УДК 338.45:004.8

Цифровая амортизация: скрытый фактор эффективности ИИ в промышленности

Бочкарев А.М.
Пермский государственный
аграрно-технологический университет
г. Пермь, Российская Федерация

Цифровая трансформация промышленности – ключевой драйвер экономического роста, а технологии искусственного интеллекта (ИИ) становятся базовым инструментом операционной эффективности. Однако внедрения часто буксуют из-за высоких инвестиций, неопределённого ROI и отсутствия внятных методик оценки. Цель работы – предложить системный взгляд на экономику ИИ в промышленности, включая новый подход к учёту жизненного цикла моделей.

Эффект от ИИ складывается из нескольких потоков: техническое зрение снижает брак на 18–22%, прогнозное обслуживание (PdM) сокращает простои на 25–35%, нейросети оптимизируют запасы на 15–20%, а автоматизация высвобождает до 40% времени персонала. В дискретных производствах выигрыш – в контроле сборок, в непрерывных – в управлении режимами. Энергосберегающие алгоритмы дают экономию 8–12%, что для крупного комбината составляет 150–200 млн руб. в год [3].

Классический ТСО ИИ-решений включает лицензии, «железо», сбор данных, интеграцию, сопровождение и зарплаты. Но есть скрытая составляющая – «цифровая амортизация». Как физический станок изнашивается, так и модель ИИ теряет точность из-за дрейфа данных (data drift) и изменений техпроцессов. Если не переобучать модель, её эффективность падает на 5–10% в год, что съедает до 20% экономического эффекта. Формально, полная стоимость владения системой искусственного интеллекта за весь её жизненный цикл представлена в формуле 1:

$$TCO = C_{lic} + C_{hw} + C_{sw} + C_{data} + C_{int} + C_{main} + C_{staff} + C_{train} + C_{decay} \quad (1)$$

где C_{lic} – затраты на лицензии ПО; C_{hw} – затраты на аппаратное обеспечение; C_{sw} – затраты на собственно программное обеспечение (software), кроме лицензий: разработка, настройка, доработка ПО; C_{data} – затраты на работу с данными: сбор, очистка, маркировка, хранение, защита, передача; C_{int} – затраты на интеграцию с существующими производственными системами (ERP, MES, SCADA, АСУ ТП

и др.); C_{main} – затраты на сопровождение; C_{staff} – затраты на персонал; C_{train} – затраты на обучение сотрудников работе с новой ИИ-системой (переподготовка, курсы, тренинги); C_{decay}– затраты на дообучение и калибровку, компенсирующие старение модели.

На пилоте ТСО может в 2–3 раза превышать операционный эффект, но при масштабе ROI выходит на 25–40% [4].

Для расчёта ROI используем дисконтированную формулу:

$$ROI = (\Sigma_t=1n\ (E_t – C_{op,t}) / (1+r)t – I0) / I0 \times 100\% \quad (2)$$

где E_t – годовой эффект; $C_{op,t}$ – операционные расходы; r – ставка 10 – 15%; $I0$ – инвестиции; n – горизонт 3–5 лет.

Кейс: завод с 120 станками. Час простоя – 8500 руб., фонд – 6400 ч., простои – 8,5%. Вибродиагностика снизила простои на 32%. Годовое сокращение:

$$\Delta T = 0{,}32 \times 0{,}085 \times 6400 \times 120 = 2088 \text{ ч./год}$$

Экономия: $E_{downtime}$= 2088 × 8500 = 17,75 млн руб. Плюс экономия инструмента (1,2 млн) и энергии (0,8 млн). Итого E_t= 19,75 млн руб. Инвестиции $I0$: датчики (2,4 млн), серверы (1,8 млн), модели (3,2 млн), интеграция (1,5 млн), обучение (0,6 млн) = 9,5 млн руб. Операционные расходы $C_{op,t}$= 3,3 млн руб./год. При n=5, r=12%:

$$ROI = ((19{,}75–3{,}3) \times 3{,}6048 – 9{,}5) / 9{,}5 \times 100\% \approx 524\%$$

Срок окупаемости – менее 7 месяцев. Однако цифровая амортизация требует закладывать 15–20% бюджета на ежегодное дообучение, иначе уже через 2 года эффективность упадет на треть.

Кадровый аспект: массовых увольнений нет, но растёт спрос на операторов, умеющих интерпретировать ИИ. Расходы на переподготовку (C_{train}) – 12–18% бюджета, их экономия – частая причина провалов (до 30% по данным [5]).

Для оценки предлагается трёхуровневая модель: микро (станок) – брак и простои; мезо (цех) – потоки материалов и энергии; макро (предприятие) – EBITDA и оборачиваемость. Это позволяет выбирать сценарии (например, отечественное ПО вместо импортного). Главный ограничитель – дефицит публичных данных по реальным проектам в РФ. Но тренд ясен: успех определяет не сложность алгоритмов, а качество экономического обоснования, KPI и готовность к изменениям.

Итог: ИИ в промышленности окупается, если подходить системно – считать ТСО с учётом цифровой амортизации, масштабировать поэтапно, интегрировать с Lean и отдавать предпочтение открытым отечественным платформам. Дальнейшие исследования – отраслевые ROI-калькуляторы и адаптация предиктивных моделей для мелкосерийного производства.

Список использованной литературы

1. Братарчук, Т. В. *Исследование комплексного влияния искусственного интеллекта и больших данных на оптимизацию производственных процессов промышленных предприятий* / Т. В. Братарчук // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2024. – № 12. – С. 51-58. – EDN OAPMLV.
2. Вагин, М. С. *Экономико-математическая модель оценки синергетического эффекта от совместного внедрения бережливого производства и цифровизации на промышленном предприятии* / М. С. Вагин, Е. С. Палкина // Государственное управление. Электронный вестник. – 2025. – № 112. – С. 29-44. – DOI 10.55959/MSU2070-1381-112-2025-29-44. – EDN JTZPJU.
3. Ботанин, В. С. *Роль точности предиктивной аналитики на основе ии в контексте управления непрерывным производством* / В. С. Ботанин, М. У. Алиев // Молодой учёный : Сборник статей XX Международной научно-практической конференции. В 2-х частях, Пенза, 10 мая 2026 года. Часть 1. – Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2026. – С. 110-113. – EDN AIABQR.
4. Антонов-Дружинин П. В. *Методологические, организационные и технологические аспекты внедрения гибридных систем искусственного интеллекта в деятельность производственного предприятия* // Kant. 2026. №1 (58). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/metodologicheskie-organizatsionnye-i-tehnologicheskie-aspekty-vnedreniya-gibridnyh-sistem-iskusstvennogo-intellekta-v-deyatelnost (дата обращения: 10.07.2026).
5. Акимов, А. А. *Разработка алгоритма сервисной и цифровой трансформации кадровой службы головного предприятия ракетно-космической промышленности* / А. А. Акимов // Вестник Академии знаний. – 2023. – № 3(56). – С. 359-364. – EDN TAUMTZ.