отрасли при условии использования цифровых платформ как инструмента управления эволюцией.

В-третьих, обращение к организационно-управленческому и потенциал-ориентированному подходам в отраслевом разрезе позволило конкретизировать архитектурные и ресурсные параметры формируемой экосистемы. С одной стороны, определен организационный каркас системы, сочетающий стабильность

цифрового ядра с гибкостью сетевых структур. С другой стороны, раскрыт механизм преобразования разнородных ресурсов предприятий в цифровые активы, подлежащие диагностике и управлению на основе анализа больших отраслевых данных.

В-четвертых, теоретическая рамка сложных адаптивных систем выступила в качестве интегрирующей основы, что позволило рассматривать отрасль не как совокупность изолированных предприятий, а как многоуровневую сеть взаимодействующих агентов, способных к коллективной самонастройке. Эмерджентные свойства такой системы (синергетический эффект кооперации, способность к самоорганизации в условиях неопределенности) возникают вследствие формирования единого цифрового контура, синхронизирующего микро-, мезо- и макроуровни отраслевого управления.

Таким образом, методологическая интеграция рассмотренных подходов позволила преодолеть фрагментарность существующих теоретических представлений и аргументировать необходимость перехода к экосистемной парадигме адаптивного управления.

Такой комплекс обеспечивает проактивный характер адаптации, динамическое соответствие внутреннего потенциала отраслевой системы изменяющимся требованиям внешней среды и институциональным условиям нового ресурсного уклада Индустрии 4.0.

Опираясь на данный теоретический фундамент, представим авторскую концепцию адаптивного управления, суть которой состоит в обосновании цифровой адаптивной экосистемы предприятия как архитектурного базиса, интегрирующего физические производственные активы, цифровые платформы, гибридные ресурсы и управленческие процессы в единый самонастраивающийся комплекс (Ташкинов 2026).

Разработанная концепция базируется на следующих принципах, синтезированных в ходе методологической интеграции:

- проактивность и предикативность, то есть способность системы не просто реагировать на изменения, но прогнозировать их на основе анализа больших данных, а также упреждающе перенастраивать параметры функционирования (развитие системно-кибернетического подхода);
- непрерывность и скорость адаптации: в данном контексте адаптация трактуется не как дискретный акт, а как перманентный процесс самонастройки, что корреспондирует с эволюционно-синергетическим пониманием неравновесности как нормального состояния развивающейся системы;
- сетевая интеграция и кооперация: принцип реализуется через формирование единого цифрового контура, синхронизирующего разнородных участников (предприятия, институты, регуляторы) на основе принципов теории сложных адаптивных систем;
- устойчивость и сбалансированность: принцип достигается не статической стабильностью, а динамическим равновесием, обеспечиваемым управлением

гетерогенностью адаптационного потенциала участников (организационно-управленческий и потенциал-ориентированный подходы).

Обобщение теоретико-методологических положений, изложенных в рамках системно-кибернетического, эволюционно-синергетического и организационно-управленческого подходов, а также теории сложных адаптивных систем формирует необходимую основу для концептуализации. Резюмируя данные теоретические положения, можно определить сущность адаптивного управления применительно к специфике отраслевых систем в условиях нового ресурсного уклада.

Необходимость применения адаптивного управления приобретает особую актуальность при возникновении значительных изменений в производственно-хозяйственной деятельности предприятия. К таким изменениям относятся трансформация требований к производимой продукции, внедрение новых управленческих методов в условиях Индустрии 4.0, а также технологические сдвиги, связанные с изменением ресурсной базы.

Основной целью адаптивного управления является обеспечение эффективности функционирования деятельности ОПЭС предприятия путем реализации превентивных мероприятий, направленных на поддержание соответствия между адаптационным и цифровым потенциалом системы и внешней средой. Данное соответствие достигается за счет быстрой реакции на нестабильность внешней среды в условиях Индустрии 4.0 (Tashkinov 2025).

Как было отмечено выше, концепция адаптивного управления базируется на категории адаптационного потенциала, который, по мнению исследователей, наделяет управленческий каркас ресурсным измерением.

В рамках традиционного подхода адаптационный потенциал рассматривается преимущественно сквозь призму ресурсной теории, в соответствии с которой финансовые, технологические и человеческие ресурсы, трансформируясь в оцифрованные профили и метрики, обретают статус управляемых активов экосистемы. Диагностика в такой модели осуществляется на основе данных, то есть оценка адаптационного потенциала проводится автоматически посредством анализа больших данных, что обеспечивает объективное ранжирование участников и выявление проблемных зон.

Промышленные предприятия функционируют не изолированно, а в сложной сетевой среде, поэтому их устойчивость и конкурентоспособность зависят от доступа к критически важным ресурсам, находящимся под контролем внешних организаций. К числу таких ресурсов относятся уникальные технологии, специализированные компетенции, доступ к новым рынкам сбыта и дефицитные виды сырья (Локотников 2025).

Вместе с тем реализация нового ресурсного уклада, характерного для Индустрии 4.0, актуализирует потребность в гибридных цифровых ресурсах, которые не находят отражения в структуре традиционного адаптационного потенциала. Данное обстоятельство обуславливает необходимость введения нового

понятия — цифровой потенциал, позволяющего учесть структурные трансформации ресурсного уклада под влиянием цифровизации. Авторская трактовка цифрового потенциала представлена ниже.

В настоящем исследовании под цифровым потенциалом понимается динамическая способность предприятия к трансформации традиционных ресурсов в управляемые цифровые активы, обеспечивающие адаптивность отраслевой производственно-экономической системы к изменениям внешней и внутренней среды (Ташкинов 2026).

Классификация типов адаптации отраслевых производственно-экономических систем в контексте Индустрии 4.0

Разработанный методологический подход к построению отраслевой производственно-экономической системы на основе технологий Индустрии 4.0 требует четкого разграничения ситуаций, в которых система должна перестраивать свою реакцию. В зависимости от причины, горизонта, объекта и способа настройки адаптационные процессы могут существенно различаться как по необходимым алгоритмам, так и по архитектурной реализации. Без систематизации данных различий невозможно корректно выбрать тип цифрового двойника, настроить контуры обратной связи и определить степень автономии при принятии решений.

В этой связи в настоящем исследовании предложена классификация типов адаптации отраслевых производственно-экономических систем в контексте Индустрии 4.0, которая позволяет унифицировать описание адаптивных сценариев и служит основой для проектирования цифровой экосистемы. Данная классификация построена по шести ключевым признакам, охватывающим временные, структурные, целевые и технологические аспекты. В таблице 1 представлены выделенные типы адаптации с примерами их реализации в условиях Индустрии 4.0.

Таким образом, методологический подход к построению отраслевой производственно-экономической системы предприятия на основе технологий Индустрии 4.0 базируется на принципах киберфизической интеграции, цифровых двойников и автономного контура управления (Tashkinov 2025). Ключевая особенность данного подхода заключается в требовании к системе не просто реагировать на возмущения, а делать это адаптивно, с учетом типа, масштаба и контекста отклонения. При этом универсальный адаптивный алгоритм, одинаково применимый ко всем ситуациям, отсутствует.

В связи с этим методологический подход дополняется классификацией типов адаптации отраслевых производственно-экономических систем в контексте Индустрии 4.0. Данная классификация выполняет три важнейшие функции:

1) таксономическую: систематизирует все многообразие адаптивных действий ОПЭС по шести независимым признакам;

- 2) проектировочную: определяет требования к технологиям Индустрии 4.0;
- 3) верификационную: служит основой для проверки полноты и корректности разрабатываемой цифровой адаптивной экосистемы предприятия.

Следовательно, предложенная классификация позволяет идентифицировать требования к цифровым двойникам и алгоритмам для каждого конкретного сценария функционирования системы.

Таблица 1

Классификация типов адаптации отраслевых систем

Признак классификации	Тип адаптации	Характеристика	Пример реализации в условиях Индустрии 4.0
Горизонт управления	Операционная (микроадаптация)	Реакция на возмущения в реальном времени (секунды, минуты). Изменение параметров работы оборудования, конвейера, робота	Коррекция режимов резания станка при изменении твердости заготовки на основе данных с вибродатчиков
	Тактическая (мезоадаптация)	Перенастройка производственных и логистических процессов в пределах смены/суток. Перераспределение загрузки линий, смена календарного плана	При отказе печи в литейном цехе система автоматически переназначает заказы на другие печи и корректирует график доставки шихты (MES + цифровой двойник потока)
	Стратегическая (макроадаптация)	Изменение структуры производства, цепочек поставок, бизнес-модели в интервале недели/месяцы	Адаптация ассортимента портфеля и переключение между собственным производством и аутсорсингом на основе прогнозов спроса
Способ настройки	Параметрическая	Изменение числовых коэффициентов (скорость конвейера, температура, цена, норматив запаса) без изменения структуры системы	Автоматическая подстройка регулятора экструдера с использованием нейросетевого предсказателя отклонений
	Структурная	Изменение топологии связей между элементами: маршруты деталей, последовательность операций, состав активного оборудования	Реконфигурация ячеек гибкого производственного модуля: при загрузке нового типа детали система перестраивает порядок прохождения станков
	Целевая (функциональная)	Коррекция приоритетов и критериев эффективности (например, с максимизации производительности на минимизацию энергозатрат)	Переключение целевой функции с эффективности оборудования (OEE) на энергоэффективность при пиковом тарифе на электроэнергию
Инициатор (причина)	Реактивная (пассивная)	Адаптация после возникновения отклонения. Система реагирует на уже зафиксированное возмущение (брак, простой, дефицит)	При снижении давления в пневмосети ниже порога происходит автоматический вызов резервного компрессора и снижение такта линии

Продолжение таблицы 1

Признак классификации	Тип адаптации	Характеристика	Пример реализации в условиях Индустрии 4.0
Инициатор (причина)	Предиктивная (упреждающая)	Адаптация на основе прогноза будущего отклонения. Система меняет параметры до того, как возмущение произошло	На основе прогноза износа инструмента автоматически планируется замена инструмента в ближайшей смене без остановки линии
	Проактивная (инновационная)	Адаптация под новые цели, не связанные с текущим возмущением (выход на новый рынок, смена регуляторных требований)	Предприятие 4.0 само иницирует переход на новую технологическую платформу (например, добавление 3D-печати) на основе анализа технологических трендов (большие данные + бизнес-правила)
Объект адаптации	Технологическая	Изменение режимов, маршрутов, оснастки, инструмента	Адаптивная смена управляющей программы ЧПУ при отклонении геометрии детали, выявленной лазерным сканером
	Логистическая	Изменение потоков материалов, уровня запасов, маршрутов транспорта.	При сбое поставщика комплектующих — автоматическое переключение на альтернативного из цифровой экосистемы (блокчейн-контракты + цифровой склад)
	Экономическая	Изменение цен, условий оплаты, объемов выпуска по номенклатуре, инвестиционных решений	Динамическое ценообразование на продукцию на основе спроса в реальном времени и загрузки линии
Степень автоматизации адаптации	Ручная	Решение принимает человек, система только визуализирует отклонения	Оператор получает push-уведомление «ОЕЕ упал ниже 65%» и вручную меняет настройки в программе
	Автоматизированная (советующая)	Система генерирует несколько вариантов адаптации, человек выбирает и утверждает	Цифровой двойник предлагает три сценария переналадки, мастер цеха выбирает один
	Автономная (автоматическая)	Система самостоятельно реализует адаптацию без участия человека (в пределах заданных ограничений)	При повышении вибрации вентилятора система сама снижает обороты, переключает на резервный ход работы
Масштаб изменений	Локальная	Адаптация в пределах одного агрегата, рабочего центра	Робот-манипулятор сам меняет захват в зависимости от типа детали
	Функциональная	Адаптация в пределах цеха, участка, логистической зоны	Система управления складом при спросе меняет стратегию комплектации с «волновой» на «зонную»

Окончание таблицы 1

Признак классификации	Тип адаптации	Характеристика	Пример реализации в условиях Индустрии 4.0
Масштаб изменений	Системная (кросс-функциональная)	Одновременная адаптация производства, логистики, финансов и сбыта	При скачке курса валюты система пересчитывает закупки импортного сырья, корректирует цены отгрузки и меняет производственное расписание

Источник: составлено автором.

Подводя итог проведенному теоретико-методологическому исследованию, сформулируем ключевые положения концепции адаптивного управления отраслевой производственно-экономической системой в условиях Индустрии 4.0.

1. Сущность адаптивного управления заключается в непрерывной идентификации изменений внешней и внутренней среды посредством гибридных цифровых ресурсов и автоматической реконфигурации бизнес-процессов, цепочек создания стоимости и организационной структуры, направленной на поддержание целевого состояния системы.

2. Онтологическая основа адаптивного управления состоит в трансформации цифровой адаптивной экосистемы предприятия в соответствии с требованиями ресурсного уклада и технологическими вызовами Индустрии 4.0, что выступает императивом долгосрочного и эффективного функционирования.

3. Целевая ориентация адаптивного управления состоит в обеспечении экономической эффективности цифровой адаптивной экосистемы за счет реализации превентивных мероприятий, поддерживающих динамическое соответствие между адаптационным и цифровым потенциалом системы управления и турбулентностью внешней среды.

4. Принципиальную платформу адаптивного управления образуют следующие взаимосвязанные принципы: проактивность и предиктивность, непрерывность и скорость адаптации, сетевая интеграция и кооперация, устойчивость и сбалансированность.

5. Детерминанты адаптивности определяются совокупностью объективных факторов, включающих уровень цифровой зрелости отрасли и предприятия, степень гетерогенности и связанности гибридных цифровых ресурсов, интенсивность технологических сдвигов в рамках ресурсного уклада, а также характер институциональной среды и отраслевой конъюнктуры.

6. Критерий результативности адаптивного управления выражается в способности системы минимизировать временной интервал между идентификацией внешнего возмущения и реализацией адекватной реконфигурации при одновременном сохранении траектории устойчивого экономического роста и целевых показателей эффективности использования гибридных цифровых ресурсов.

Концепция адаптивного управления ОПЭС представляет собой целостную систему теоретико-методологических положений, определяющих цели, принципы, факторы и механизмы управления промышленным предприятием, что обеспечивает его устойчивое функционирование и развитие в условиях нестабильности и цифровой трансформации.

Заключение

Проведенное теоретико-методологическое исследование позволяет сформулировать следующие общие выводы.

Интеграция системно-кибернетического, эволюционно-синергетического, организационно-управленческого подходов и теории сложных адаптивных систем создает целостное теоретическое основание для разработки концепции адаптивного управления отраслевыми производственно-экономическими системами в условиях Индустрии 4.0.

Сущность адаптивного управления применительно к специфике отраслевых систем в условиях нового ресурсного уклада заключается в способности предприятия к непрерывной проактивной самонастройке, обеспечивающей динамическое равновесие с турбулентной внешней средой.

Необходимость применения адаптивного управления обусловлена возникновением значимых изменений в производственно-хозяйственной деятельности предприятия.

Разработанная концепция адаптивного управления, основанная на архитектуре цифровой адаптивной экосистемы предприятия, формирует теоретико-методологический фундамент для эффективного функционирования промышленных предприятий в условиях цифровой трансформации экономики промышленного сектора.

Предложенная классификация типов адаптации отраслевых производственно-экономических систем в контексте Индустрии 4.0 не является самостоятельным результатом, а выступает неотъемлемым элементом разработанного методологического подхода. Данная классификация выполняет функцию аналитического базиса, обеспечивая переход от общих принципов к конкретным механизмам адаптации, подлежащим реализации.

ЛИТЕРАТУРА

Багриновский К.А. 1999. О методах адаптивного управления в переходной экономике. *Экономическая наука современной России*. № 2. С. 30–39.

Глазьев С.Ю. 2011. Сесть на гребень новой волны. *Однако*. 32 (96). С. 21–24.

Деревицкий Д.П., Фрадков А.Л. 1981. *Прикладная теория дискретных адаптивных систем управления*. Москва: Наука. 216 с.

Зяблицкая Н.В. 2012. Адаптационный потенциал как экономическая категория. *Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Экономика и экологический менеджмент»*. 1 (10).

Клейнер Г.Б. 2023. Системная парадигма как теоретическая основа стратегического управления экономикой в современных условиях. *Управленческие науки*. 13 (1). С. 6–19. <https://doi.org/10.26794/2304-022X-2023-13-1-6-19>

Локотников Д.И. 2025. Концептуальные подходы к управлению межорганизационными бизнес-процессами промышленных предприятий. *Международный бизнес*. 3 (13). С. 110–124. <https://doi.org/10.24833/2949-639X-2025-3-13-110-124>

Николис Г., Пригожин И.Р. 1979. *Самоорганизация в неравновесных системах. От диссипативных структур к упорядоченности через флуктуации*. Москва: Мир. 512 с.

Ташкинов А.Г. 2026. Адаптивное управление гибридными цифровыми ресурсами предприятия на основе модифицированной производственной функции Кобба-Дугласа в условиях Индустрии 4.0. *Вестник Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова*. № 1. С. 5–12. <https://doi.org/10.21686/2413-2829-2026-1-5-12>

Ташкинов А.Г. 2026. Концептуальная модель цифровой адаптивной экосистемы промышленного предприятия в условиях индустрии 4.0. *т-Economy*. 19 (1). С. 36–61. <https://doi.org/10.18721/JE.19102>

Эфендиев Б.А. 2008. Разработка и функционирование адаптивных систем управления организацией. *Российское предпринимательство*. 9 (11). С. 21–25.

Bloom N. 2014. Fluctuations in Uncertainty. *Journal of Economic Perspectives*. 28 (2). P. 76–153. <https://doi.org/10.1257/jep.28.2.153>

Holling C.S. 1978. *Adaptive Environmental Assessment and Management*. Chichester: John Wiley & Sons. 377 p.

Tashkinov A.G. 2025. The Application of Industry 4.0 into the Company's Production Activities through Effective Decision-Making. *Scientific Reports*. No. 15. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-15688-0>

Williams B.K., Szaro R.C., Shapiro C.D. 2009. *Adaptive Management: The U.S. Department of the Interior Technical Guide Adaptive Management Working Group*. Washington, DC: U.S. Department of the Interior. 72 p.

International Business. 2025. 4 (14). P. 48–63

JEL L23, M15, O32

<https://doi.org/10.24833/2949-639X-2025-4-14-48-63>

Received 03 January 2026

Accepted 12 January 2026

METHODOLOGICAL APPROACH TO BUILDING AN INDUSTRY-SPECIFIC PRODUCTION-ECONOMIC SYSTEM BASED ON INDUSTRY 4.0 TECHNOLOGIES

Aleksey G. Tashkinov

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Department for Economics and Industrial Production Management, Perm National Research Polytechnic University, alekss.perm@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6248-8441>

Abstract. The current stage of economic development, characterised by the emergence of a new resource-based paradigm and widespread digital transformation, is marked by a shift towards the Industry 4.0 paradigm. The dynamic development of Industry 4.0 technologies highlights the need to ensure flexibility and rapid adaptation of industrial enterprises to turbulent changes in the external environment. The objective of this study is to develop a methodological approach to constructing an enterprise's industry-specific production and economic system based on Industry 4.0 technologies, integrating advanced technological solutions and modern management paradigms. The methodological basis of this study is a comprehensive analysis and synthesis of several scientific approaches: systems-cybernetic and mathematical, evolutionary-synergetic and nonlinear approaches within the industry, organisational-managerial and potential-oriented approaches within the industry, as well as key tenets of the theory of complex adaptive systems. Combining the principles of adaptive management with the tools of these paradigms has enabled the formation of a holistic theoretical foundation for the study. The results of the study are presented as a set of interconnected propositions based on the principles of cyber-physical integration, digital twins, and autonomous control loops. The author proposes a classification of adaptation types for industrial production and economic systems in the context of Industry 4.0, which allows for a unified description of adaptive scenarios and serves as a basis for designing a digital ecosystem.

Keywords: adaptive management, Industry 4.0, concept, industry-specific production and economic system of an enterprise, digital transformation, economics, digital ecosystem

Disclosure statement: no conflict of interest was reported by the author.

For citation: Tashkinov A.G. 2025. Methodological Approach to Building an Enterprise's Industrial Production-Economic System Based on Industry 4.0 Technologies. *International Business*. 4 (14). P. 48–63. <https://doi.org/10.24833/2949-639X-2025-4-14-48-63>

© Tashkinov A.G., 2025

REFERENCES

- Bagrinovskiy K.A. 1999. O metodakh adaptivnogo upravleniya v perekhodnoy ekonomike [On Adaptive Management Methods in a Transitional Economy]. *Economic Science in Contemporary Russia*. No. 2. P. 30–39. (In Russian)
- Bloom N. 2014. Fluctuations in Uncertainty. *Journal of Economic Perspectives*. 28 (2). P. 153–176. <https://doi.org/10.1257/jep.28.2.153>
- Derevitskiy D.P., Fradkov A.L. 1981. *Prikladnaya teoriya adaptivnykh sistem upravleniya* [Applied Theory of Adaptive Control Systems]. Moscow: Nauka. 216 p. (In Russian)
- Efendiev B.A. 2008. Razrabotka i funktsionirovanie adaptivnykh sistem upravleniya organizatsiy [Development and Functioning of Adaptive Organisation Management Systems]. *Russian Journal of Entrepreneurship*. 9 (11). P. 21–25. (In Russian)
- Glazyev S.Yu. 2011. Sest na greben novoy volny [Riding the Crest of a New Wave]. *Odnako*. 32 (96). P. 21–24. (In Russian)
- Holling C.S. 1978. *Adaptive Environmental Assessment and Management*. Chichester: John Wiley & Sons. 377 p.

Kleyner G.B. 2023. Sistemnaya paradigma kak teoreticheskaya osnova strategicheskogo upravleniya ekonomikoy v sovremennykh usloviyakh [Systems Paradigm as a Theoretical Basis for Strategic Economic Management in Modern Conditions]. *Management Sciences*. 13 (1). P. 6–19. <https://doi.org/10.26794/2304-022X-2023-13-1-6-19> (In Russian)

Lokotnikov D.I. 2025. Kontseptualnye podkhody k upravleniyu mezhorganizatsionnymi biznes-protsessami promyshlennykh predpriyatiy [Conceptual Approaches to Managing Interorganisational Business Processes in Industrial Enterprises]. *International Business*. 3 (13). P. 110–124. <https://doi.org/10.24833/2949-639X-2025-3-13-110-124> (In Russian)

Nikolis G., Prigozhin I.R. 1979. *Samoorganizatsiya v neravnovesnykh sistemakh. Ot dissipativnykh struktur k uporyadochennosti cherez fluktuatsii* [Self-Organisation in Nonequilibrium Systems. From Dissipative Structures to Ordering through Fluctuations]. Moscow: Mir. 512 p. (In Russian)

Tashkinov A.G. 2025. The Application of Industry 4.0 into the Company's Production Activities through Effective Decision-Making. *Scientific Reports*. No. 15. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-15688-0>

Tashkinov A.G. 2026. Adaptivnoe upravlenie gibridnymi tsifrovymi resursami predpriyatiya na osnove modifitsirovannoy proizvodstvennoy funktsii Kobba-Duglasa v usloviyakh Industrii 4.0 [Adaptive Management of Hybrid Digital Resources of Enterprise Based on Modified Cobb-Douglas Production Function in Conditions of Industry 4.0]. *Vestnik of the Plekhanov Russian University of Economics*. No. 1. P. 5–12. <https://doi.org/10.21686/2413-2829-2026-1-5-12> (In Russian)

Tashkinov A.G. 2026. Kontseptualnaya model tsifrovoy adaptivnoy ekosistemy promyshlennogo predpriyatiya v usloviyakh industrii 4.0 [Conceptual Model of a Digital Adaptive Ecosystem for an Industrial Enterprise in Industry 4.0]. *Экономика*. 19 (1). P. 36–61. <https://doi.org/10.18721/JE.19102> (In Russian)

Williams B.K., Szaro R.C., Shapiro C.D. 2009. *Adaptive Management: The U.S. Department of the Interior Technical Guide Adaptive Management Working Group*. Washington, DC: U.S. Department of the Interior. 72 p.

Zyablitskaya N.V. 2012. Adaptatsionnyy potentsial kak ekonomicheskaya kategoriya [Adaptive Potential as an Economic Category]. *Scientific Journal NRU ITMO. Series "Economics and Environmental Management"*. 1 (10). (In Russian)