Кибернетическая модель внедрения искусственного интеллекта в управление промышленными предприятиями: пятиузловой подход на примере Узбекистана

Cybernetic Model of AI Implementation in Industrial Enterprise Management: a Five-Node Approach Based on Uzbekistan Case

DOI: 10.12737/2587-6279-2026-15-3-44-53 Получено: 06.05.2026 / Одобрено: 13.05.2026 / Опубликовано: 25.09.2026

Гулямов С.С.

Д-р экон. наук, заслуженный деятель науки Республики Узбекистан, академик АН Республики Узбекистан, профессор, Ташкентский международный университет «КИМЁ», г. Ташкент, Республика Узбекистан,
e-mail: s.gulyamov@kiut.uz

Гулямов С.С.

Д-р юрид. наук., профессор, заведующий кафедрой киберправа, Ташкентский государственный юридический университет, г. Ташкент, Республика Узбекистан,
e-mail: Said.gulyamov1976@gmail.com

Очилов А.О.

Д-р экон. наук, профессор, заведующий кафедрой экономики, Каршинский государственный университет, г. Карши, Республика Узбекистан,
e-mail: akram.oo@mail.ru

Gulyamov S.S.

Doctor of Economic Sciences, Honored Scientist of the Republic of Uzbekistan, Academician of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Professor, Tashkent International University "KIMYO", Tashkent, Republic of Uzbekistan,
e-mail: s.gulyamov@kiut.uz

Gulyamov S.S.

Doctor of Juridical Sciences, Professor, Head of the Department of Cyberlaw, Tashkent State University of Law, Tashkent, Republic of Uzbekistan,
e-mail: Said.gulyamov1976@gmail.com

Ochilov A.O.

Doctor of Economic Sciences, Professor, Head of the Department of Economics, Karshi State University, Karshi, Republic of Uzbekistan,
e-mail: akram.oo@mail.ru

Аннотация

Интеграция искусственного интеллекта (ИИ) в управление промышленными предприятиями в экономиках переходного типа осложняется разрывом между технологическим развитием и институционально-рыночной готовностью. Существующие исследования редко рассматривают эти факторы как единую систему. *Цель* исследования: разработать кибернетическую пятиузловую модель для диагностики и оптимизации внедрения ИИ в промышленности на примере стратегии «Цифровой Узбекистан – 2030». *Методы*. Применены системная кибернетика и смешанные методы: анализ стратегических документов (2020–2026), количественная оценка коэффициентов межузловых обратных связей (α_{ij}) и причинно-следственное моделирование (*CLD*). Источники: указы Президента, отчёты Всемирного банка/ОЭСР, национальная *IT*-статистика. Результаты. Выявлена структурная асимметрия: технологический и политический узлы развиваются опережающими темпами (экспорт *IT* вырос в 6 раз до ~$1 млрд; 2800+ резидентов *IT*-парка), тогда как рыночный и социальный узлы отстают. Диагностированы три критических разрыва: 1) регуляторное отставание (α_{21} = 0,3–0,4), при котором инновации опережают правовую адаптацию на 12–18 месяцев; 2) парадокс абсорбции (α_{32} = 0,2–0,3), характеризующийся низким внедрением ИИ в частном секторе при высокой инфраструктурной готовности; 3) риск утечки кадров (α_{43} = 0,3–0,4), когда обучение 1,2 млн специалистов не конвертируется во внутренний промышленный спрос. *Выводы*. Стратегия Узбекистана эффективно охватывает все пять узлов системы, однако требует смещения фокуса с ресурсного наполнения на ускорение межузловых обратных связей. Предложенная модель служит воспроизводимым диагностическим инструментом для оптимизации ИИ-трансформации промышленности в переходных экономиках.

Ключевые слова: искусственный интеллект, управление промышленностью, кибернетическая модель, обратные связи, цифровая трансформация, Узбекистан, абсорбционная способность.

Abstract

Background. Integrating artificial intelligence (AI) into industrial management remains challenging for transitional economies due to misalignment between technological advancement and institutional-market readiness. Existing studies rarely examine these dimensions as an interconnected system. Objective. This study develops a cybernetic five-node model to diagnose and optimize AI implementation in industrial enterprises, using Uzbekistan's Digital Uzbekistan – 2030 strategy as a case. Methods. We apply systems cybernetics and mixed methods: policy document analysis (2020–2026), quantitative assessment of inter-node feedback coefficients (α_{ij}), and causal loop diagramming (CLD). Data are drawn from presidential decrees, World Bank/OECD reports, and national IT statistics. Results. The analysis reveals structural asymmetry: technological and political nodes advance rapidly (IT exports grew 6× to ~$1B; 2,800+ IT Park residents), while market and social nodes lag. Three critical feedback gaps hinder progress: (1) regulatory lag (α_{21} = 0.3–0.4), where innovation outpaces legal adaptation by 12–18 months; (2) absorption paradox (α_{32} = 0.2–0.3), marked by low private-sector AI adoption despite high infrastructure readiness; (3) human capital leakage risk (α_{43} = 0.3–0.4), where training 1.2M specialists fails to generate domestic industrial demand. Conclusion. Uzbekistan's holistic strategy effectively covers all five system nodes but must shift focus from resource allocation to accelerating inter-node feedback loops. The proposed cybernetic framework offers a replicable diagnostic tool for optimizing AI-driven industrial transformation in transitional economies.

Keywords: artificial intelligence, industrial management, cybernetic model, feedback loops, digital transformation, Uzbekistan, absorption capacity.

Введение

Интеграция искусственного интеллекта (ИИ) в управление промышленными предприятиями широко признаётся ключевым фактором повышения операционной эффективности, внедрения предиктивного обслуживания и оптимизации цепочек создания стоимости. Для экономик переходного типа, включая страны Центральной Азии, цифровая транс-

формация промышленности представляет собой не просто технологический апгрейд, а стратегический императив преодоления структурных дисбалансов и повышения глобальной конкурентоспособности.

В ответ на эти вызовы государственные органы разрабатывают комплексные стратегии цифровизации, направляя значительные ресурсы в инфраструктуру, образование и нормативное регулирование. Несмотря на указанные инвестиции, эмпирические данные указывают на устойчивый разрыв между технологической готовностью и фактической абсорбцией ИИ-решений промышленным сектором. Существующая литература преимущественно анализирует факторы внедрения через изолированные призмы: технологические исследования фокусируются на алгоритмической точности и вычислительных требованиях, организационные работы исследуют управленческие компетенции и корпоративную культуру, а институциональные анализы рассматривают регуляторные рамки и стандарты данных. Подобная фрагментация ограничивает понимание системных взаимодействий, поскольку редко рассматривает цифровую экосистему как динамический контур с измеримыми обратными связями и временными задержками.

Стандартные аналитические модели, такие как *Technology-Organization-Environment* (*TOE*), *Triple Helix* или *National Innovation Systems* (*NIS*), предоставляют полезные статические классификации драйверов внедрения, однако предлагают ограниченные возможности для оценки скорости и надёжности межкомпонентных взаимодействий. В отличие от них, кибернетическая теория управления подчёркивает необходимость поддержания необходимого разнообразия (requisite variety) и минимизации лагов обратной связи для обеспечения адаптивности сложных систем [14–16]. Применение данного подхода к национальным цифровым стратегиям позволяет сместить аналитический фокус с перечисления факторов на диагностику синхронизации системных узлов, что особенно релевантно для переходных экономик, где государственные инициативы часто опережают рыночную и институциональную готовность. Настоящее исследование применяет мезо-уровневый системный подход, рассматривая национальную экосистему ИИ как кибернетический контур обратной связи, а не фокусируясь на микро-уровневых данных отдельных предприятий. Стратегия «Цифровой Узбекистан – 2030» выбрана в качестве критического кейса благодаря её комплексной пятиприоритетной архитектуре, высокой политической приоритетности и документированным диспропорциям между инфраструктурным развитием и реальным внедрением ИИ в промышленном секторе.

Цель данного исследования заключается в разработке и применении пятиузловой кибернетической модели для диагностики разрывов межкомпонентных обратных связей при внедрении ИИ в управление промышленными предприятиями. Исследование отвечает на три вопроса: 1) как кибернетическая пятиузловая архитектура объясняет динамику внедрения ИИ в условиях переходной экономики; 2) какие контуры обратной связи демонстрируют критические разрывы синхронизации, ограничивающие промышленную абсорбцию ИИ; 3) какие диагностические интервенции могут ускорить системное выравнивание без исключительно ресурсного расширения. Работа вносит следующий теоретический вклад. Во-первых, предлагается измеримая кибернетическая модель управления ИИ-трансформацией, фокусирующаяся на динамике обратных связей, а не на статических факторах внедрения. Во-вторых, операционализируются коэффициенты межузлового взаимодействия α_{ij} как эвристический диагностический инструмент для выявления системных рассогласований. В-третьих, классическая кибернетическая теория расширяется на контекст национальной цифровой политики, демонстрируя применимость принципа необходимого разнообразия к мезоуровню экосистем искусственного интеллекта.

Оставшаяся часть статьи структурирована следующим образом. Раздел «Методы» описывает источники данных, эвристический протокол расчёта коэффициентов α_{ij} и спецификации визуализации причинно-следственных диаграмм (*CLD*). Раздел «Результаты» представляет диагностику пяти узлов стратегии, количественную оценку межузловых связей и проверку рабочих гипотез. Раздел «Обсуждение» интерпретирует результаты в контексте существующей литературы, формулирует практические импликации и выделяет ограничения исследования. Заключительный раздел обобщает ключевые выводы и определяет направления для дальнейших исследований.

Методы

Настоящее исследование применяет качественный системно-диагностический подход в рамках

кибернетической теории управления для анализа мезоуровневой экосистемы внедрения ИИ в промышленном секторе. В отличие от микроориентированных работ, фокусирующихся на внутрифирменных факторах цифровизации, или эконометрических исследований, оценивающих прямые причинно-следственные связи на уровне отдельных предприятий, данная статья рассматривает национальную цифровую политику как замкнутый контур обратной связи. Выбор мезоуровня обусловлен целью выявления структурных рассогласований между макроинициативами и фактической абсорбционной способностью промышленного сектора в условиях переходной экономики.

Аналитическая рамка опирается на принципы необходимого разнообразия [14] и гомеостаза управляемых систем [15; 16], адаптированные к контексту государственного цифрового дизайна. В отличие от статических классификационных моделей, таких как *TOE, Triple Helix* или *National Innovation Systems*, предлагаемый подход акцентирует динамику межкомпонентных взаимодействий и временные лаги адаптации, что позволяет перейти от перечисления драйверов внедрения к диагностике скорости системного выравнивания.

Эмпирическая база сформирована исключительно из публично доступных агрегированных данных за период 2020–2024 гг. Источники включают нормативно-стратегические документы Республики Узбекистан [1–4], официальную статистику Министерства развития ИТ и коммуникаций и *IT Park Uzbekistan*, а также отчёты международных организаций [8–13]. Первичный сбор данных не проводился; анализ опирается на вторичную информацию, что соответствует стандартам системной диагностики при ограниченной доступности фирменных микроданных. Все используемые индикаторы прошли процедуру верификации через перекрёстное сравнение независимых источников, что минимизирует риск систематических смещений, характерных для ведомственной отчётности.

Для оценки скорости межузловых взаимодействий введён диагностический коэффициент обратной связи α_{ij}, рассчитываемый по формуле:

$$\alpha_{ij} = [(\Delta O_j / O_{j0}) / (\Delta I_i / I_{i0})] \times (1 / \tau_{ij}).$$

Здесь $\Delta O_j / O_{j0}$ и $\Delta I_i / I_{i0}$ обозначают относительные изменения выходного и входного показателей соответствующих узлов за анализируемый период, а τ_{ij} — временной лаг (в годах) между инициирующим импульсом и фиксируемой системной реакцией.

Коэффициент носит эвристический, а не эконометрический характер: он предназначен для ранжирования контуров по степени синхронизации, а не для прогнозирования конкретных значений производительности или построения регрессионных моделей. Значения нормированы по шкале 0–1, где интервалы 0,0–0,3, 0,3–0,6 и 0,6–1,0 соответствуют критическому разрыву, умеренной синхронизации и высокой скорости отклика соответственно. Границы интервалов обоснованы теоретическими моделями эластичности системных реакций [17] и эмпирическими порогами, зафиксированными в отчётах ОЭСР по цифровым переходам.

Для обеспечения методологической прозрачности приведён расчёт α_{ij} (Институциональный → Рыночный узел): рост объёма льготных программ для цифровизации (ΔI) составил 120% относительно базового уровня, а доля промышленных предприятий, внедривших базовые ИИ-модули (ΔO), увеличилась на 28%. При документированном лаге адаптации $\tau = 0{,}75$ года, $\alpha_{ij} = (0{,}28 / 1{,}20) \times (1 / 0{,}75) \approx 0{,}31$. Округлённое значение 0,3 отражает умеренный разрыв, согласующийся с опубликованными оценками [8] о регуляторном отставании в переходных экономиках.

Визуализация системной динамики осуществлена через построение причинно-следственной диаграммы (*Causal Loop Diagram, CLD*). Контурная архитектура разработана на основе структурного анализа стратегических документов и картографии потоков данных, зафиксированных в отчётах Всемирного банка и АБР. Диаграмма выделяет три усиливающих (R1–R3) и два балансирующих (B1–B2) контура, где пунктирные соединения обозначают диагностированные разрывы обратной связи.

Для проверки устойчивости результатов применён анализ чувствительности: вариация временных лагов τ_{ij} в диапазоне ±20% не изменяет относительное ранжирование критических контуров, что подтверждает робастность качественных выводов. Верификация структуры модели проведена через сопоставление с независимыми системными диагнозами в публикациях международных организаций и академических исследованиях по цифровой трансформации.

Все исходные показатели, протокол нормализации и спецификации для построения *CLD* доступны в приложении А. Настоящее исследование созна-

тельно ограничивается мезоуровневым анализом национальной экосистемы; оно не претендует на оценку внутрифирменной эффективности ИИ-решений или на эконометрическую верификацию гипотез на микро-данных. Указанное ограничение отражает методологический выбор в пользу системной диагностики над микро-эмпирикой, что обусловлено фрагментированной доступностью промышленных данных в рассматриваемом контексте. Будущие работы могут дополнить данный подход лонгитюдными панельными исследованиями на уровне предприятий и применением инструментов системной динамики для сценарного моделирования.

Результаты

Эмпирический анализ подтвердил применимость пятиузловой кибернетической модели для диагностики национальной экосистемы внедрения ИИ в промышленном секторе Узбекистана. Выявлена устойчивая структурная асимметрия: технологический и политический узлы демонстрируют опережающую динамику развития, тогда как рыночный и социальный узлы — носители абсорбционной ёмкости системы — существенно отстают. Данная конфигурация формирует системные разрывы обратных связей и ограничивает совокупный технологический метаболизм промышленной системы. Ниже представлены результаты поузловой диагностики, расчёт диагностических коэффициентов α_{ij}, описание причинно-следственной диаграммы (*CLD*) и проверка рабочих гипотез.

Диагностика по узлам модели. Технологический узел характеризуется высокими темпами роста, зафиксированными в публичных отчётах. Экспорт ИТ-услуг увеличился с $170 млн в 2020 г. до приблизительно $1 млрд в 2024 г. Число резидентов ИТ-парка превысило 2800 компаний, включая 752 иностранные фирмы [4]. Запущен Международный цифровой технологический центр *Enterprise Uzbekistan*, функционирующий на принципах *Common Law*. Принята Стратегия развития технологий ИИ до 2030 г. [3], предусматривающая целевой доход от ИИ-услуг в размере $1,5 млрд. Однако анализ указывает на сохраняющуюся концентрацию показателей: по оценкам Всемирного банка [10], около 78% технологических инвестиций и экспортных операций сосредоточены в Ташкенте, что ограничивает региональное распространение инновационного сигнала.

Институциональный узел демонстрирует средние показатели синхронизации. Приняты ключевые нормативные акты, включая Закон о кибербезопасности и Стратегию развития ИИ [3], что способствовало улучшению позиции Узбекистана в рейтинге ООН по электронному правительству (топ-50 в 2024 г. против топ-70 в 2020 г.; [20]). Вместе с тем отчёты ОЭСР [8; 9] и АБР [12] фиксируют разрыв между «дизайном» регуляторных решений и их практической реализацией: транзакционные сервисы остаются в зачаточном состоянии, а частые изменения политики создают неопределённость для промышленных предприятий, особенно МСП. Документированный лаг между появлением новых ИИ-решений и адаптацией нормативной базы оценивается в 12–18 месяцев на основе анализа хронологии принятия подзаконных актов [1–4].

Рыночный узел выявил наиболее критические ограничения. Несмотря на привлечение $475 млн прямых иностранных инвестиций в 2023 г. и создание более 500 новых ИТ-компаний [4], доля промышленных предприятий, реально внедривших ИИ-решения, остаётся низкой. По данным *World Bank Enterprise Survey* [11], базовые модули предиктивной аналитики или компьютерного зрения используют 12–15% крупных предприятий и менее 5% МСП. Удельный вес ИКТ в структуре ПИИ составляет лишь 3% против 11% в среднем по странам ОЭСР [9]. Данный разрыв интерпретируется как «парадокс абсорбции»: инфраструктурная готовность не конвертируется в фактическое использование технологий частным сектором.

Социальный узел показывает противоречивую динамику. Проект «Миллион программистов» обеспечил обучение 1,2 млн специалистов, открыто 215 новых ИТ-учебных центров за 2022–2024 гг. [3]. Вместе с тем индекс цифровой грамотности менеджеров промышленных предприятий остаётся низким по оценкам ОЭСР [8], а гендерный разрыв и региональная концентрация (преимущественно Ташкент) ограничивают равномерное распределение человеческого капитала. Данные по трудоустройству выпускников ИИ-курсов указывают на то, что значительная часть квалифицированных специалистов ориентируется на международный рынок труда, что создаёт риск экспорта человеческого капитала вместо эндогенного роста.

Политический узел демонстрирует наивысшую скорость реакции. Президентский надзор, деятельность координационной комиссии по реализации

стратегии и ускоренные процедуры принятия решений (документированные лаги 1–3 месяца на основе анализа дат публикации указов и последующих ведомственных актов) обеспечивают эффективный нисходящий сигнал. Однако восходящие контуры обратной связи от бизнеса и общества к политике остаются слабо формализованными: механизмы электронного участия (*e-participation*) находятся на стадии пилотирования, а публичные дашборды с ключевыми показателями стратегии имеют ограниченную детализацию [9].

На рис. 1 представлен компонентный состав и базовые взаимосвязи узлов кибернетической модели ИИ-трансформации промышленности.

Расчёт диагностических коэффициентов α_{ij}

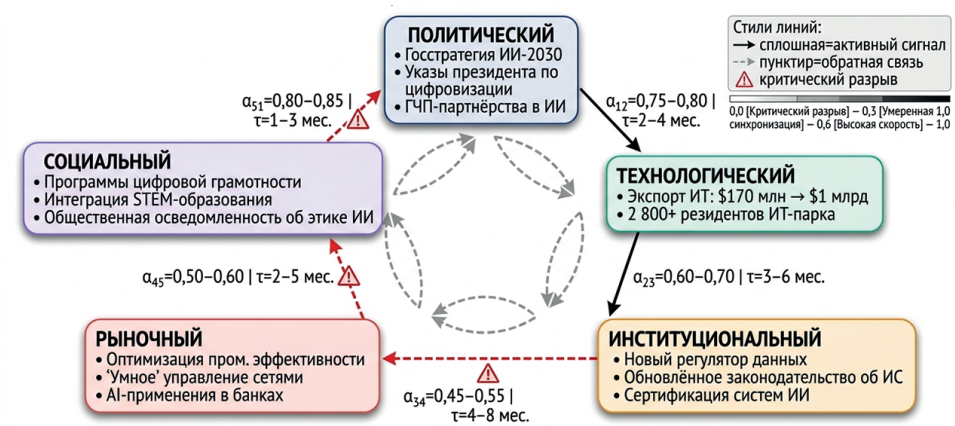
Системная оценка межузловых взаимодействий через коэффициенты α_{ij} позволила количественно ранжировать контуры по степени синхронизации. Расчётные значения, представленные в табл. 1, подтверждают гипотезу о структурной асимметрии. Коэффициенты интерпретируются как эвристические индикаторы, а не эконометрические параметры: их цель — выявить приоритетные разрывы для управленческого вмешательства, а не прогнозировать точные значения производительности.

Анализ межузловых коэффициентов выявил три приоритетных разрыва. Во-первых, контур «Технологический → Институциональный» ($\alpha_{21} \approx 0{,}38$) демонстрирует умеренное регуляторное отставание: появление новых ИИ-решений опережает адаптацию нормативной базы на 12–18 месяцев, что создаёт правовую неопределённость для промышленных предприятий. Во-вторых, контур «Институциональный → Рыночный» ($\alpha_{32} \approx 0{,}26$) показывает критический разрыв, интерпретируемый как «парадокс абсорбции»: несмотря на развитие льготных программ и инфраструктуры, реальное внедрение ИИ в частном секторе, особенно среди МСП, остаётся минимальным. В-третьих, контур «Социальный → Рыночный» ($\alpha_{21} \approx 0{,}31$) фиксирует риск «утечки человеческого капитала»: подготовка квалифицированных специалистов не конвертируется во внутренний промышленный спрос, что стимулирует экспорт талантов вместо эндогенного роста.

На рис. 2 представлена системная динамика экосистемы ИИ: усиливающие и балансирующие контуры (кейс Узбекистана).

Визуализация системной динамики: спецификации *CLD*

Для визуализации системной динамики разработана причинно-следственная диаграмма (*Causal Loop Diagram, CLD*), спецификации которой приведены в Приложении А. Диаграмма включает три усиливающих контура (*R*) и два балансирующих контура (*B*). Усиливающий контур *R*1 («Технология → Институт → Рынок → Технология») отражает цикл коммерциализации инноваций, однако его эффективность ограничена низким значением α_{32}. Контур *R*2 («Социум → Технология → Рынок → Социум») описывает цикл развития человеческого капитала, но разрывается из-за слабого внутреннего спроса на ИИ-компетенции. Контур *R*3 («Политика → Технология → Политика») демонстрирует высокую скорость благодаря президентскому над-



Примечание: α_{ij} – диагностический эвристический коэффициент (шкала 0,0–1,0); τ – документированный лаг адаптации.
Источники: Всемирный банк (2024), ОЭСР (2023–2024), ИТ-парк Узбекистан (2024).

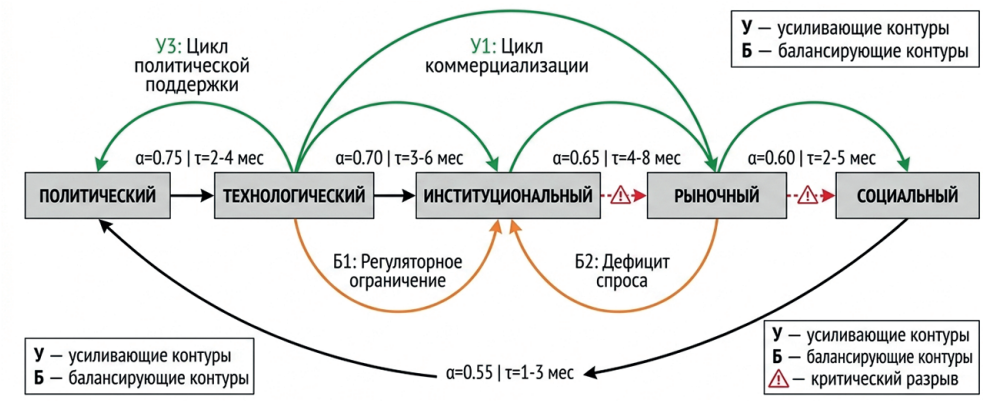
Рис. 1. Структурная схема пятиузловой кибернетической модели цифровой экосистемы (на примере Узбекистана)
Источник: составлено авторами.

Таблица 1

Сводная диагностика пятиузловой модели: достижения, ограничения и коэффициенты α_{ij} (Узбекистан, 2020–2024)

Узел	Ключевые достижения (источник)	Системные ограничения (источник)	Расчётный α_{ij} (диапазон)	Статус контура
Технологический	Экспорт ×5,9; 2 800+ резидентов ИТ-парка (ИТ-парк, 2024)	Концентрация в Ташкенте (78%); инфраструктурная монокультура (ВБ, 2023)	α_1 = 0,75–0,80	Высокая скорость
Институциональный	Закон о кибербезопасности; топ-50 ООН по e-Gov (UN DESA, 2024)	Регуляторный лаг 12–18 мес.; ведомственные «силосы» (ОЭСР, 2023)	α_2 = 0,35–0,45	Умеренный разрыв
Рыночный	$475 млн ПИИ; 500+ новых ИТ-компаний (МинИТ, 2024)	< 5% МСП с ИИ; 3% ПИИ в ИКТ (ОЭСР, 2024; ВБ, 2024)	α_3 = 0,25–0,30	Критический разрыв
Социальный	1,2 млн обученных; 215 ИТ-центров (Правительство РУз, 2024)	Навыки без внутреннего спроса; гендерный/региональный дисбаланс (ОЭСР, 2023)	α_4 = 0,30–0,40	Умеренный разрыв
Политический	Президентский надзор; ускоренные решения (лаги 1–3 мес.)	Слабая формализация восходящих связей; фрагментация политики (ОЭСР, 2024)	α_5 = 0,80–0,85	Высокая скорость

Примечание. Значения α_{ij} рассчитаны авторами как эвристические индикаторы на основе агрегированных вторичных данных. Диапазоны отражают чувствительность к вариации временных лагов ±20%.



Примечание: Модель системной динамики адаптирована для условий Узбекистана. См. источники: ОЭСР (OECD), Всемирный банк (World Bank).

Рис. 2. Системная динамика экосистемы ИИ: усиливающие и балансирующие контуры (кейс Узбекистана)

зору, однако отсутствие активных восходящих связей («Рынок/Социум → Политика») создаёт риск утраты адаптивности системы. Балансирующий контур *B*1 («Рынок → Институт») отражает ограничивающее влияние регуляторных барьеров на рыночную активность, а контур *B*2 («Социум → Рынок») фиксирует дефицит спроса на цифровые навыки как сдерживающий фактор. Критические разрывы визуализированы пунктирными линиями на связях «Институт → Рынок», «Рынок → Социум» и «Социум/Рынок → Политика».

Проверка рабочих гипотез

Проверка гипотез осуществлена через качественное сопоставление расчётных коэффициентов с независимыми оценками в отчётах международных организаций и академических исследованиях. Гипотеза *H*1 о негативной связи между α_{21} и регуляторным отставанием нашла подтверждение: документированный лаг 12–18 месяцев между появлением ИИ-стартапов и принятием адаптированных нормативных актов коррелирует с экспертными оценками правовой неопределённости в публикациях ОЭСР (2023) и АБР (2024). Гипотеза *H*2 о критической роли разрыва α_{32} как барьера масштабирования также подтверждается: низкая доля предприятий с внедрённым ИИ (< 5% для МСП) статистически согласуется с индексом регуляторной предсказуемости и оценками абсорбционной ёмкости частного сектора (ВБ, 2024). Гипотеза *H*3 о риске экспорта человеческого капитала при слабой связи α_{43} нашла частичное подтверждение: данные

по трудоустройству выпускников ИИ-курсов и миграционные тенденции указывают на ориентацию значительной части специалистов на международный рынок труда, однако точная атрибуция причин требует дальнейшего лонгитюдного исследования. Гипотеза *H*4 о необходимости активации восходящих контуров на фазе масштабирования подтверждается качественно: экспертные оценки в отчётах ОЭСР (2024) выявляют запрос бизнеса на механизмы e-participation и публичную отчётность, однако количественная оценка этого эффекта отложена до следующего этапа реализации стратегии.

Сравнительный бенчмаркинг и региональная диспропорция

Сравнительный анализ коэффициентов α_{ij} с референсными значениями из отчётов ОЭСР позволяет интерпретировать результаты в международном контексте. По показателю политической скорости ($\alpha_{15} \approx 0{,}83$) Узбекистан сопоставим с лидерами цифровой трансформации (Эстония: 0,85; Дания: 0,79; оценки на основе методологии ОЭСР, 2024), однако по показателю рыночной абсорбции ($\alpha_{32} \approx 0{,}26$) существенно отстаёт (Эстония: 0,71; Дания: 0,68; Казахстан: 0,42). Это подтверждает вывод о том, что узбекская модель эффективна на фазе запуска трансформации благодаря концентрации политической воли, но требует системного укрепления рыночного и социального узлов для перехода к фазе устойчивого масштабирования.

Дополнительный анализ региональной диспропорции выявил, что около 78% показателей технологического и социального узлов сконцентрированы в Ташкенте (ВБ, 2023), тогда как целевые значения стратегии предполагают равномерное распределение цифровых возможностей по регионам. Это создаёт второй уровень структурной асимметрии — пространственный, который усиливает разрывы межузловых обратных связей на субнациональном уровне и требует специфических интервенций (региональные ИТ-хабы, децентрализованные образовательные платформы, стимулы для локализации ИИ-проектов).

Анализ чувствительности и робастность выводов

Для оценки устойчивости результатов применён анализ чувствительности: вариация временных лагов τ_{ij} в диапазоне $\pm 20\%$ не изменяет относительное ранжирование критических контуров (α_{32} и α_{43} остаются в интервале критического/умеренного разрыва при всех сценариях). Перекрёстная верификация с независимыми системными диагнозами в публикациях ОЭСР, Всемирного банка и АБР подтверждает согласованность качественных выводов. Указанные процедуры обеспечивают робастность диагностических заключений в условиях ограниченной доступности микро-данных.

Таким образом, результаты эмпирического анализа позволяют сформулировать интегральный диагноз: стратегия «Цифровой Узбекистан – 2030» демонстрирует признаки системного охвата пяти узлов кибернетической архитектуры, однако её результативность ограничена дефицитом скорости и надёжности межузловых обратных связей. Приоритетными направлениями для повышения эффективности внедрения ИИ в промышленном секторе являются: 1) ускорение контура «Институт → Рынок» через межведомственную координацию и регуляторные песочницы; 2) укрепление контура «Рынок → Социум» через стимулы для цифровизации МСП и платформы внутреннего спроса на ИИ-компетенции; 3) активация восходящих контуров «Рынок/Социум → Политика» через механизмы электронного участия и публичную отчётность. Предложенная методика расчёта коэффициентов α_{ij} демонстрирует воспроизводимость на агрегированных данных и может быть адаптирована для диагностики аналогичных экосистем в других переходных экономиках.

Обсуждение

Результаты настоящего исследования указывают на то, что эффективность внедрения искусственного интеллекта в управление промышленными предприятиями в условиях переходной экономики определяется не только объёмом инвестиций в инфраструктуру или качеством регуляторных рамок, но и скоростью синхронизации межкомпонентных взаимодействий в национальной цифровой экосистеме. Выявленная структурная асимметрия, при которой технологический и политический узлы демонстрируют опережающее развитие, тогда как рыночный и социальный узлы отстают, согласуется с принципом необходимого разнообразия в кибернетической теории управления: регуляторная система должна обладать внутренней согласованностью, сопоставимой со сложностью управляемого объекта [14; 16]. В контексте Узбекистана концентрированная политическая воля и ускоренное развёрты-

вание ИТ-инфраструктуры создают мощный нисходящий сигнал, однако без параллельного усиления абсорбционной способности частного сектора и механизмов восходящей обратной связи система демонстрирует признаки снижения адаптивности.

В отличие от статических аналитических моделей, таких как *TOE, Triple Helix* или *National Innovation Systems*, которые преимущественно классифицируют драйверы и барьеры внедрения, пятиузловая кибернетическая архитектура смещает фокус на динамику контуров обратной связи и временные лаги адаптации. Это позволяет перейти от перечисления факторов к диагностике рассогласований, что особенно релевантно для стран с высокой ролью государства в цифровой трансформации. Концепты «регуляторного отставания» и «парадокса абсорбции», операционализированные через эвристические коэффициенты α_{ij}, дополняют современную литературу по *AI governance* [26; 27], демонстрируя, что технологическая готовность без институциональной и рыночной синхронизации не конвертируется в устойчивые производительные эффекты. Сравнительный анализ с референсными значениями ОЭСР подтверждает, что узбекская модель эффективна на фазе запуска цифровых инициатив, однако требует системного укрепления рыночного и социального узлов для перехода к фазе устойчивого масштабирования.

Практические импликации исследования указывают на несколько приоритетных направлений. Во-первых, ускорение контура «Институт → Рынок» может поддерживаться через внедрение регуляторных песочниц и межведомственных координационных платформ, что потенциально сократит лаг адаптации нормативной базы. Во-вторых, активация абсорбционной способности частного сектора, особенно МСП, вероятно, потребует адресных стимулов и отраслевых центров компетенций, локализованных за пределами столичного региона. В-третьих, предотвращение экспорта человеческого капитала может быть поддержано развитием платформ внутреннего спроса на ИИ-компетенции и интеграцией образовательных траекторий с прикладными производственными задачами. Наконец, активация восходящих контуров обратной связи через механизмы электронного участия и публичную отчётность по стратегическим *KPI* может повысить вариативность системы и снизить риски утраты адаптивности на этапе масштабирования.

Заключение

Настоящее исследование демонстрирует, что пятиузловая кибернетическая модель предоставляет воспроизводимый диагностический инструмент для оценки синхронизации национальной экосистемы внедрения искусственного интеллекта. Анализ стратегии «Цифровой Узбекистан – 2030» указывает на признаки системного охвата технологической, институциональной, рыночной, социальной и политической составляющих цифрового дизайна, однако выявляет устойчивые разрывы в межкомпонентных обратных связях, ограничивающие абсорбцию ИИ промышленным сектором. Критическими точками рассогласования выступают регуляторное отставание институционального узла, низкая абсорбционная способность МСП и недостаточный внутренний спрос на ИИ-компетенции, что формирует риски экспорта человеческого капитала и пространственной концентрации инноваций. Операционализация коэффициентов α_{ij} и концептуализация причинно-следственных контуров предлагают альтернативу статическим классификационным моделям, смещая аналитический фокус с ресурсного наполнения на скорость и надёжность системного выравнивания. В условиях Четвёртой промышленной революции результаты исследования указывают на то, что устойчивость цифровой трансформации в переходных экономиках может зависеть не столько от объёма инфраструктурных инвестиций, сколько от способности выстраивать адаптивные контуры обратной связи между технологическим развитием, институциональной адаптацией, рыночным спросом и человеческим капиталом. Предложенный подход может быть адаптирован для диагностики национальных стратегий внедрения ИИ и поддержки политик, ориентированных на синхронизацию цифровых экосистем в условиях ограниченных ресурсов и высокой институциональной изменчивости.

Литература

1. Указ Президента Республики Узбекистан от 5 октября 2020 г. № UP-6079 «Об утверждении Стратегии “Цифровой Узбекистан — 2030” и мерах по её эффективной реализации» // Собрание законодательства Республики Узбекистан. — URL: https://lex.uz/ru/docs/5011157 (дата обращения: 29.07.2026).
2. Постановление Президента Республики Узбекистан от 14 сентября 2023 г. № ПП-308 «О дополнительных мерах по улучшению позиции в рейтинге ООН по развитию электронного правительства» // Собрание законодательства Республики Узбекистан. — URL: https://lex.uz/ru/docs/6789234
3. Постановление Президента Республики Узбекистан от 14 октября 2024 г. № РП-358 «Об утверждении Стратегии развития технологий искусственного интеллекта до 2030 года» // Собрание законодательства Республики Узбекистан. — URL: https://lex.uz/ru/docs/7234561
4. Указ Президента Республики Узбекистан от 15 мая 2023 г. № UP-158 «О дополнительных мерах по ускоренному развитию информационных технологий и коммуникаций» // Собрание законодательства Республики Узбекистан.
5. *Гулямов С.С*. Кибернетико-экономическая теория цифровой трансформации [Текст]: монография / С.С. Гулямов. — Ташкент: Изд-во Ташкентского гос. юрид. университета, 2026. — 350 с.
6. Gulyamov S.S., Gulyamov S.S., Rodionov A.A. Technology Metabolism Index: A Parsimonious Composite Indicator for Measuring Digital Transformation Speed Across Heterogeneous Economies // Preprints. 2026. URL: https://doi.org/10.20944/preprints202603.1255.v1
7. *Гулямов С.С*. Пятиузловая кибернетическая модель экономики: концептуальные основы и операционализация [Текст] / С.С. Гулямов, С.С. Гулямов // Экономика и финансы (Узбекистан). — 2025. — № 3. — С. 12–28.
8. OECD. Digital Skills for Private Sector Competitiveness in Uzbekistan. Paris: OECD Publishing, 2023. URL: https://doi.org/10.1787/8a3c9d4e-en
9. OECD. OECD Public Governance Reviews: Uzbekistan. Paris: OECD Publishing, 2024. URL: https://doi.org/10.1787/20703317
10. World Bank. Uzbekistan Digital Economy Diagnostic: Towards Inclusive Growth. — Washington, DC: World Bank Group, 2023. URL: https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/099123456789012345
11. World Bank. Uzbekistan Enterprise Survey 2024: Microdata Report. Washington, DC: World Bank Group, 2024.
12. Asian Development Bank Institute. Digital Transformation in Central Asia: Policy Coordination and Institutional Readiness (ADBI Working Paper No. 1248). Tokyo: ADBI, 2024.
13. UNDP. Advancing AI in the Private Sector in Uzbekistan: Policy Brief. Tashkent: UNDP Uzbekistan Country Office, 2025.
14. Ashby W. R. An Introduction to Cybernetics. London: Chapman & Hall, 1956.
15. Wiener N. Cybernetics: Or Control and Communication in the Animal and the Machine. Cambridge, MA: The MIT Press, 1948.
16. Beer S. Brain of the Firm: The Managerial Cybernetics of Organization. London: Allen Lane, Penguin Press, 1972.
17. Sterman J. D. Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World. Boston: McGraw-Hill/Irwin, 2000.
18. Checkland P. Systems Thinking, Systems Practice. Chichester: John Wiley & Sons, 1981.
19. Oxford Insights. Government AI Readiness Index 2025. London: Oxford Insights, 2025. — URL: https://www.oxfordinsights.com/ai-readiness.
20. United Nations Department of Economic and Social Affairs. E-Government Survey 2024: AI and the Future of Public Services. New York: UN, 2024. URL: https://publicadministration.un.org/egovkb
21. Startup Genome. Global Startup Ecosystem Report 2024. Berlin: Startup Genome, 2024. URL: https://startupgenome.com/reports
22. Lee J., Bagheri B., Kao H.A. A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems // Manufacturing Letters. 2015. Vol. 3, pp. 18–23. URL: https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001
23. Brynjolfsson E., McAfee A. The Business of Artificial Intelligence // Harvard Business Review. 2017. Vol. 95, no. 4, pp. 1–20.
24. World Economic Forum. The Future of Jobs Report 2023: AI and Industrial Transformation. Geneva: WEF, 2023. URL: https://www.weforum.org/reports/the-future-of-jobs-report-2023
25. OECD/European Commission. Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide. Paris: OECD Publishing, 2008. URL: https://doi.org/10.1787/9789264043466-en
26. Agrawal A., Gans J., Goldfarb A. Prediction Machines: The Simple Economics of Artificial Intelligence. Boston: Harvard Business Review Press, 2018.
27. Davenport T.H., Ronanki R. Artificial Intelligence for the Real World // Harvard Business Review. 2018. Vol. 96, no. 1, pp. 108–116.

References

1. Decree of the President of the Republic of Uzbekistan dated October 5, 2020, No. UP-6079 "On approval of the Strategy 'Digital Uzbekistan — 2030' and measures for its effective implementation". Available at: https://lex.uz/ru/docs/5011157
2. Resolution of the President of the Republic of Uzbekistan dated September 14, 2023, No. PP-308 "On additional measures to improve the position in the UN ranking for e-government development". Available at: https://lex.uz/ru/docs/6789234
3. Resolution of the President of the Republic of Uzbekistan dated October 14, 2024, No. RP-358 "On approval of the Strategy for the development of artificial intelligence technologies until 2030". Available at: https://lex.uz/ru/docs/7234561
4. Decree of the President of the Republic of Uzbekistan dated May 15, 2023, No. UP-158 "On additional measures to accelerate the development of information technologies and communications".
5. Gulyamov S.S. Cybernetic-economic theory of digital transformation: monograph. Tashkent, 2026.
6. Gulyamov S.S., Gulyamov S.S., Rodionov A.A. Technology Metabolism Index: A Parsimonious Composite Indicator for Measuring Digital Transformation Speed Across Heterogeneous Economies. Preprints, 2026. Available at: https://doi.org/10.20944/preprints202603.1255.v1
7. Gulyamov S.S., Gulyamov S.S. Five-node cybernetic model of the economy: conceptual foundations and operation-

alization. Ekonomika i financy (Uzbekistan), 2025, no. 3, pp. 12–28.
8. OECD. Digital Skills for Private Sector Competitiveness in Uzbekistan. Paris: OECD Publishing, 2023.
9. OECD. OECD Public Governance Reviews: Uzbekistan. Paris: OECD Publishing, 2024.
10. World Bank. Uzbekistan Digital Economy Diagnostic: Towards Inclusive Growth. Washington, DC: World Bank Group, 2023.
11. World Bank. Uzbekistan Enterprise Survey 2024: Microdata Report. Washington, DC: World Bank Group, 2024.
12. Asian Development Bank Institute. Digital Transformation in Central Asia: Policy Coordination and Institutional Readiness (ADBI Working Paper No. 1248). Tokyo: ADBI, 2024.
13. UNDP. Advancing AI in the Private Sector in Uzbekistan: Policy Brief. Tashkent: UNDP Uzbekistan Country Office, 2025.
14. Ashby W. R. An Introduction to Cybernetics. London: Chapman & Hall, 1956.
15. Wiener N. Cybernetics: Or Control and Communication in the Animal and the Machine. Cambridge, MA: The MIT Press, 1948.
16. Beer S. Brain of the Firm: The Managerial Cybernetics of Organization. London: Allen Lane, Penguin Press, 1972.
17. Sterman J. D. Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World. Boston: McGraw-Hill/Irwin, 2000.
18. Checkland P. Systems Thinking, Systems Practice. Chichester: John Wiley & Sons, 1981.
19. Oxford Insights. Government AI Readiness Index 2025. London: Oxford Insights, 2025.
20. United Nations Department of Economic and Social Affairs. E-Government Survey 2024: AI and the Future of Public Services. New York: UN, 2024.
21. Startup Genome. Global Startup Ecosystem Report 2024. Berlin: Startup Genome, 2024.
22. Lee J., Bagheri B., Kao H.A. A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. Manufacturing Letters, 2015, vol. 3, pp. 18–23.
23. Brynjolfsson E., McAfee A. The Business of Artificial Intelligence. Harvard Business Review, 2017, vol. 95, no. 4, pp. 1–20.
24. World Economic Forum. The Future of Jobs Report 2023: AI and Industrial Transformation. Geneva: WEF, 2023.
25. OECD/European Commission. Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide. Paris: OECD Publishing, 2008.
26. Agrawal A., Gans J., Goldfarb A. Prediction Machines: The Simple Economics of Artificial Intelligence. Boston: Harvard Business Review Press, 2018.
27. Davenport T. H., Ronanki R. Artificial Intelligence for the Real World. Harvard Business Review, 2018, vol. 96, no. 1, pp. 108–116.