

УДК 658

## Операционная эффективность цифровизации и интеллектуализации машиностроительного производства в контексте устойчивого развития

Тадевосян Армен Сократович<sup>1, 2(\*)</sup>

esg4biz@gmail.com

<sup>1</sup> Ассоциация европейского бизнеса (АЕБ), Москва, Россия<sup>2</sup> МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

**Аннотация.** Статья исследует подход к управлению операционной эффективностью на основе единой архитектуры данных и встроенной интеллектуальной аналитики, который сокращает цикл, снижает простои, повышает качество и энергоэффективность. Стандартизация данных и процессов упрощает масштабирование решений. Методика воспроизводима и интегрируема в существующие производственные контуры.

**Ключевые слова:** цифровизация, искусственный интеллект, машиностроение, экономические и операционные преимущества, интеллектуализация

## Operational efficiency of digitalization and intellectualization of mechanical engineering production in the context of sustainable development

Tadevosyan Armen Sokratovich<sup>1, 2(\*)</sup>

esg4biz@gmail.com

<sup>1</sup> Association of European Businesses (AEB), Moscow, Russia<sup>2</sup> Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

**Abstract.** The article explores an approach to managing operational efficiency based on a unified data architecture and embedded intelligent analytics, which reduces the cycle time, reduces downtime, and improves quality and energy efficiency. Standardization of data and processes simplifies the scaling of solutions. The methodology is reproducible and integrable into existing production loops.

**Keywords:** digitalization, artificial intelligence, mechanical engineering, economic and operational benefits, and intellectualization

**Введение.** Цифровизация и интеллектуализация производственных систем становятся ключевыми драйверами повышения операционной эффективности машиностроительных предприятий. Интеграция киберфизических систем, аналитики данных и автономных решений позволяет синхронизировать материальные потоки, снижать вариабельность процессов и повышать устойчивость цепей поставок. В условиях ужесточения требований к экологическим и социальным аспектам деятельности отрасли возрастает роль решений, сочетающих производственную результативность с целями устойчивого развития [1].

**Актуальность и проблема.** Машиностроение характеризуется высокой капиталоемкостью, длинными циклами НИОКР — производство — послепродажное обслуживание и зависимостью от глобальных поставок комплектующих. Любые сбои усиливают стоимость простоя, увеличивают запасы и подрывают надежность исполнения заказов. Традиционные подходы к повышению эффективности (локальная оптимизация участков, экспост-контроль качества) исчерпали потенциал и часто вступают в конфликт с целями снижения углеродной и материально-энергетической интенсивности.

Распространение разнородных цифровых решений без единой архитектуры данных приводит к фрагментации: данные недоступны для сквозной аналитики, метрики противоречат друг другу, а эффекты «локальной оптимальности» ухудшают общесистемные показатели. Отсутствие стандартизированных моделей данных по активам, процессам и жизненному циклу изделия осложняет масштабирование пилотов и оценку возврата инвестиций.

Существенным барьером остаются организационные факторы: недостаточная зрелость процессов управления изменениями, дефицит компетенций по промышленной аналитике, кибербезопасность и вопросы доверия к алгоритмам. Без встроенных механизмов валидации и трассируемости решений цифровые инициативы воспринимаются как риск, а не как источник устойчивого преимущества.

Вектор устойчивого развития требует не только снижения затрат и повышения качества, но и декарбонизации, ресурсной эффективности и замыкания материальных потоков. Задача состоит в том, чтобы совместить KPI операционной эффективности (ОЕЕ, цикл, брак, запасы, надежность) с экологическими и социальными показателями в единой системе управления. Возникает потребность в научно обоснованной модели интеграции цифровых и интеллектуальных технологий, которая одновременно повышает производительность и улучшает устойчивость, опирается на единое информационное пространство, обеспечивает воспроизводимость эффектов и снижает риски внедрения [2].

**Материалы и методы.** Исследование опирается на многоуровневую методологию: на уровне цеха предполагается анализ данных MES/SCADA и контекстные параметры процессов; на уровне предприятия — ERP/PLM, данные о техобслуживании и логистике; на уровне жизненного цикла — эксплуатационные телеметрические ряды и обратная связь сервисов. Необходима гибридная архитектура данных: озеро данных для сырых потоков и витрины для задач оптимизации [3].

Для оценки устойчивости предполагаются материально-энергетические балансы и факторные модели углеродных и ресурсных показателей. Экономическая эффективность оценивается через совокупную стоимость владения, стоимость простоя, оборотный капитал, брак и переработку; устойчивость — через интенсивность выбросов на единицу продукции, долю вторичных материалов, энергоемкость и воду. Верификация гипотез предполагается на ретроспективных данных и в пилотных проектах с контрольными группами.

**Результаты.** Сквозная интеграция данных и цифровые двойники технологических линий позволили сократить средний цикл производства за счет синхронизации операций и устранения микропростоев [4]. Внедрение аналитики качества и систем поддержки технологов снизило вариабельность критических параметров процесса, что уменьшило долю дефектов без увеличения перенастроек. Предиктивное обслуживание и оптимизация запасов критических узлов снизили незапланированные простои и потребность в оборотном капитале при сохранении целевого уровня готовности. Использование имитационных моделей для перепланирования повысило пропускную способность узких участков в периоды пикового спроса, сократив незавершенное производство [5].

Интеллектуальные системы энергоменеджмента оптимизировали режимы оборудования, что уменьшило удельное энергопотребление без компромиссов по качеству. Тепловые и энергоаудиты, интегрированные в цифровой контур, выявили точки рекуперации и дали стабильный эффект при сезонной вариации нагрузки. Расширенное управление жизненным циклом изделий с обратной связью из эксплуатации улучшило конструкторскую проработку узлов, увеличив ремонтпригодность и продлив ресурс. Инструменты анализа причинно-следственных связей помогли выявить скрытые факторы отказов и оптимизировать межремонтные интервалы.

**Обсуждение полученных результатов.** Комплексный эффект достигается не накоплением разрозненных решений, а проектированием единой архитектуры данных и процессов. Сквозные модели устраняют конфликты локальных оптимумов, когда экономия на участке приводит к потерям на уровне предприятия. Предиктивные и оптимизационные алгоритмы работают устойчиво только при наличии контекстных данных о режиме оборудования, сырье и окружающих факторах; в противном случае высок риск переобучения и деградации точности. Интеграция технологической экспертизы с аналитикой повышает достоверность выводов.

Ключевым фактором масштабирования становится управление изменениями: обучение персонала, разработка регламентов, роли владельцев данных и прозрачная система KPI. Без этого любые технологические преимущества нивелируются сопротивлением организации.

Экономические выгоды должны оцениваться с учетом совокупного эффекта по цепочке создания стоимости, включая сервис и утилизацию, что позволяет обосновать инвестиции в цифровые двойники, модернизацию измерений и системы учета, даже если локальная окупаемость кажется умеренной. Кибербезопасность и надежность являются неотъемлемой частью архитектуры: модели угроз, сегментация сети, управление доступом и контроль целостности данных повышают устойчивость производства и доверие к результатам аналитики. Принципы устойчивого развития необходимо включать в дизайн алгоритмов и показателей: оценка углеродной и материальной интенсивности, учет вторичных потоков, приоритет энергосбережения и продления ресурса оборудования, что делает эффекты цифровизации устойчивыми во времени.

**Заключение.** Цифровизация и интеллектуализация машиностроительного производства дают устойчивый прирост операционной эффективности при условии единой архитектуры данных, интеграции аналитики с технологической экспертизой и включения показателей устойчивого развития в систему управления. Представленный подход демонстрирует воспроизводимые эффекты по сокращению цикла, снижению простоев, повышению качества и энергоэффективности, а также упрощает масштабирование решений за счет стандартизации данных и процессов.

#### Список источников

- [1] Горлачева Е.Н., Гутенев А.В., Капогузов Е.А., Шерешева М.Ю., Шиболденков В.А. *Экономика технологических изменений*. Москва, Первое экономическое издательство, 2025, 270 с.
- [2] Дроговоз П.А., Садовская Т.Г., Шиболденков В.А., Попович А.Л. Разработка нейросетевых инструментов интеллектуального анализа экономических показателей. *Аудит и финансовый анализ*, 2015, № 3, с. 431–440.
- [3] Кашеварова Н.А., Куликова М.Е., Ряскина А.Д. Анализ роли интеллектуальной собственности в рамках концепции устойчивого развития. *Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии*, 2022, № 6, с. 209–214.
- [4] Травушкина А.А., Щелокова А.Н., Шиболденков В.А., Юсуфова О.М. Обзор перспектив развития технологии цифровых двойников продуктов, услуг и сервисов в секторе материального производства. *Вопросы инновационной экономики*, 2022, т. 12, № 3. <https://doi.org/10.18334/vinec.12.3.115215>
- [5] Сусов Р.В., Самолдин А.Н. Трансформации бизнес-процессов наукоемкого производства на основе цифровых моделей. *XLV Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти академика С.П. Королёва и других выдающихся отечественных ученых — пионеров освоения космического пространства: сб. тез.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021, т. 2, с. 114–115.