

## РИСК-СКОРРЕКТИРОВАННАЯ ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНВЕСТИЦИЙ В ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

*Nigmatjonova Nozima Ulmasjonovna*

*PhD, Senior Lecturer, Alfraganus University, Tashkent, Uzbekistan*

*ORCID: [to be inserted by the author]*

**Аннотация:** В статье разработан методический подход к риск-скорректированной оценке экономической эффективности инвестиций в технологии искусственного интеллекта на промышленных предприятиях. Обоснована необходимость отделять техническую результативность модели от экономического эффекта, учитывать полный жизненный цикл AI-проекта, вероятность недостижения целевых эффектов, стоимость данных, интеграции, кибербезопасности, переобучения моделей и организационного освоения. Предложена система показателей, объединяющая NPV, IRR, срок окупаемости, эффект на себестоимость и производительность с корректировкой на технологические, операционные, кадровые и регуляторные риски. Сформирован алгоритм принятия инвестиционного решения и матрица сценариев. Методика предназначена для сравнительной оценки AI-use cases на стадии отбора и последующего контроля фактического эффекта.

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, промышленность, экономическая эффективность, инвестиции, NPV, риск, цифровая трансформация, производительность, себестоимость, AI-проект

**JEL Classification:** O33; L60; C44; D81; M15

**Abstract:** The paper develops a methodological approach to risk-adjusted assessment of the economic efficiency of investments in artificial intelligence technologies at industrial enterprises. The framework separates model-level technical performance from enterprise-level economic value, incorporates the full AI project life cycle, and explicitly accounts for the probability of benefit realization, data and integration costs, cybersecurity, model retraining, and organizational adoption. A set of indicators combining NPV, IRR, payback, unit-cost effects and productivity gains with technology, operational, human-capital and regulatory risk adjustments is proposed. The method is designed for ex-ante prioritization of AI use cases and ex-post verification of realized effects.

**Keywords:** artificial intelligence, industrial enterprise, economic efficiency, investment appraisal, NPV, risk adjustment, productivity, unit cost, digital transformation

**JEL Classification:** O33; L60; C44; D81; M15

**Annotatsiya:** Maqolada sanoat korxonalarida sun'iy intellekt texnologiyalariga investitsiyalarning riskka tuzatilgan iqtisodiy samaradorligini baholash uslubiy yondashuvi ishlab chiqilgan. Texnik model ko'rsatkichlarini korxona miqyosidagi iqtisodiy natijadan ajratish, AI-loyihaning to'liq hayotiy sikli xarajatlarini, kutilgan samaraning ro'yobga chiqmaslik ehtimolini, ma'lumotlar, integratsiya, kiberxavfsizlik, modelni qayta o'qitish va tashkiliy o'zlashtirish xarajatlarini hisobga olish asoslangan.

**Kalit so'zlar:** sun'iy intellekt, sanoat korxonasi, iqtisodiy samaradorlik, investitsiya, NPV, risk, tannarx, mehnat unumdorligi, raqamli transformatsiya

**JEL Classification:** O33; L60; C44; D81; M15

### Введение

Расширение применения искусственного интеллекта в промышленности превращает оценку его экономической результативности из вспомогательной задачи цифровизации в самостоятельную проблему промышленной экономики. В Узбекистане институциональная база данного процесса существенно укрепилась после утверждения Стратегии развития технологий искусственного интеллекта до 2030 года постановлением Президента № ПП-358 от 14 октября 2024 года [1]. В 2026 году на государственном уровне было отмечено, что в стране реализуется около 100 практических AI-проектов и более 200 пилотных инициатив, а на 3-й медно-обогачительной фабрике Алмалыкского ГМК применение AI для анализа производственной цепочки в реальном времени сопровождалось снижением энергопотребления на 10%, себестоимости на 15% и ростом производительности труда на 10% [2]. Эти данные показывают потенциальную экономическую значимость технологии, однако не означают, что любой AI-проект автоматически обеспечивает положительный финансовый результат.

Ключевая методологическая трудность заключается в разрыве между технической эффективностью алгоритма и экономической эффективностью внедрения. Высокая точность прогноза, снижение ошибки классификации или ускорение обработки данных являются промежуточными результатами. Для промышленного предприятия экономический эффект возникает только тогда, когда техническое улучшение преобразуется в измеримое сокращение простоев, брака, энергозатрат, запасов, трудоемкости, длительности производственного цикла либо в рост выпуска и маржинального дохода. Поэтому объектом оценки должен быть не AI-модуль как программный продукт, а изменение денежных потоков предприятия вследствие его внедрения.

Международная литература также указывает на неоднородность эффектов AI. OECD рассматривает AI как технологию общего назначения с

потенциальным влиянием на производительность, но подчеркивает неопределенность долгосрочных результатов и зависимость эффекта от темпов диффузии, организационных комплементарностей и структуры рынков [4, 5]. Эксперимент Noy и Zhang показал существенный рост производительности в определенном классе профессиональных задач [7], тогда как Acemoglu и соавторы демонстрируют, что воздействие AI на занятость и структуру спроса на навыки может быть локально заметным и одновременно ограниченным на агрегированном уровне [6]. Следовательно, инвестиционная оценка должна включать не только ожидаемую выгоду, но и вероятность ее реализации, масштабируемость и сопутствующие риски.

### 1. Обзор подходов и постановка исследовательской задачи

Традиционная инвестиционная оценка базируется на дисконтировании денежных потоков, расчетах NPV, IRR, индекса прибыльности и срока окупаемости. Для AI-проектов эти инструменты остаются необходимыми, но недостаточными. Причина состоит в наличии специфических затрат и источников неопределенности: качество и доступность данных, стоимость их подготовки, совместимость с ERP/MES/SCADA, вычислительная инфраструктура, стоимость API или лицензий, мониторинг дрейфа модели, требования к информационной безопасности, переобучение персонала и поддержка изменений бизнес-процессов. Если эти элементы не включены в денежный поток, проект систематически переоценивается.

В исследованиях стратегического управления AI подчеркивается, что ценность технологии возникает через сочетание технологических ресурсов и организационных способностей. Mikalef и Gupta связывают AI capability с организационной креативностью и результативностью фирмы [10], а Raisch и Krakowski формулируют парадокс автоматизации и усиления человеческих возможностей [8]. Для промышленной экономики из этого следует важный вывод: эффект должен оцениваться по производственному контуру, где AI изменяет технологическое или управленческое решение, а не по факту наличия алгоритма.

Цель исследования состоит в разработке риск-скорректированной методики оценки экономической эффективности AI-инвестиций на промышленном предприятии. Научная задача включает: определение полного состава денежных эффектов и затрат; формализацию риск-корректировки; разработку порогов инвестиционного решения; организацию последующего контроля фактического эффекта.

## 2. Методология исследования

Методология основана на системном, процессном и инвестиционном подходах. Единицей анализа выступает конкретный AI-use case: предиктивное обслуживание, оптимизация энергопотребления, компьютерное зрение для контроля качества, прогнозирование спроса, оптимизация запасов, интеллектуальное планирование производства или поддержка управленческих решений. Для каждого use case формируется базовый сценарий «без проекта» и проектный сценарий «с AI», после чего рассчитывается разница денежных потоков.

Базовая экономическая ценность проекта определяется как приведенная стоимость инкрементальных денежных потоков. Инкрементальный эффект формируется из экономии переменных и условно-постоянных затрат, предотвращенных потерь, дополнительной валовой прибыли и высвобождения оборотного капитала за вычетом капитальных и операционных расходов AI-системы.

$$NPV_{AI} = -I_0 + \sum_{t=1}^T (\Delta CF_t / (1 + r)^t) \quad (1)$$

где  $I_0$  — первоначальные инвестиции;  $\Delta CF_t$  — инкрементальный денежный поток в период  $t$ ;  $r$  — ставка дисконтирования;  $T$  — горизонт проекта. В отличие от обычного IT-проекта,  $\Delta CF_t$  должен включать стоимость данных, интеграции, эксплуатации, мониторинга качества модели, переобучения и организационного сопровождения.

Для отражения риска предлагается использовать коэффициент реализации эффекта  $q_t$ , принимающий значения от 0 до 1. Он показывает ожидаемую долю технически возможного эффекта, которая с учетом качества данных, зрелости процесса, принятия пользователями и эксплуатационной устойчивости будет реально монетизирована.

$$E(\Delta CF_t) = q_t \times B_t - C_t - EL_t \quad (2)$$

где  $B_t$  — потенциальная валовая выгода;  $C_t$  — эксплуатационные затраты;  $EL_t$  — ожидаемые потери от рисков событий. Ожидаемые потери определяются по принципу  $\text{probability} \times \text{impact}$ : сумма произведений вероятности каждого существенного риска на его денежное последствие. Такой подход согласуется с общей логикой ISO 31000:2018 [12].

$$EL_t = \sum_i p_{it} \times L_{it} \quad (3)$$

Для проектов с высокой неопределенностью дополнительно применяется повышенная ставка дисконтирования  $r^* = r + \pi_{AI}$ , где  $\pi_{AI}$  — премия за специфический риск проекта. Использование одновременно  $q_t$  и  $\pi_{AI}$  требует осторожности, чтобы не допустить двойного учета одного и того же риска. Поэтому  $q_t$  рекомендуется применять к операционной реализуемости эффекта, а  $\pi_{AI}$  — к систематической неопределенности капитала и масштабирования.

## 3. Структура полного жизненного цикла затрат AI-проекта

| Блок затрат        | Содержание                                                        | Экономический риск при исключении           |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Data               | сбор, очистка, разметка, хранение, качество и управление доступом | занижение первоначальных и текущих расходов |
| Technology         | модель, лицензии/API, вычисления, edge/cloud, MLOps               | переоценка маржинального эффекта            |
| Integration        | ERP/MES/SCADA, датчики, интерфейсы, тестирование                  | рост сроков и CAPEX                         |
| Cyber & compliance | контроль доступа, журналирование, защита данных, аудит            | ожидаемые потери и остановки                |
| People & change    | обучение, redesign процессов, мотивация пользователей             | низкий коэффициент $q_t$                    |
| Model lifecycle    | мониторинг, drift detection, retraining, validation               | деградация эффекта во времени               |
| Decommissioning    | миграция, архивирование, закрытие интеграций                      | неучтенные terminal costs                   |

Полная стоимость владения (ТСО-AI) должна рассчитываться на том же временном горизонте, что и выгоды. В противном случае краткосрочный пилот создает иллюзию высокой окупаемости, которая исчезает после включения расходов на промышленную эксплуатацию. Важной особенностью является нелинейность стоимости масштабирования: перенос модели на другие линии и площадки может потребовать новой калибровки, иной архитектуры данных и дополнительных мер кибербезопасности.

## 4. Система риск-скорректированных показателей

| Показатель | Формула/логика                                   | Интерпретация                                                      |
|------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| RA-NPV     | NPV на основе $E(\Delta CF_t)$                   | создаваемая стоимость после учета реализуемости и ожидаемых потерь |
| RA-IRR     | IRR по риск-скорректированным потокам            | доходность проекта при учете риска                                 |
| Payback*   | срок покрытия $I_0$ накопленным $E(\Delta CF_t)$ | ликвидность и скорость возврата капитала                           |

|                       |                                                   |                                            |
|-----------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Unit Cost Effect      | $(C_0 - C_1)/Q$                                   | эффект AI на себестоимость единицы выпуска |
| Productivity Effect   | $(Output_1/Labor_1)/(Output_0/Labor_0) - 1$       | изменение производительности труда         |
| Benefit Realization q | фактический эффект / технически достижимый эффект | качество организационного освоения         |
| Risk Exposure         | $\sum p_i \times L_i$                             | денежная экспозиция рисков                 |

Предлагаемая система требует обязательного разделения ведущих и итоговых показателей. Точность модели, recall, precision, MAE или latency относятся к ведущим техническим метрикам. Себестоимость, ОЕЕ, throughput, downtime, энергозатраты, уровень брака, оборотный капитал и денежный поток относятся к производственно-экономическим метрикам. Финансовый эффект признается только при установленной причинной связи между изменением технической метрики и изменением бизнес-показателя.

Для предотвращения ложной атрибуции эффекта рекомендуется использовать контролируемую схему измерения: исторический baseline с сезонной корректировкой, по возможности контрольную линию или участок, одинаковое окно наблюдения до и после внедрения, фиксацию сопутствующих организационных изменений. Если параллельно модернизировалось оборудование или изменялась технология, весь эффект нельзя приписывать AI.

### 5. Алгоритм инвестиционного решения

| Этап  | Содержание                                                                                                                          |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Шаг 1 | Определить производственную проблему и экономическую единицу эффекта: сум/тонна, сум/час простоя, сум/дефект, сум/кВт·ч, сум/заказ. |
| Шаг 2 | Зафиксировать baseline процесса минимум по одному репрезентативному производственному циклу и определить диапазон вариативности.    |
| Шаг 3 | Сформировать технический target AI и карту преобразования технического результата в экономический эффект.                           |
| Шаг 4 | Рассчитать TCO-AI на полном жизненном цикле.                                                                                        |
| Шаг 5 | Оценить $q_i$ и денежную экспозицию существенных рисков.                                                                            |
| Шаг 6 | Рассчитать RA-NPV, RA-IRR, Payback*, unit-cost и productivity effects для base/upside/downside scenarios.                           |

|       |                                                                                                 |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Шаг 7 | Принять решение: scale, conditional scale, redesign либо stop.                                  |
| Шаг 8 | После запуска проводить benefit-realization review и пересчитывать $q_i$ по фактическим данным. |

Рекомендуемое правило отбора не сводится к одному показателю. Проект допускается к масштабированию, если  $RA-NPV > 0$ , риск-скорректированная доходность превышает корпоративный порог, downside-сценарий не создает неприемлемую нагрузку на ликвидность, а критические технологические и киберриски имеют план контроля. Такой подход предотвращает отбор проектов с эффективным пилотом, но слабой экономикой промышленного масштаба.

#### 6. Сценарный анализ и чувствительность

Для AI-проектов предлагается обязательный трехсценарный анализ. Base scenario отражает наиболее вероятную траекторию; upside — более быстрый выход на плановую точность, высокую пользовательскую адаптацию и масштабирование; downside — задержку интеграции, меньший экономический эффект, рост стоимости вычислений и необходимость более частого переобучения. Наиболее чувствительными параметрами обычно являются  $q$ , цена предотвращенного простоя/брака, объем выпуска, частота использования модели, стоимость интеграции и горизонт устойчивого эффекта.

| Параметр                | Downside    | Base           | Upside          |
|-------------------------|-------------|----------------|-----------------|
| Benefit realization $q$ | 0.40-0.55   | 0.60-0.80      | 0.80-0.95       |
| Integration cost        | +25-50%     | budget         | -5-10%          |
| Time-to-value           | +3-6 months | plan           | -1-2 months     |
| Model maintenance       | high        | medium         | optimized       |
| Scaling effect          | limited     | selected lines | enterprise-wide |

*Примечание: диапазоны приведены как аналитический шаблон для стресс-тестирования, а не как нормативные или эмпирически установленные значения. Для конкретного предприятия они должны быть заменены фактическими параметрами.*

#### 7. Научная новизна и практическая значимость

Научная новизна предлагаемого подхода заключается в соединении классической инвестиционной оценки с коэффициентом реализации AI-эффекта и денежной оценкой специфических рисков по всему жизненному циклу. В отличие от оценки, основанной только на ROI пилота, методика требует раскрыть причинную цепочку «техническая метрика → производственный KPI

→ денежный поток» и отделяет техническую достижимость от экономической реализуемости.

Практическая значимость состоит в возможности ранжировать конкурирующие AI-use cases в едином экономическом пространстве. Например, предиктивное обслуживание, визуальный контроль качества и оптимизация энергопотребления могут иметь разные технические метрики, но после перевода эффекта в денежный поток сравниваются по RA-NPV и риск-профилю. Это облегчает формирование портфеля цифровых инвестиций промышленного предприятия.

### Закключение

Экономическая эффективность искусственного интеллекта в промышленности не должна отождествляться с качеством алгоритма или фактом автоматизации. Основным объектом оценки выступает устойчивое изменение денежных потоков предприятия, достигнутое вследствие изменения производственных и управленческих процессов. Предложенная риск-скорректированная методика включает полный TCO-AI, коэффициент реализации эффекта, ожидаемые денежные потери от рисков, сценарный анализ и последующую проверку фактической реализации выгод.

Методика может быть использована как элемент корпоративного регламента отбора цифровых проектов и как база для дальнейшего эмпирического исследования на данных промышленных предприятий Узбекистана. Следующим этапом исследования должно стать тестирование предложенных показателей на панельных данных нескольких предприятий и оценка устойчивости весов факторов по различным подотраслям промышленности.

### Литература

1. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2024-yil 14-oktabrdagi PQ-358-son qarori. "Sun'iy intellekt texnologiyalarini 2030-yilga qadar rivojlantirish strategiyasini tasdiqlash to'g'risida". Official information: Ministry of Digital Technologies of the Republic of Uzbekistan, 16.10.2024.
2. President of the Republic of Uzbekistan. Artificial intelligence and digitalization priorities reviewed. 01.05.2026. <https://president.uz/en/lists/view/9165>
3. President of the Republic of Uzbekistan. Sun'iy intellekt ekotizimini rivojlantirish bo'yicha ustuvor vazifalar belgilandi. 07.08.2026. <https://president.uz/oz/lists/view/9488>
4. Filippucci, F., Gal, P., Jona-Lasinio, C., Leandro, A., Nicoletti, G. (2024). The impact of Artificial Intelligence on productivity, distribution and growth: Key

mechanisms, initial evidence and policy challenges. OECD Artificial Intelligence Papers, No. 15. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/8d900037-en>

5. Filippucci, F., Gal, P., Schief, M. (2024). Miracle or Myth? Assessing the macroeconomic productivity gains from Artificial Intelligence. OECD Artificial Intelligence Papers, No. 29. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/b524a072-en>

6. Acemoglu, D., Autor, D., Hazell, J., Restrepo, P. (2022). Artificial Intelligence and Jobs: Evidence from Online Vacancies. *Journal of Labor Economics*, 40(S1), S293-S340. <https://doi.org/10.1086/718327>

7. Noy, S., Zhang, W. (2023). Experimental evidence on the productivity effects of generative artificial intelligence. *Science*, 381(6654), 187-192. <https://doi.org/10.1126/science.adh2586>

8. Raisch, S., Krakowski, S. (2021). Artificial Intelligence and Management: The Automation-Augmentation Paradox. *Academy of Management Review*, 46(1), 192-210. <https://doi.org/10.5465/amr.2018.0072>

9. Wamba-Taguimdje, S.-L., Wamba, S. F., Kamdjoug, J. R. K., Wanko, C. E. T. (2020). Influence of artificial intelligence (AI) on firm performance: the business value of AI-based transformation projects. *Business Process Management Journal*, 26(7), 1893-1924. <https://doi.org/10.1108/BPMJ-10-2019-0411>

10. Mikalef, P., Gupta, M. (2021). Artificial intelligence capability: Conceptualization, measurement calibration, and empirical study on its impact on organizational creativity and firm performance. *Information & Management*, 58(3), 103434. <https://doi.org/10.1016/j.im.2021.103434>

11. ISO/IEC 42001:2023. Information technology — Artificial intelligence — Management system.

12. ISO 31000:2018. Risk management — Guidelines.

13. OECD (2019, updated 2024). OECD Principles on Artificial Intelligence. OECD.AI Policy Observatory.