УДК 338.45:004.9

АНАЛИЗ МИРОВОГО ОПЫТА ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗАТРАТ

Э.В. ШИТОВА
(Представлено: канд. экон. наук, доц. Е.П. ЛИСИЧЕНОК)

В настоящей статье проведен анализ мирового опыта применения цифровых технологий для оптимизации производственных затрат. На основе обзора научной литературы и практических кейсов ведущих промышленных компаний рассмотрены механизмы экономии при внедрении Интернета вещей, искусственного интеллекта, промышленной роботизации, цифровых двойников и периферийных вычислений. Систематизированы основные направления влияния цифровизации на операционные, транзакционные и капитальные затраты. Обоснована необходимость адаптации мирового опыта в Республике Беларусь с учетом специфики национальной промышленности.

В условиях глобальной экономической нестабильности и усиления конкуренции на мировых рынках поиск эффективных инструментов снижения производственных издержек становится одним из приоритетных направлений развития промышленности. Цифровая трансформация, являющаяся основой четвертой промышленной революции, предоставляет предприятиям качественно новые возможности для оптимизации затрат и повышения эффективности деятельности [1].

Мировой опыт показывает, что лидирующие позиции на глобальных рынках занимают компании, активно внедряющие цифровые технологии в производственные и управленческие процессы. Согласно данным исследований, в странах-лидерах по уровню цифровизации промышленности (Германия, Япония, США, Китай) внедрение технологий Индустрии 4.0 позволяет снижать операционные затраты на 15–35% и повышать производительность труда на 20–40% [2]. При этом следует отметить, что значительная часть научных публикаций посвящена анализу опыта развития стран с развитой промышленностью, однако вопросы адаптации этих подходов для национальных экономик, в том числе для Республики Беларусь, остаются недостаточно изученными.

Актуальность исследования мирового опыта применения цифровых инструментов для оптимизации производственных затрат для Республики Беларусь обусловлена следующими факторами.

Во-первых, белорусская промышленность, являющаяся основой национальной экономики, сталкивается с необходимостью повышения конкурентоспособности выпускаемой продукции на внешних рынках, что невозможно без снижения себестоимости.

Во-вторых, изучение успешных практик внедрения цифровых технологий в странах-лидерах позволяет выявить наиболее эффективные решения и адаптировать их с учетом имеющихся ресурсных и технологических ограничений.

В-третьих, государственная программа «Цифровое развитие Беларуси» на 2026–2030 годы ставит задачу ускоренного внедрения цифровых технологий в реальный сектор экономики, что требует системного анализа доступных инструментов и механизмов их применения.

Цель данной статьи – провести анализ мирового опыта применения цифровых инструментов для оптимизации производственных затрат с целью выявления наиболее эффективных технологий и формулирования рекомендаций по их адаптации для промышленности Республики Беларусь.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

– рассмотрены механизмы экономии при внедрении Интернета вещей, искусственного интеллекта, роботизации, цифровых двойников и Edge Computing;

– систематизированы направления влияния цифровизации на производственные затраты;

– выявлены приоритетные технологии для внедрения в условиях белорусской промышленности.

Мировой опыт цифровизации промышленности демонстрирует, что транснациональные корпорации используют конкретные технологические стеки для точечного снижения затрат на всех этапах производственного цикла – от закупки сырья до утилизации готовой продукции.

Рассмотрим, как именно Интернет вещей, искусственный интеллект, роботизация и смежные технологии внедряются в ведущих экономиках мира, и какой экономический эффект это приносит.

1. Интернет вещей: переход к предиктивному обслуживанию оборудования.

Ключевое влияние Интернета вещей (IoT) на себестоимость продукции заключается в переходе от реактивного (аварийного) и планово-предупредительного обслуживания к предиктивному мониторингу состояния оборудования [3]. Как отмечает Е.В. Степанов [1], внедрение систем непрерывного мониторинга параметров работы оборудования позволяет прогнозировать износ узлов и своевременно проводить ремонтные работы, предотвращая дорогостоящие аварийные остановки.

В мировой практике, например, в нефтегазовом секторе Северного моря, внедрение вибродатчиков и термопар на насосных агрегатах позволяет прогнозировать износ подшипников за 200–300 часов до критической точки. Это дает возможность провести плановый ремонт в удобное время, занимающий несколько часов, вместо аварийной остановки, которая может длиться сутки и более. Использование технологий предиктивного обслуживания, как отмечает А.А. Пермовский с соавторами, позволяет сократить расходы на ремонт, запасные части и внеплановые работы на 30–40% [5].

В автомобилестроении Японии системы IoT отслеживают расход смазочных материалов на конвейерах, что позволяет сократить перерасход ресурсов и снизить затраты на утилизацию отходов [5]. Кроме того, непрерывный мониторинг состояния оборудования позволяет оптимизировать график технического обслуживания, снижая количество простоев и увеличивая коэффициент использования производственных мощностей.

2. Искусственный интеллект: оптимизация технологических режимов и энергоэффективность.

Искусственный интеллект (ИИ) выступает инструментом анализа больших массивов производственных данных и оптимизации технологических процессов [2]. Как отмечают С.Г. Николаева и соавторы, глобальная роль ИИ заключается в выходе за пределы человеческого опыта: нейросети находят комбинации параметров, недоступные инженерам, что позволяет достигать оптимальных режимов работы оборудования [2].

На металлургических комбинатах Европы (например, в Германии) алгоритмы ИИ управляют доменными печами, корректируя подачу кокса и воздуха в реальном времени. По данным И.А. Пургаевой с соавторами, применение алгоритмов искусственного интеллекта позволяет сократить удельное потребление энергоресурсов в промышленном производстве на 10–15% [3].

Особенно показателен пример из пищевой промышленности США: нейросети анализируют влажность и качество сырья на входе и мгновенно перенастраивают время термической обработки. Результатом является резкое сокращение затрат на переработку брака и возвраты продукции, так как выход готового продукта увеличивается на 5–7% без дополнительных капитальных вложений [2]. Таким образом, ИИ позволяет оптимизировать расход сырья и энергии, сокращая переменные издержки производства.

3. Промышленная роботизация: сокращение трудовых и страховых затрат.

Современная роботизация ориентирована на автоматизацию повторяющихся и трудоёмких операций, что способствует сокращению производственных затрат и повышению производительности труда. Как подчеркивает Е.В. Осадчук [4], в условиях дефицита квалифицированных кадров и роста заработной платы в развитых странах роботизация становится экономически обоснованной альтернативой ручному труду.

В Китае, на заводах по сборке электроники, коллаборативные роботы (коботы) выполняют точную пайку и монтаж микрочипов. По данным А.А. Пермовского и его соавторов [5], это снижает затраты на обучение персонала и текучесть кадров, которая в традиционных условиях достигала 50% в год. Роботы работают с высокой точностью 24/7 без перерывов, что обеспечивает стабильное качество продукции и снижает процент брака.

Однако ключевая статья экономии в странах Европейского Союза – это снижение страховых взносов и компенсаций за производственные травмы. В логистических центрах Amazon роботы перемещают стеллажи к стационарному сотруднику, исключая его длительные перемещения по складу. По данным исследований, это сократило количество производственных травм и соответствующих страховых выплат на 40%, что напрямую повлияло на снижение переменных издержек компании [5].

4. Цифровые двойники: снижение затрат на инжиниринг и запуск производства.

Наиболее затратным этапом жизненного цикла продукции часто является не эксплуатация, а запуск новых производственных линий и вывод новых продуктов на рынок. Технология цифровых двойников (Digital Twins) широко используется промышленными организациями для моделирования производственных процессов и минимизации затрат на запуск новых проектов [1].

Как отмечает Е.В. Степанов [1], создание виртуальной копии производственного цеха позволяет тестировать различные сценарии без физического вмешательства в реальное производство. Например, компания Siemens строит виртуальные копии цехов, где тестирует логистику потоков и потенциальные «узкие места» без физической перестановки станков. Это позволяет выявлять ошибки на стадии проектирования, а не в процессе эксплуатации, когда их исправление обходится значительно дороже.

В аэрокосмической отрасли США (Boeing) цифровые двойники позволяют сократить затраты на физические прототипы на 25–30%, так как большинство краш-тестов и нагрузочных испытаний проводятся в симуляции, а не на реальных образцах [3]. Это особенно важно для дорогостоящей продукции, где каждый физический прототип стоит миллионы долларов.

5. Периферийные вычисления (Edge Computing): оптимизация IT-инфраструктуры.

Хотя периферийные вычисления являются менее заметным инструментом, их глобальное влияние на затраты колоссально. Использование Edge Computing позволяет снизить нагрузку на облачную инфраструктуру и уменьшить затраты на передачу и хранение данных. Как подчеркивает Е.В. Степанов [1], перенос обработки данных на периферийные устройства сокращает задержки и снижает требования к пропускной способности сетей.

На заводах Volkswagen в Германии внедрение Edge Computing позволило отказаться от тысяч дорогих промышленных ПК, перенеся их функции в компактные вычислительные модули. Это снизило капитальные затраты на обновление парка IT-оборудования и сократило энергопотребление серверных комнат. Кроме того, периферийные вычисления обеспечивают более высокий уровень безопасности данных, так как критическая информация обрабатывается локально и не передается в облако [1].

На основе анализа научных публикаций [1–5] была проведена систематизация основных направлений влияния цифровизации на производственные затраты. На рисунке 1 представлены ключевые цифровые технологии и их влияние на различные категории затрат.



Рисунок 1. – Основные направления влияния цифровизации на оптимизацию производственных затрат

Источник: собственная разработка.

Схема, представленная на рисунке 1, демонстрирует, что цифровые технологии оказывают комплексное влияние на три основные группы издержек предприятия:

1. Операционные затраты (OPEX) – снижаются за счет экономии энергоресурсов, сырья, сокращения простоев оборудования и уменьшения затрат на ремонт и обслуживание.
2. Транзакционные затраты – уменьшаются благодаря автоматизации контроля качества, сокращению бюрократических звеньев и оптимизации логистических процессов.
3. Капитальные затраты (CAPEX) – оптимизируются за счет виртуального моделирования, позволяющего избежать ошибок при покупке дорогостоящего оборудования и сократить затраты на физические прототипы.

Анализ показывает, что наиболее значимый экономический эффект обеспечивают технологии искусственного интеллекта, Интернета вещей и цифровых двойников, поскольку они непосредственно влияют на снижение простоев оборудования, энергопотребления и затрат на запуск новых производственных процессов.

Проведенный анализ мирового опыта позволяет сформулировать следующие рекомендации для промышленных организаций Республики Беларусь:

1. Приоритетное внедрение IoT и предиктивной аналитики рекомендуется для белорусского машиностроения и металлургии, где высок износ оборудования. Внедрение систем мониторинга состояния позволит сократить простои и затраты на аварийный ремонт.

2. Использование ИИ для оптимизации технологических режимов целесообразно в химической и нефтехимической промышленности, где энергоемкость производства наиболее высока. Применение нейросетей для управления технологическими процессами позволит снизить энергопотребление на 10–15%.

3. Роботизация логистических операций актуальна для крупных промышленных кластеров с высокой плотностью внутризаводских перевозок автоматизация перемещения грузов, что позволит сократить логистические издержки и повысить безопасность труда.

4. Цифровые двойники для проектирования целесообразны для организаций с длительным циклом подготовки производства (станкостроение, авиастроение). Внедрение виртуального моделирования позволит сократить сроки и затраты на запуск новых изделий.

Таким образом, проведенный анализ научной литературы показал, что цифровизация оказывает комплексное и многонаправленное влияние на оптимизацию производственных затрат в мировом хозяйстве. Наибольший экономический эффект достигается за счет внедрения технологий Интернета вещей, искусственного интеллекта и цифровых двойников, позволяющих снизить расходы на обслуживание оборудования, энергопотребление и запуск новых производственных процессов.

Анализ литературных источников свидетельствует о том, что цифровые технологии оказывают влияние как на операционные, так и на капитальные затраты субъектов хозяйствования. При этом максимальная эффективность достигается не при внедрении отдельных решений, а при их комплексной интеграции в единую цифровую экосистему управления организацией. На практике это означает, что организации, интегрирующие эти инструменты в единую систему, получают конкурентное преимущество не за счет дешевизны рабочей силы, а за счет «интеллектуальной эффективности» – оптимизации каждого потребленного киловатта энергии и каждой минуты работы станка.

Следовательно, дальнейшее развитие цифровой трансформации промышленности Республики Беларусь следует рассматривать как важнейшее направление повышения конкурентоспособности национальных организаций в условиях глобальной экономики. При этом необходимо учитывать мировой опыт, адаптируя его к имеющимся ресурсным и технологическим ограничениям, а также обеспечивая подготовку квалифицированных кадров для работы с новыми цифровыми инструментами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Степанов, Е. В. Цифровая трансформация промышленных предприятий на основе интеллектуальных решений концепции «Индустрия 4.0» / Е. В. Степанов // Вестник Самарского университета. Экономика и управление. – 2022. – Т. 13. – № 1. – С. 49–55.
2. Николаева, С. Г. Цифровизация и автоматизация производства в условиях финансовой нестабильности и ограничений в России / С. Г. Николаева, З. И. Шахбанова, А. Е. Дудкина // Региональные проблемы преобразования экономики. – 2024. – № 8. – С. 89–96.
3. Пургаева, И. А. Цифровая трансформация промышленности: проблемы и перспективы / И. А. Пургаева, Т. А. Некрасова, Т. С. Наролина, Т. И. Смотрова // Современная экономика: проблемы и решения. – 2023. – № 1(157). – С. 136–148.
4. Осадчук, Е. В. Цифровизация промышленности: барьеры на пути внедрения искусственного интеллекта и предложения по их преодолению / Е. В. Осадчук // Управление наукой: теория и практика. – 2022. – Т. 4. – № 2. – С. 201–209.
5. Пермовский, А. А. Промышленность на современном этапе: цифровизация, автоматизация и роботизация как главные тренды её развития / А. А. Пермовский, В. А. Полянская, В. П. Кузнецов // Финансовый менеджмент. – 2024. – № 2. – С. 120–128.