



DIRECTORY OF
OPEN ACCESS
JOURNALS



"IN THE WORLD OF SCIENCE AND EDUCATION"

international scientific-practical journal

ALMATY, KAZAKHSTAN

ISSN: 3007-8946

15 AUGUST 2026



els.education23@mail.ru



irc-els.com

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
«IN THE WORLD OF SCIENCE AND EDUCATION»**

**INTERNATIONAL SCIENTIFIC JOURNAL
«IN THE WORLD OF SCIENCE AND EDUCATION»**



Main editor: G. Shulenbaev

Editorial colleague:

B. Kuspanova
Sh Abyhanova

International editorial board:

R. Stepanov (Russia)
T. Khushruz (Uzbekistan)
A. Azizbek (Uzbekistan)
F. Doflat (Azerbaijan)

International scientific journal «IN THE WORLD OF SCIENCE AND EDUCATION», includes reports of scientists, students, undergraduates and school teachers from different countries (Kazakhstan, Tajikistan, Azerbaijan, Russia, Uzbekistan, China, Turkey, Belarus, Kyrgyzstan, Moldova, Turkmenistan, Georgia, Bulgaria, Mongolia). The materials in the collection will be of interest to the scientific community for further integration of science and education.

Международный научный журнал «IN THE WORLD OF SCIENCE AND EDUCATION», включают доклады учёных, студентов, магистрантов и учителей школ из разных стран (Казахстан, Таджикистан, Азербайджан, Россия, Узбекистан, Китай, Турция, Беларусь, Кыргызстан, Молдавия, Туркменистан, Грузия, Болгария, Монголия). Материалы сборника будут интересны научной общественности для дальнейшей интеграции науки и образования.

15 августа 2026 г.
Almaty, Kazakhstan

<https://doi.org/10.5281/zenodo.22235375>

УДК 332.1

ПОРОГ КАДРОВОЙ ГОТОВНОСТИ: ИНЖЕНЕРНАЯ МОДЕЛЬ СИНХРОНИЗАЦИИ ДОПУСКА РАБОТНИКА К ТРУДУ

ГЕЛЬМАНОВА ЗОЯ САЛИХОВНА

Профессор, Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

САУЛЬСКИЙ ЮРИЙ НИКОЛАЕВИЧ

Магистр, Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

FAYEZ WAZANI ABDUL WALID

Магистр, Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

THUKU HARRISON

Магистрант, Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

***Аннотация.** В статье исследуется организационное противоречие, возникающее между формальным оформлением трудовых отношений и фактической готовностью работника к выполнению порученной работы. Подписание трудового договора, издание приказа и присвоение табельного номера подтверждают возникновение трудовых отношений, однако сами по себе не гарантируют, что работнику определено рабочее место, предоставлены необходимые доступы, выданы средства труда, подтверждена квалификация, проведено обучение, завершены процедуры безопасности и обеспечена корректная передача данных в расчётный контур. В результате организация может одновременно считать работника принятым и не иметь возможности полноценно использовать его труд.*

Для решения данной проблемы предлагается авторское понятие порога кадровой готовности — контрольного состояния кадрового процесса, при котором документальные, организационные, квалификационные, производственные, цифровые, ресурсные и расчётные условия согласованы и позволяют работнику приступить к труду без критических кадровых разрывов. Разработана семиконтурная модель готовности, предложены формулы интегральной и диагностической оценки, а также показатели синхронизационного разрыва между плановой датой выхода, фактическим началом работы и моментом достижения полной готовности.

Отдельное внимание уделено цифровому иллюзу кадровой готовности, который не подменяет решение ответственного руководителя, а объединяет подтверждения различных участников кадрового события. Показано, что цифровизация приёма должна завершаться не созданием кадрового документа, а подтверждённым включением работника в человеческий и производственный контур организации. Предлагаемая модель может применяться при проектировании процессов приёма, перевода, допуска после обучения, возвращения из длительного отсутствия и изменения трудовой функции.

***Ключевые слова:** инженерия кадровых процессов, кадровая готовность, кадровое событие, допуск к труду, приём работника, человеческий контур организации, цифровой кадровый процесс, организационная синхронизация, электронное личное дело, кадровый риск.*

В большинстве организаций момент приёма работника фиксируется достаточно определённо. Существует заявление или иное основание, принимается кадровое решение, оформляется трудовой договор, издаётся приказ, присваивается табельный номер. С точки зрения кадрового делопроизводства процесс выглядит завершённым. Производственная реальность, однако, часто выносит иной вердикт.

Работник может числиться принятым, но не иметь доступа в информационную систему. Руководитель ожидает его на смене, но рабочее место не подготовлено. Обучение запланировано после даты выхода. Средства индивидуальной защиты не выданы. В расчётной системе отсутствует график. Подразделение безопасности ещё не завершило проверку. Наставник не назначен. Формально человек уже находится внутри организации, фактически — остаётся на её пороге.

Обратная ситуация не менее опасна. Производственная потребность настолько высока, что кандидата стремятся фактически допустить к операциям до завершения оформления, инструктажа, проверки квалификации или предоставления регламентированных доступов. Скорость в этом случае достигается не сокращением процесса, а переносом его незавершённости на рабочее место. Организация экономит несколько часов на входе, а затем получает юридический, производственный и расчётный долг.

Процессный подход предполагает рассмотрение деятельности как системы взаимосвязанных входов, действий, результатов, ответственности и контрольных механизмов. Именно взаимодействие процессов, а не наличие отдельных регламентов, определяет способность системы стабильно достигать запланированного результата [1]. Требования к управлению охраной труда также исходят из необходимости выявления и контроля рисков, а не из формального наличия отдельных документов [2].

Исследования организационной социализации рассматривают в качестве ближайших результатов включения нового работника: ясность роли, освоение задач, социальное принятие и восприятие соответствия рабочей среде. Эти результаты формируются во времени и зависят как от поведения новичка, так и от действий организации и её представителей [3]. Следовательно, оформление трудовых отношений и полноценная адаптация не совпадают. Между ними существует промежуточная, но практически значимая точка — готовность к безопасному и организационно обеспеченному началу труда.

Цель статьи состоит в разработке инженерной модели, позволяющей определить, из каких элементов складывается кадровая готовность работника, каким образом устанавливается момент её достижения и как организация может контролировать разрыв между запланированным и фактическим началом работы.

Методологическую основу исследования составили системный и процессный подходы, событийная модель кадрового процесса, функциональная декомпозиция, анализ организационных рисков и логика контрольных шлюзов.

Главное противоречие процесса приёма состоит в том, что его юридический результат и его организационный результат измеряются по-разному. Кадровая служба оценивает завершённость по наличию установленных документов и внесению данных. Руководитель подразделения — по способности человека выполнять работу. ИТ-служба — по созданию учётной записи. Специалист по охране труда — по прохождению обязательных процедур. Расчётное подразделение — по наличию корректных условий оплаты, графика и основания для начислений.

Каждый участник прав в пределах собственного участка. Ошибка возникает тогда, когда локальная завершённость одного участка принимается за завершённость всего кадрового события.

Трудовой договор подтверждает оформление отношений, но не заменяет квалификацию. Присвоение табельного номера не создаёт доступ в производственную систему. Проведённый инструктаж не означает, что работник обеспечен оборудованием. Созданная должность не подтверждает наличие фактически подготовленного рабочего места. Приказ фиксирует решение, но не исполняет его автоматически.

В рамках инженерии кадровых процессов результат приёма предлагается определять не как «оформленный работник», а как работник, включённый в организацию юридически, информационно, производственно и экономически. Такая формулировка меняет саму точку

завершения процесса. Кадровый документ остаётся обязательным элементом, но перестаёт быть единственным доказательством готовности.

Исследования формального онбординга указывают, что структурированное обучение на рабочем месте может способствовать развитию компетентности и ясности роли. При этом систематический обзор 2023 года обнаружил ограниченное количество сопоставимых исследований, а достоверность общей доказательной базы была оценена авторами как низкая. Поэтому нельзя утверждать, что наличие любой формальной программы адаптации автоматически вызывает рост производительности или удержания персонала [4].

Это ограничение имеет принципиальное значение. Инженерная модель не должна превращаться в ещё один универсальный чек-лист, который заполняется ради отчётности. Проверяется не наличие действия как такового, а его результат. Недостаточно указать, что работнику направлена инструкция. Необходимо подтвердить, что он получил сведения, необходимые для выполнения конкретной работы. Недостаточно сформировать заявку на доступ. Нужен действующий доступ с корректными полномочиями.

Таблица 1 — Различие между формальным оформлением и кадровой готовностью

Состояние процесса	Что подтверждено	Что ещё не подтверждено	Основной риск
Кандидат согласован	Принято решение о предполагаемом трудоустройстве	Возникновение трудовых отношений и готовность рабочего места	Ожидание кандидата без окончательного решения
Трудовые отношения оформлены	Создано юридическое основание труда	Наличие всех производственных, цифровых и ресурсных условий	Оплачиваемый простой или преждевременный допуск
Рабочее место подготовлено	Подразделение способно принять человека	Завершение документальных и обязательных процедур	Фактическая работа без полного оформления
Все критические условия подтверждены	Работник достиг порога кадровой готовности	Долгосрочная адаптация и достижение нормативной производительности	Риски последующего периода адаптации
Работник адаптирован	Освоены задачи, роль и взаимодействие с коллективом	Устойчивость результата в более длительном периоде	Ошибочная оценка адаптации по одному показателю

Порог кадровой готовности не следует смешивать с полной профессиональной адаптацией. Работник может быть готов приступить к труду, но ещё не обладать той скоростью, уверенностью и неформальным знанием среды, которые формируются позднее. Современные исследования социализации также показывают, что освоение новой роли представляет собой сложный процесс взаимодействия новичка, руководителя, коллег и организационной среды, а не одноразовую вводную процедуру [3].

Авторская позиция состоит в том, что кадровая готовность должна стать самостоятельным результатом процесса. Она находится между оформлением трудовых отношений и последующей адаптацией. Именно здесь организация отвечает на простой, но неудобный вопрос: может ли этот конкретный человек приступить к этой конкретной работе в установленную дату без критического организационного разрыва?

Готовность работника невозможно достоверно определить одним документом или одним статусом в кадровой системе. Она складывается из нескольких самостоятельных контуров, каждый из которых имеет собственного владельца, источник подтверждения и набор рисков.

В статье предлагается выделить семь контуров кадровой готовности: документальный, организационный, квалификационный, контур безопасности, цифровой, ресурсный и расчётный.

Документальный контур подтверждает наличие надлежащего основания для трудовых отношений и конкретных условий труда. Организационный связывает человека с должностью, подразделением, руководителем, графиком и рабочим местом. Квалификационный показывает, соответствует ли работник установленным требованиям либо на каком законном и организационно определённом основании он проходит подготовку.

Контур безопасности охватывает не только инструктаж. Его задача — подтвердить, что риски конкретной работы учтены, необходимые процедуры пройдены, а работник может быть допущен к операциям в пределах своей подготовки. Цифровой контур обеспечивает доступ к системам, данным и электронным инструментам, но одновременно ограничивает полномочия рамками трудовой функции.

Ресурсный контур подтверждает наличие оборудования, инструментов, средств индивидуальной защиты, помещения, транспорта или иных материальных условий. Расчётный контур обеспечивает корректное отражение графика, оплаты, доплат, компенсаций и иных условий, влияющих на начисления.

Таблица 2 — Контурные кадровой готовности работника

Контур	Проверяемое состояние	Пример подтверждения	Последствие незавершённости
Документальный	Трудовые отношения и условия оформлены надлежащим образом	Подписанный договор, кадровое решение, обязательные документы	Правовая неопределённость
Организационный	Работник включён в структуру и закреплён за рабочим местом	Должность, подразделение, руководитель, график	Работник принят, но организационно «ничей»
Квалификационный	Подтверждено соответствие требованиям либо установлен режим подготовки	Документ о квалификации, результат проверки, программа обучения	Выполнение работы без достаточной подготовки
Безопасность	Завершены обязательные процедуры безопасного допуска	Инструктаж, медицинская процедура, проверка знаний, допуск	Угроза жизни, здоровью и устойчивости производства
Цифровой	Созданы необходимые и соразмерные полномочия	Учётная запись, роль, доступ к системе	Простой либо несанкционированное использование чужого доступа

Ресурсный	Подготовлены средства и материальные условия труда	Оборудование, инструмент, рабочее место СИЗ,	Невозможность выполнения трудовой функции
Расчётный	Условия труда корректно переданы в систему начислений	График, доплаты, признаки тариф, расчётные	Ошибки начисления и последующие перерасчёты

Для критических условий целесообразно применять не среднюю, а пороговую логику. Если каждый контур обозначить переменной C_i , принимающей значение 1 при подтверждённой готовности и 0 при её отсутствии, общий статус можно определить линейно записанной формулой:

$G = C_1 \times C_2 \times C_3 \times C_4 \times C_5 \times C_6 \times C_7$. Здесь G — итоговая кадровая готовность.

Если хотя бы один критический контур не завершён, значение G становится равным нулю. Это жёсткая модель, но в ней есть практический смысл. Среднее значение не должно скрывать критический дефект. Наличие трудового договора, формы одежды, табельного номера, руководителя, рабочего места и доступа не компенсирует отсутствие обязательного допуска по безопасности. Для аналитического наблюдения может применяться более мягкий индекс: $I_g = w_1r_1 + w_2r_2 + w_3r_3 + w_4r_4 + w_5r_5 + w_6r_6 + w_7r_7$,

где r_i — степень выполнения соответствующего контура от 0 до 1; w_i — вес контура; сумма весов равна 1.

Индекс показывает, насколько далеко процесс продвинулся к готовности. Однако он не должен автоматически разрешать допуск. Результат 0,93 выглядит убедительно в отчёте, но оставшиеся 0,07 могут означать отсутствие медицинского допуска или критически необходимой квалификации. Статистика любит усреднять, безопасность — нет.

Состав критических контуров может различаться. Для офисного работника ресурсная готовность будет включать компьютер, рабочее место и корпоративные доступы. Для производственной профессии к ней могут добавляться специальная одежда, инструмент, допуск на территорию, сменный график, медицинские требования и проверка знаний. Универсальна не конкретная форма чек-листа, а принцип: состав готовности определяется содержанием труда и рисками рабочего места.

Стандарты в области человеческого капитала предусматривают измерение широкого круга параметров, находящихся под контролем организации, включая состав рабочей силы, производительность, здоровье, безопасность и другие характеристики [5]. Действующая редакция ISO 30414 была обновлена в 2025 году и закрепляет требования и рекомендации по отчётности и раскрытию информации о человеческом капитале. Предлагаемая модель дополняет этот подход на уровне отдельного кадрового события: она измеряет не только состояние человеческого капитала в целом, но и готовность конкретного работника войти в рабочий процесс.

Каждый контур готовности завершается в собственный момент времени. Трудовой договор может быть подписан за несколько дней до выхода. Доступ создаётся утром первого рабочего дня. Специальная одежда выдаётся после прибытия. Обучение назначается на следующую неделю. График передаётся в расчётную систему после закрытия кадрового события. Формально все действия относятся к одному приёму, но фактически разворачиваются как несколько несинхронных процессов.

В инженерной модели момент полной готовности определяется самым поздним из критических подтверждений:

$T_{готов} = \max(T_{док}; T_{орг}; T_{квал}; T_{без}; T_{цифр}; T_{рес}; T_{расч})$.

Пока не завершился последний критический контур, работник не достиг порога кадровой готовности. Из этого следует, что ускорение только кадрового оформления не обязательно

сокращает общее время включения человека в работу. Быстрый приказ не приносит производственного результата, если после него ещё три дня создаются доступы и определяется рабочее место.

Разницу между плановой датой выхода и моментом полной готовности предлагается определять как синхронизационную задержку:

$$D_{\text{синх}} = \max(0; T_{\text{готов}} - T_{\text{план}}).$$

Если работник фактически приступил раньше достижения готовности, возникает период преждевременного допуска:

$$D_{\text{прежд}} = \max(0; T_{\text{готов}} - T_{\text{факт}}).$$

Положительное значение $D_{\text{прежд}}$ означает, что некоторое время работник находился в процессе труда при незавершённом критическом условии. Это не всегда доказывает нарушение закона или наступление ущерба. Оно выступает индикатором, требующим содержательной проверки: какой именно контур не был завершён и имел ли он обязательное значение для выполнявшейся работы.

Рассмотрим типичную ситуацию промышленного предприятия. Организации требуется весовщик. Кандидат согласован, договор подписан, табельный номер присвоен. В день выхода выясняется, что доступ к системе взвешивания не создан, обучение работе с программой назначено через два дня, а руководитель смены не получил подтверждения о закреплении нового работника. Кадровая служба считает приём завершённым. Производственное подразделение видит человека, которого нельзя самостоятельно поставить на рабочее место.

Здесь проблема состоит не в отсутствии отдельных действий. Они запланированы. Дефект заложен в их последовательности. Дата начала труда определена раньше, чем дата достижения готовности.

Другой вариант возникает, когда производственное подразделение просит кандидата заранее присутствовать при операциях, знакомиться с оборудованием или фактически выполнять отдельные действия, пока кадровое оформление ещё продолжается. Мотив понятен: подразделению нужен человек. Но потребность не отменяет архитектуру процесса. Она, напротив, должна запускать её заблаговременно.

Таблица 3 — Основные сценарии нарушения синхронизации

Сценарий	Соотношение дат	Организационное содержание	Возможное последствие
Синхронный старт	$T_{\text{готов}} \leq T_{\text{план}} = T_{\text{факт}}$	Все критические условия созданы к началу работы	Плановое включение работника
Задержанный старт	$T_{\text{план}} < T_{\text{готов}} \leq T_{\text{факт}}$	Плановая дата установлена раньше готовности, но фактический допуск перенесён	Потеря времени, срыв производственного плана
Преждевременный допуск	$T_{\text{факт}} < T_{\text{готов}}$	Работа началась при незавершённом критическом контуре	Правовой, производственный или расчётный риск
Скрытый простой	$T_{\text{факт}}$ формально зафиксирован, но работа невозможна	Работник присутствует, однако не обеспечен доступом или ресурсами	Затраты без соответствующего результата
Избыточная задержка	$T_{\text{готов}} < T_{\text{факт}}$	Все условия созданы, но подразделение не	Неэффективное планирование

		использует готового работника	
Частичный допуск	Некоторые операции разрешены, остальные заблокированы	Определён временный ограниченный режим труда	Риск расширения функций за пределы допуска

Частичный допуск требует отдельного регулирования. Иногда работник действительно может выполнять ограниченный набор безопасных действий до завершения обучения по основной функции. Но такое решение должно быть формализовано: определены разрешённые действия, срок, руководитель, наставник, ограничения и основание оплаты. Иначе «временное ознакомление» быстро превращается в полноценную работу без соответствующего статуса.

Стоимость несинхронизированного приёма может быть представлена следующим образом: Сразрыв = Спростой + Сповтор + Сперерасчёт + Сдоступ+ Сриск.

В состав затрат могут входить оплачиваемое неиспользованное время, повторная обработка документов, исправление начислений, внеплановая работа ИТ- и кадровых специалистов, задержка производственной операции и ожидаемые последствия выявленных рисков. При этом ожидаемый риск допустимо рассчитывать как сумму вероятности события и размера возможных потерь: $\text{Сриск} = \sum(P \times L)$, где P — оценённая вероятность нежелательного события; L — предполагаемый размер потерь.

Такая оценка остаётся вероятностной. Она не доказывает, что ущерб обязательно наступит. Её задача — показать, что кадровая несогласованность имеет экономическое измерение и не может рассматриваться исключительно как внутреннее неудобство кадровой службы.

Попытка решить проблему одной общей таблицей обычно даёт временный эффект. Таблица быстро превращается в ещё один источник данных, который необходимо вручную сверять с кадровой системой, системой обучения, управлением доступами, табелем и электронной почтой. Инженерное решение должно соединять подтверждения, а не создавать их копии.

Для этого предлагается использовать цифровой шлюз кадровой готовности — контрольный механизм, который собирает статусы критических контуров и формирует единое решение о готовности работника к установленной дате.

Шлюз не обязан быть отдельной информационной системой. Он может быть реализован в кадровой платформе, системе электронного документооборота, корпоративном портале или интеграционном модуле. Его назначение состоит не в хранении всех первичных сведений, а в получении подтверждённых сигналов от их владельцев.

Например, кадровая система подтверждает оформление отношений. Система организационного управления — закрепление за должностью и подразделением. Учебная платформа — прохождение подготовки. Контур охраны труда — завершение обязательных процедур. Система управления идентификацией — создание доступа. Подразделение материального обеспечения — выдачу ресурсов. Расчётная система — получение условий оплаты и графика.

Таблица 4 — Архитектура цифрового шлюза кадровой готовности

Источник	Передаваемый сигнал	Владелец подтверждения	Контроль шлюза
Кадровая система или ЭДО	Документы оформлены и подписаны	Кадровая функция	Проверка обязательного комплекта

Организационная система	Определены должность, подразделение и руководитель	Руководитель или владелец структуры	Соответствие согласованной позиции
Система обучения	Требуемая подготовка завершена либо назначен разрешённый режим	Учебная функция и руководитель	Соответствие обучения трудовой функции
Контур охраны труда	Обязательные процедуры допуска завершены	Уполномоченный специалист	Блокировка при отсутствии критического допуска
Система управления доступами	Созданы необходимые роли	ИТ-служба и владелец информационного ресурса	Соразмерность полномочий
Складская или ресурсная система	Средства труда выданы	Материально ответственное подразделение	Проверка обязательных позиций
Расчётная система	Условия оплаты и график приняты	Расчётная функция	Отсутствие критических расхождений
Руководитель подразделения	Рабочее место готово, наставник определён	Непосредственный руководитель	Итоговое операционное подтверждение

Ключевая особенность шлюза состоит в сохранении владельцев решения. Система не должна самостоятельно объявлять человека квалифицированным только потому, что загружен файл с неопределённым названием. Она фиксирует подтверждение уполномоченного участника и сохраняет его в истории кадрового события.

Качество данных при этом нельзя сводить к отсутствию опечаток. Классическая модель качества данных включает внутреннюю достоверность, соответствие задаче, понятность представления и доступность для пользователя [6]. В кадровом процессе это означает, что корректная фамилия в неверном профиле работника не является качественными данными. Так же как правильный тариф, переданный после закрытия расчёта, уже не обеспечивает требуемого результата.

Каждое подтверждение шлюза должно содержать как минимум идентификатор работника, идентификатор кадрового события, вид условия, статус, дату и время, источник, ответственное лицо и основание изменения. Такая структура позволяет формировать журнал событий.

Журнал открывает возможности для процессной аналитики. Методы process mining используют данные о событиях для восстановления фактического хода процессов, проверки соответствия установленной модели и анализа временных отклонений [7]. Применительно к приёму работника это позволяет увидеть не только средний срок процесса, но и реальные последовательности: какие действия чаще задерживаются, какие этапы выполняются задним числом и где возникают обходные маршруты.

Однако журнал событий не устраняет дефекты автоматически. Некачественные отметки времени, формальные подтверждения и действия, совершённые вне системы, могут создать ложную картину. Исследования процессной аналитики отдельно указывают, что порядок и временные метки событий не всегда надёжно отражают причинную последовательность [8].

Следовательно, цифровой след необходимо сопоставлять с содержанием процесса, а не принимать за безусловную истину.

Для шлюза целесообразно установить следующие статусы: «планируется» — решение о приёме находится в подготовке; «в работе» — обязательные контуры запущены; «условно готов» — завершены основные процедуры, но действует формализованное ограничение; «готов» — все критические условия подтверждены; «заблокирован» — отсутствует обязательное условие; «допущен» — руководитель подтвердил фактическое начало работы; «отклонение» — фактический старт не соответствует статусу готовности.

Статус «условно готов» не должен использоваться как удобная лазейка. Для него необходимы конкретный перечень разрешённых действий, период действия, ответственный руководитель и условие снятия ограничения.

Цифровой шлюз, построенный без такой логики, быстро станет красивым индикатором, который все научатся переводить в зелёный цвет. Кадровая инженерия начинается там, где цвет статуса подтверждается реальным состоянием процесса.

Внедрение модели кадровой готовности следует начинать не с программирования, а с анализа конкретных рабочих мест и кадровых событий. Универсальная форма, одинаковая для директора, водителя, весовщика, бухгалтера и электромонтёра, будет либо чрезмерно громоздкой, либо опасно поверхностной.

На первом этапе определяется перечень профессий и должностей, для которых несинхронизированный допуск создаёт наибольшие последствия. Приоритет могут получить производственные рабочие места, функции с повышенными требованиями безопасности, материальной ответственностью, доступом к критическим информационным ресурсам или сложной системой оплаты.

На втором этапе восстанавливается фактический процесс. Не тот, который записан в регламенте, а тот, по которому действительно проходит работник. Для этого сопоставляются документы, системные события, интервью участников и реальные сроки.

На третьем этапе устанавливаются обязательные контуры для каждой группы рабочих мест. Одновременно определяется, какие условия являются критическими, а какие могут быть завершены после начала труда без создания недопустимого риска.

На четвёртом этапе назначаются владельцы подтверждений. Владелец отвечает не за заполнение общего чек-листа, а за достоверность своего участка. ИТ-служба подтверждает доступ, руководитель — рабочее место, кадровая функция — документы, учебный центр — результат обучения.

На пятом этапе определяется точка готовности и проектируется маршрут эскалации. Если критическое условие не выполнено к контрольной дате, система должна не просто показывать красный статус, а направлять проблему лицу, способному принять решение: перенести дату, изменить режим допуска, ускорить подготовку либо отменить кадровое действие.

На шестом этапе проводится пилотирование. Состояние процесса до и после внедрения сравнивается по единым показателям. Для доказательного вывода необходимо учитывать изменения объёма найма, состава профессий, сезонной нагрузки и организационных условий. Простое снижение среднего срока ещё не доказывает эффективность модели, если одновременно уменьшилось количество сложных приёмов.

На седьмом этапе модель включается в общий кадровый контур и электронное личное дело. В истории работника должно сохраняться не только решение о приёме, но и подтверждение момента, когда он был организационно готов к началу работы.

Таблица 5 — Показатели эффективности модели кадровой готовности

Показатель	Формула	Интерпретация
------------	---------	---------------

Доля готовых к плановой дате	$K_1 = N_{\text{готов в срок}} / N_{\text{приём}} \times 100\%$	Способность организации синхронно подготовить условия
Доля преждевременных допусков	$K_2 = N_{\text{допущен до готовности}} / N_{\text{приём}} \times 100\%$	Частота начала труда при незавершённых условиях
Средняя синхронизационная задержка	$T_1 = \Sigma D_{\text{синх}} / N_{\text{задержанных}}$	Масштаб отклонения от плановой даты
Доля скрытого простоя первого дня	$K_3 = N_{\text{простой первого дня}} / N_{\text{приём}} \times 100\%$	Качество подготовки рабочего места
Доля возвратов данных	$K_4 = N_{\text{возвратов}} / N_{\text{событий}} \times 100\%$	Качество первичных кадровых сведений
Доля конфликтующих записей	$K_5 = N_{\text{расхождений систем}} / N_{\text{проверенных записей}} \times 100\%$	Согласованность информационного контура
Стоимость разрыва на один приём	$C_1 = \Sigma C_{\text{разрыв}} / N_{\text{приём}}$	Экономическое выражение несинхронизированного процесса
Полнота цифровой истории	$K_6 = N_{\text{событий с полным журналом}} / N_{\text{событий}} \times 100\%$	Восстанавливаемость кадрового события

Показатели должны анализироваться совместно. Рост доли готовых к плановой дате может быть достигнут искусственным переносом плановых дат на более поздний срок. Снижение числа преждевременных допусков может сопровождаться ростом простоя. Уменьшение количества возвратов иногда означает не повышение качества данных, а отказ участников фиксировать ошибки.

Поэтому оценка должна соединять срок, качество, стоимость и риск. Рекомендации по измерению результативности систем охраны труда также исходят из необходимости создавать процессы мониторинга, измерения, анализа и оценки, а не ограничиваться единичным показателем [9,10].

Научная проверка предлагаемой модели может быть проведена через квазиэкспериментальное сравнение нескольких сопоставимых подразделений либо через анализ одного процесса до и после внедрения. В качестве зависимых показателей могут использоваться продолжительность синхронизационной задержки, доля преждевременных допусков, количество перерасчётов, трудоёмкость исправлений и число инцидентов первого рабочего дня.

Однако причинный вывод потребует осторожности. На показатели могут одновременно воздействовать изменение численности кадровой службы, внедрение новой информационной системы, сезонность найма, изменение производственной программы и состав принимаемых работников. Корреляция между внедрением шлюза и улучшением показателей сама по себе ещё не доказывает, что улучшение вызвано только шлюзом.

Слабым местом модели остаётся риск чрезмерной бюрократизации. При неправильном применении организация способна создать семь новых согласований вместо одного работающего процесса. Поэтому подтверждение должно формироваться там, где возникает соответствующее действие, а не переноситься в дополнительную форму. Если система обучения уже фиксирует завершение курса, работника не следует заставлять приносить распечатанный сертификат в кадровую службу. Интеграция должна сокращать доказательную цепочку, а не дублировать её.

Второе ограничение связано с человеческим поведением. Руководитель, заинтересованный в срочном выходе работника, может формально подтвердить готовность

неподготовленного рабочего места. Это означает, что цифровой контроль не заменяет управленческую ответственность и выборочные проверки.

Третье ограничение состоит в невозможности полностью формализовать социальную готовность. Назначение наставника можно подтвердить статусом, но качество взаимодействия наставника и новичка не сводится к отметке. Исследования социализации показывают значимость поддержки со стороны руководителей и коллег, социального принятия и активного взаимодействия нового работника с организационной средой [3]. Поэтому порог готовности должен обеспечивать начало труда, но не претендовать на измерение всей сложности адаптации.

Организация обычно хорошо знает дату приёма работника, но значительно хуже понимает дату его реальной готовности к труду. Между этими моментами скрывается участок кадрового процесса, который редко имеет единого владельца. Документы уже оформлены, человек уже включён в численность, затраты уже возникают, а производственная функция ещё не получила полноценного работника.

Предлагаемая модель порога кадровой готовности переводит эту проблему из разряда бытовых организационных сбоев в предмет инженерного проектирования. Готовность рассматривается как результат синхронизации семи контуров: документального, организационного, квалификационного, безопасностного, цифрового, ресурсного и расчётного. Последний завершившийся критический контур определяет реальный момент готовности.

Научный вклад статьи состоит в разграничении трёх состояний: оформления трудовых отношений, готовности к началу труда и последующей адаптации. Эти состояния связаны, но не тождественны. Оформление создаёт основание. Кадровая готовность обеспечивает возможность безопасного и организационно обеспеченного старта. Адаптация формирует устойчивое включение человека в работу и коллектив.

Практический вклад заключается в разработке пороговой модели, показателей синхронизационного разрыва и архитектуры цифрового шлюза, объединяющего подтверждения участников кадрового события. Такой шлюз меняет критерий завершения приёма. Процесс заканчивается не тогда, когда последний документ помещён в электронное дело, а тогда, когда организация может доказать: конкретный человек подготовлен к конкретной работе в конкретных условиях.

При этом модель не должна превращаться в механизм бездумной стандартизации. Не все рабочие места требуют одинаковых условий, не всякая задержка создаёт равный риск, и не каждый элемент адаптации поддаётся цифровой фиксации. Будущие исследования должны быть направлены на апробацию модели в различных профессиональных группах, определение состава критических контуров, оценку экономических последствий несинхронизированного допуска и исследование связи между кадровой готовностью первого дня и последующими результатами адаптации.

Основной вывод можно сформулировать предельно конкретно: принятый работник и готовый работник — не всегда один и тот же организационный результат. Инженерия кадровых процессов должна устранить этот разрыв до того, как он превратится в простой, перерасчёт, инцидент или устойчивую привычку обходить установленный порядок.

ЛИТЕРАТУРА

1. ISO 9001:2015. Quality management systems — Requirements. International Organization for Standardization.
2. ISO 45001:2018. Occupational health and safety management systems — Requirements with guidance for use. International Organization for Standardization.
3. Bauer T. N., Erdogan B., Ellis A. M., Truxillo D. M., Brady G. M., Bodner T. New Horizons for Newcomer Organizational Socialization: A Review, Meta-Analysis, and Future Research Directions // *Journal of Management*. 2025. Vol. 51. No. 1. P. 344–382. DOI: 10.1177/01492063241277168.
4. Frögéli E., Jenner B., Gustavsson P. Effectiveness of Formal Onboarding for Facilitating Organizational Socialization: A Systematic Review // *PLOS ONE*. 2023. Vol. 18. No. 2. Article e0281823. DOI: 10.1371/journal.pone.0281823.
5. ISO 30414:2025. Human resource management — Requirements and recommendations for human capital reporting and disclosure. International Organization for Standardization.
6. Wang R. Y., Strong D. M. Beyond Accuracy: What Data Quality Means to Data Consumers // *Journal of Management Information Systems*. 1996. Vol. 12. No. 4. P. 5–33. DOI: 10.1080/07421222.1996.11518099.
7. van der Aalst W. M. P. *Process Mining: Data Science in Action*. 2nd ed. Berlin, Heidelberg: Springer, 2016. 467 p. DOI: 10.1007/978-3-662-49851-4.
8. van der Aalst W. M. P., Santos L. *May I Take Your Order? On the Interplay Between Time and Order in Process Mining*. 2021.
9. ISO 45004:2024. Occupational health and safety management — Guidelines on performance evaluation. International Organization for Standardization.
10. Iain H. J., Polin B., Leigh Sutton K. Specific Onboarding Practices for the Socialization of New Employees // *International Journal of Selection and Assessment*. 2015. Vol. 23. P. 263–283. DOI: 10.1111/ijsa.12113.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.22235437>

УДК 332.1

КВАЛИФИКАЦИОННОЕ ВЫВЕТРИВАНИЕ: ИНЖЕНЕРНАЯ МОДЕЛЬ СОХРАНЕНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ГОТОВНОСТИ РАБОТНИКА

ГЕЛЬМАНОВА ЗОЯ САЛИХОВНА

Профессор, Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

САУЛЬСКИЙ ЮРИЙ НИКОЛАЕВИЧ

Магистр, Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

FAYEZ WAZANI ABDUL WALID

Магистр, Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

THUKU HARRISON

Магистрант, Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

Аннотация. *Кадровый и производственный учёт обычно рассматривает квалификацию работника как относительно устойчивое состояние. После обучения, проверки знаний, присвоения квалификации или оформления допуска сотрудник включается в перечень лиц, способных выполнять определённую работу. Пока срок документа не истёк, организация склонна считать соответствующую компетенцию доступной. Такой подход удобен для формирования графиков, расчёта кадрового резерва и подтверждения соответствия установленным требованиям, но он не учитывает постепенное снижение практической готовности при длительном неприменении навыка.*

В статье вводится авторское понятие квалификационного выветривания — постепенного расхождения между формально подтверждённой квалификацией и фактической способностью работника точно, безопасно и самостоятельно выполнить профессиональное действие в требуемых условиях. Показано, что знания, последовательность операций, скорость, точность, ситуационное видение и координация действий могут изменяться неравномерно. Работник способен правильно пересказать инструкцию и одновременно испытывать затруднения при выполнении редкой практической операции.

Разграничены формальная квалификация, сохранённая компетенция, оперативная готовность и восстанавливаемая готовность. Разработана типология факторов квалификационного выветривания: неприменение навыка, изменение оборудования и технологии, автоматизационная зависимость, контекстуальное несоответствие, интерференция смежных процедур и снижение коллективной сработанности. Предлагается понятие интервала квалификационной тишины — периода между последним подтверждённым практическим применением компетенции и моментом её предполагаемого использования.

Авторская инженерная модель включает картирование критических компетенций, установление эталонного уровня исполнения, регистрацию последнего практического применения, риск-ориентированное определение интервалов повторной проверки, применение тренажёрных и производственных микропрактик, оценку остаточной готовности и реактивацию компетенции до допуска к самостоятельной работе. Предложены индекс профессиональной готовности, коэффициент квалификационной деградации, показатель активного покрытия компетенций и время реактивации.

Научная новизна состоит в переносе внимания с факта прохождения обучения на жизненный цикл сохранения компетенции. Квалификация рассматривается не как бессрочно доступный кадровый ресурс, а как изменяющаяся производственная способность,

ОФ “Международный научно-исследовательский центр “Endless Light in Science”

требующая периодического подтверждения в зависимости от критичности, сложности и частоты применения.

Ключевые слова: инженерия кадровых процессов, квалификационное выветривание, профессиональная готовность, компетенция, сохранение навыков, практический допуск, обучение персонала, кадровый резерв, человеческий контур организации, производственная безопасность.

Организация умеет фиксировать момент появления квалификации. Работник завершил обучение, сдал экзамен, прошёл проверку знаний, получил удостоверение, был допущен к работе. В кадровой системе появляется запись, в реестре — дата, в личном деле — документ. С этого момента сотрудник считается обладателем требуемой компетенции. Значительно хуже организация видит момент, когда квалификация начинает терять практическую силу.

Документ продолжает действовать. Работник помнит назначение оборудования и основные требования безопасности. Его фамилия остаётся в перечне допущенных лиц. Но операция не выполнялась восемь месяцев. За это время изменилась панель управления, была обновлена инструкция, часть действий автоматизирована, а опытный напарник перешёл в другое подразделение. Формально ресурс имеется. В момент реальной потребности выясняется, что перед началом работы сотруднику требуется повторное объяснение, пробный запуск и постоянная помощь более опытного коллеги.

Возникает кадровый парадокс: организация одновременно располагает квалифицированным работником и не располагает готовым исполнителем.

Проблема особенно заметна в отношении редко выполняемых действий. Обычная операция поддерживает компетенцию самим фактом регулярного повторения. Аварийное переключение, спасательная процедура, редкий ремонт, ручное управление резервной установкой, сложная переналадка или восстановление системы после отказа могут не использоваться месяцами. Их редкость является положительным производственным признаком: аварий не было, оборудование работало устойчиво, автоматическая система справлялась. Но чем дольше организация не нуждается в ручной компетенции, тем меньше оснований считать её неизменной.

Исследования сохранения компетенций в профессиях, связанных с безопасностью, показывают, что во многих рассмотренных работах результативность снижалась с течением времени. Среди факторов удержания навыка выделялись качество первоначальной подготовки, последующая практика, повторное обучение, индивидуальные различия и сложность задачи. При этом авторы обзора указывали на ограниченность данных по сложным компетенциям за пределами медицинской сферы. Следовательно, перенос одинакового календарного интервала проверки на все профессии не имеет достаточного научного основания.

ISO 30422:2022 рассматривает обучение и развитие как систему, которая должна отвечать и краткосрочным операционным потребностям, и долгосрочной потребности организации в навыках. Стандарт охватывает формальное и неформальное обучение, однако сам по себе факт организации обучения ещё не подтверждает сохранение способности выполнить работу спустя длительный период.

ISO 10015:2019 предлагает организациям создавать, поддерживать и совершенствовать систему управления компетенциями и развития людей, связывая её с качеством продукции, услуг и ожиданиями заинтересованных сторон. В 2025 году эта редакция была подтверждена как действующая. Такой подход принципиально шире учёта выданных удостоверений: компетенция должна управляться как условие результата, а не только как кадровый реквизит.

Объектом исследования выступает жизненный цикл профессиональной компетенции после её первоначального подтверждения.

Предмет исследования — организационные механизмы, позволяющие обнаруживать, предупреждать и компенсировать снижение готовности работника к выполнению редко используемых профессиональных действий.

Цель статьи состоит в разработке инженерной модели сохранения профессиональной готовности работника. Для достижения цели необходимо раскрыть различие между квалификацией и готовностью, установить механизм квалификационного выветривания, классифицировать компетенции по риску утраты, предложить контур их поддержания и разработать систему диагностических показателей.

Квалификация часто представляется бинарно: она либо есть, либо отсутствует. Работник обучен или не обучен, аттестован или не аттестован, допущен или не допущен. Для юридического и кадрового учёта такое разделение необходимо. Нельзя заменить установленное обучение субъективным утверждением руководителя, что сотрудник «вроде умеет». Однако бинарная запись плохо описывает фактическое состояние профессиональной способности.

Предположим, два работника имеют одинаковые удостоверения и формально допущены к одной операции. Первый выполнял её на прошлой неделе. Второй последний раз выполнял её год назад на оборудовании предыдущей модификации. В реестре они равны. В производственной ситуации их готовность может существенно различаться.

Квалификация подтверждает, что в определённый момент работник достиг установленного уровня. Она не доказывает автоматически, что этот уровень полностью сохранился.

Это не означает, что любой длительный перерыв обязательно уничтожает навык. Некоторые хорошо автоматизированные действия сохраняются долго, другие восстанавливаются после короткой разминки. Новая метааналитическая работа по сохранению процедурных навыков подчёркивает, что оценка деградации должна учитывать особенности задания и показателя: изменения скорости и точности могут идти неодинаково, а повторное обучение нельзя смешивать с чистым сохранением навыка. Профессиональную способность целесообразно разделить на четыре состояния.

Формальная квалификация означает наличие предусмотренного образования, обучения, документа, разряда, аттестации или допуска. Сохранённая компетенция означает, что знания и практические действия остаются доступными работнику после определённого периода. Оперативная готовность означает способность выполнить действие в требуемых производственных условиях без предварительного восстановления навыка.

Восстановимая готовность означает, что работник не готов к немедленному самостоятельному выполнению, но способен восстановить требуемый уровень после краткой практики, инструктажа или тренировки.

Последнее состояние особенно важно. Организация часто ошибочно выбирает между двумя крайностями: считает работника полностью готовым либо направляет его на полное повторное обучение. Между ними существует зона реактивации, когда базовая структура компетенции сохранена, но требуется возвращение скорости, точности и уверенности.

Например, оператор помнит последовательность ручного запуска резервного агрегата, но выполняет её медленно и дважды обращается к инструкции. Для планового тренировочного запуска такое состояние может быть приемлемым под контролем наставника. Для аварийного ввода оборудования, где решение должно приниматься в условиях ограниченного времени, той же готовности недостаточно. Следовательно, готовность определяется не только тем, что человек знает, но и тем, в каких условиях он способен применить это знание.

Таблица 1 — Различие квалификационных состояний работника

Состояние	Что подтверждено	Что остаётся неопределённым	Допустимое применение
-----------	------------------	--------------------------------	--------------------------

Формальная квалификация	Обучение, экзамен, документ или установленный допуск	Сохранение скорости, точности и самостоятельности	Включение в квалификационный реестр
Сохранённая компетенция	Работник воспроизводит знания и процедуру	Работа в реальном темпе и нестандартной ситуации	Практика под контролем либо стандартная операция
Оперативная готовность	Точное и самостоятельное выполнение в целевых условиях	Устойчивость при резко изменённом контексте	Самостоятельная работа в установленной области
Восстановимая готовность	Базовая структура навыка сохранена	Необходимый объём реактивации	Повторная практика до самостоятельного допуска
Утраченная готовность	Отдельные знания могут сохраняться	Целостное безопасное выполнение не подтверждено	Повторное обучение и полная проверка

Под квалификационным выветриванием предлагается понимать постепенное снижение практической доступности профессиональной компетенции вследствие неприменения, изменения условий работы или зависимости от внешних подсказок при формальном сохранении квалификационного статуса.

Метафора выветривания здесь не означает полного исчезновения знаний. Камень не пропадает за один день — меняется его поверхность и структура. С компетенцией происходит сходный процесс: сначала замедляется извлечение нужного действия, затем нарушается последовательность, возрастает опора на подсказки, теряется ситуационная точность. Работник может не замечать изменение, потому что навык проверяется только тогда, когда снова становится нужен. Наиболее опасной является не открытая некомпетентность. Её обычно видно. Опаснее формально подтверждённая способность, реальная готовность которой давно не проверялась.

Утрата готовности не сводится к забыванию инструкции. Профессиональное действие состоит из нескольких компонентов, и каждый из них изменяется по собственной траектории.

Первым может ослабнуть операционное воспроизведение. Работник помнит общий порядок, но пропускает промежуточную проверку, путает положение органа управления или выполняет действия не в той последовательности.

Вторым изменяется временная характеристика. Процедура остаётся правильной, но выполняется медленнее. В обычной ситуации это воспринимается как осторожность. В аварийной — превращается в самостоятельный риск.

Третьим снижается точность распознавания ситуации. Работник знает стандартный сценарий, но хуже различает близкие признаки неисправности и позднее выбирает нужную процедуру.

Четвёртым возрастает зависимость от внешних подсказок. Инструкция, экранная подсказка, чек-лист и помощь коллеги являются нормальными элементами надёжной системы. Проблема возникает, когда организация считает человека готовым к автономному действию, хотя без подсказки он уже не может начать или продолжить работу.

Пятым ослабевает коллективная компетенция. Некоторые действия выполняются не отдельным человеком, а группой: переключение оборудования, спасательная операция, запуск после ремонта, передача управления между сменами. Каждый участник может знать собственную часть, но общая последовательность нарушается из-за несогласованных команд и разных ожиданий.

Систематический обзор критических процедур после симуляционного обучения показал, что большинство включённых исследований фиксировало снижение навыков между первоначальной подготовкой и последующей проверкой. Авторы одновременно указали на ограниченность и неоднородность доказательной базы: небольшие выборки, различающиеся процедуры и высокий риск методических искажений не позволяют назначить единый срок повторной подготовки для всех случаев.

Исследование навыков безопасности и спасения при работах на высоте показало, что редко применяемые сложные процедуры особенно чувствительны к отсутствию ранней повторной практики. Практический смысл этого результата шире конкретной отрасли: календарная действительность удостоверения и фактическая готовность к редкой аварийной операции могут расходиться значительно раньше окончания установленного срока документа. В производственной организации квалификационное выветривание формируется через шесть механизмов.

Первый — чистое неприменение. Навык был изучен, но не использовался.

Второй — технологическое расхождение. Работник обучался на одной версии оборудования, интерфейса или регламента, а применять навык должен в изменившейся системе.

Третий — автоматизационная зависимость. Автоматическая система длительное время выполняет действия вместо человека. Работник контролирует результат, но постепенно теряет способность вести процесс вручную.

Четвёртый — процедурная интерференция. Несколько похожих операций имеют различающиеся шаги. Частое применение одной процедуры начинает влиять на воспроизведение другой.

Пятый — контекстуальное сужение. Навык хорошо выполняется в учебной среде, но не переносится на шум, дефицит времени, ограниченную видимость, защитную одежду или нестандартное положение оборудования.

Шестой — распад совместной практики. Изменился состав команды, и ранее отработанное взаимодействие больше не существует.

Таблица 2 — Механизмы квалификационного выветривания

Механизм	Что сохраняется	Что ослабевает	Производственный пример
Неприменение	Общая логика и терминология	Последовательность, скорость, уверенность	Редкая ручная переналадка
Изменение технологии	Базовый профессиональный принцип	Соответствие новой конфигурации	Обновлённая панель управления
Автоматизационная зависимость	Навык наблюдения за системой	Самостоятельное ручное управление	Работа при отказе автоматики
Процедурная интерференция	Знание похожих операций	Различение критических шагов	Две модификации одного оборудования
Контекстуальное сужение	Выполнение в учебной среде	Перенос в реальные ограничения	Работа в СИЗ и условиях плохой видимости
Распад командной практики	Индивидуальные действия	Координация и общий темп	Аварийная бригада в новом составе
Избыточная подсказка	Узнавание правильного действия	Самостоятельное воспроизведение	Постоянная экранная пошаговая помощь

Для описания времени без практического подтверждения вводится понятие интервала квалификационной тишины: $T_{кт} = t_{тек} - t_{посл}$, где:

$T_{кт}$ — продолжительность периода без подтверждённого применения компетенции; $t_{тек}$ — текущая дата либо дата планируемого допуска; $t_{посл}$ — дата последнего подтверждённого практического выполнения.

Если операция последний раз выполнялась 15 февраля, а работника планируют допустить 15 октября, интервал квалификационной тишины равен восьми месяцам. Сам по себе восьмимесячный интервал ничего не доказывает. Для простой устойчивой операции он может быть допустим. Для сложной аварийной процедуры — чрезмерным. Показатель становится управленчески полезным только вместе с критичностью, сложностью, изменчивостью и первоначальным уровнем освоения. Поэтому квалификационное выветривание нельзя определять только по календарю. Время создаёт вероятность снижения, но фактическое состояние подтверждается выполнением.

Не все компетенции требуют одинакового режима поддержания. Ежемесячная проверка простого действия создаст формальность и лишнюю нагрузку. Проверка редкой критической операции один раз в несколько лет может быть недостаточной. Инженерная задача заключается не в максимальном количестве обучения, а в правильном распределении повторной практики.

Организация обычно строит матрицу компетенций по принципу «требуется — имеется». Для управления сохранностью навыка этого мало. Необходимо добавить характеристики самой компетенции.

Первая характеристика — частота естественного применения. Навык, используемый ежедневно, получает встроенную практику. Редкий навык требует искусственно организованного подтверждения.

Вторая — критичность ошибки. Если неправильное действие легко обнаруживается и исправляется, интервал проверки может быть длиннее. Если одна ошибка создаёт угрозу человеку, оборудованию, качеству или непрерывности процесса, организация должна применять более строгий режим.

Третья — сложность последовательности. Многоэтапная процедура, содержащая условные переходы и диагностические решения, сильнее зависит от практики, чем простое единичное действие.

Четвёртая — зависимость от скорости. Некоторые операции допускают обращение к инструкции. Другие должны выполняться в ограниченное время.

Пятая — изменчивость среды. Если оборудование, программное обеспечение или регламент часто обновляются, компетенция устаревает даже при хорошем сохранении первоначального навыка.

Шестая — доступность поддержки. Работник может выполнять процедуру только в присутствии опытного специалиста. Тогда реальным кадровым ресурсом является не отдельный человек, а их сочетание.

Седьмая — возможность безопасной тренировки. Одни действия можно повторять на действующем оборудовании, другие требуют тренажёра, цифровой симуляции или специально организованного учебного режима.

ISO/TS 30428:2021 описывает группу показателей навыков и возможностей и подчёркивает необходимость осторожной интерпретации данных при выборе внутренних вмешательств. Формальный перечень навыков не должен автоматически превращаться в вывод о производственной обеспеченности без анализа способа измерения.

Для приоритизации предлагается экспертный индекс риска квалификационного выветривания: $R_{кв} = C \times S \times N \times V$, где:

C — критичность последствий ошибки, от 1 до 5;

S — сложность компетенции, от 1 до 5;

N — степень неприменения, от 1 до 5;

V — изменчивость технологии и условий, от 1 до 5.

Максимальное значение:

$$R_{\text{кв max}} = 5 \times 5 \times 5 \times 5 = 625.$$

Например, компетенция со значениями 5, 4, 5 и 3 получает:

$$R_{\text{кв}} = 5 \times 4 \times 5 \times 3 = 300.$$

Шкала не является доказанной вероятностной моделью. Она не показывает, что риск равен 300 условным единицам в физическом смысле. Её задача — обеспечить единый порядок сравнения компетенций и не позволить календарю удостоверения стать единственным критерием.

Таблица 3 — Риск-профили профессиональных компетенций

Профиль	Частота применения	Последствия ошибки	Рекомендуемая логика поддержания
Повседневная устойчивая	Ежедневно или еженедельно	Низкие или контролируемые	Наблюдение по фактической работе
Редкая некритическая	Несколько раз в год	Исправимые последствия	Инструктаж и пробное выполнение перед работой
Редкая критическая	Реже нескольких раз в год	Высокий риск для безопасности или непрерывности	Плановые практические тренировки
Быстро изменяющаяся	Частота может быть высокой	Ошибка связана с обновлением технологии	Проверка после каждого значимого изменения
Командная критическая	Применяется эпизодически группой	Ошибка координации усиливает последствия	Совместные сценарные тренировки
Автоматизационно замещённая	Ручное действие почти не выполняется	Высокий риск при отказе автоматики	Периодический ручной или симуляционный режим
Уникальная персональная	Компетенцией владеют один-два человека	Потеря доступности останавливает процесс	Дублирование, кросс-подготовка и практика резерва

Особого внимания требует формальный кадровый резерв. В списке могут числиться десять работников, имеющих соответствующее удостоверение. После практической проверки выясняется, что двое выполняют операцию регулярно, троим требуется короткая реактивация, а пятеро не применяли навык после обучения. Формальный резерв равен десяти. Оперативный — двум. Такая разница не означает, что остальные восемь бесполезны. Она означает, что организация неправильно называет разные состояния одним словом «допущен».

Традиционный цикл обучения выглядит завершённым после проверки знаний. Инженерная модель начинается именно в этот момент. Организация должна решить, каким образом компетенция будет поддерживаться до следующего реального применения. Предлагаемый контур включает семь этапов.

Первый этап — идентификация компетенции как отдельного управляемого объекта. Название должности для этого недостаточно. Один работник может выполнять десятки

операций с разной частотой и критичностью. Управлять нужно конкретной способностью: ручным запуском агрегата, проведением сложной переналадки, использованием спасательного устройства, диагностикой определённого отказа.

Второй этап — фиксация эталонного исполнения. После обучения сохраняется не только итог «сдано», но и профиль результата: точность, продолжительность, критические ошибки, степень самостоятельности и условия выполнения.

Третий этап — определение режима сохранения. Для каждой компетенции устанавливаются допустимый интервал без практики, форма поддерживающего действия и условия обязательной реактивации. Интервал не должен механически совпадать со сроком действия документа.

Четвёртый этап — регистрация практического контакта с компетенцией. Система фиксирует не присутствие работника на смене, а подтверждённое выполнение соответствующей операции. Наблюдение за работой коллеги и самостоятельное исполнение не должны учитываться одинаково.

Пятый этап — поддерживающая микропрактика. Не каждое обновление требует полноценного многодневного курса. Возможны короткий сценарий, практическая отработка одного критического фрагмента, тренажённое выполнение, разбор ошибки, ручной режим под контролем или командная тренировка.

Шестой этап — проверка оперативной готовности перед критическим применением. Если интервал тишины превышен или условия изменились, работник проходит реактивацию до самостоятельного допуска.

Седьмой этап — пересмотр модели после реального выполнения. Организация анализирует, какие элементы оказались забыты, где потребовалась подсказка, сколько времени заняло восстановление и был ли установленный интервал реалистичным.

Исследования распределённой практики показывают, что разнесённые во времени занятия могут обеспечивать более устойчивое сохранение навыков по сравнению с концентрированным обучением в одной сессии. При этом оптимальный интервал зависит от задачи и не может быть назначен одинаково для всех компетенций.

ISO/TS 30437:2023 рекомендует применять сбалансированный набор показателей обучения, поскольку выбор метрик зависит от цели измерения и пользователя результата. Документ охватывает как формальное, так и неформальное обучение. Это поддерживает переход от простого подсчёта часов обучения к оценке того, какой результат сохраняется и кому он необходим.

Таблица 4 — Контур сохранения профессиональной готовности

Этап	Основной вопрос	Результат	Типичная ошибка
Идентификация	Какую конкретную способность необходимо сохранять?	Реестр критических компетенций	Управление только должностями
Эталон	Как выглядит достаточное исполнение?	Критерии точности, времени и самостоятельности	Оценка только теоретического знания
Режим сохранения	Как быстро может снижаться готовность?	Интервал и форма повторной практики	Один срок для всех навыков
Учёт применения	Когда работник реально выполнял действие?	История практического использования	Присутствие принимается за практику
Микропрактика	Что нужно повторить до заметной деградации?	Короткое поддерживающее действие	Полный курс вместо точечного восстановления

Реактивация	Готов ли работник к самостоятельному выполнению?	Допуск, ограниченный допуск или обучение	Работник допускается только по удостоверению
Пересмотр	Что показало фактическое исполнение?	Обновлённый интервал и сценарий	Ошибки списываются на невнимательность

Практическая модель может предусматривать четыре режима реакции.

Зелёный режим: компетенция применялась недавно, условия не изменились, показатели соответствуют эталону.

Жёлтый режим: интервал увеличился, но критические элементы сохраняются; требуется краткая практика или наблюдаемое выполнение.

Оранжевый режим: превышен установленный интервал, изменилась технология либо возникли ошибки; самостоятельное применение возможно только после реактивации.

Красный режим: целостное выполнение не подтверждено; требуется повторное обучение и новая проверка.

Цвет не должен присваиваться работнику вообще. Один человек может находиться в зелёном состоянии по основной операции и в оранжевом — по редкой аварийной процедуре. Иначе система вновь превратит сложную готовность в один общий статус.

Цифровой контур должен хранить для каждой компетенции: дату первоначального подтверждения; эталонный результат; дату последнего практического выполнения; форму выполнения — самостоятельно, под контролем или в симуляции; изменения технологии после последней практики; текущий риск-профиль; рекомендуемое действие; Система не должна автоматически признавать человека некомпетентным после календарного срока. Она должна формировать сигнал о необходимости проверки. Окончательное решение принимается на основании фактического выполнения и применимых правил.

Квалификационное выветривание трудно измерить одной цифрой. Работник может сохранить точность, но потерять скорость. Может правильно выполнить стандартную последовательность и ошибиться при отклонении. Может успешно пройти повторную проверку после десятиминутной разминки, хотя до неё не был оперативно готов.

Поэтому первая задача измерения — не создать красивый рейтинг, а разделить различные стороны готовности. Предлагается оценивать шесть компонентов: знание условий применения; воспроизведение последовательности; точность выполнения; соблюдение времени; самостоятельность; ситуационное решение при отклонении.

На их основе может рассчитываться индекс профессиональной готовности: $I_{пг} = \sum(w_j \times x_j)$, где: x_j — нормированная оценка компонента готовности; w_j — вес компонента; $\sum w_j = 1$.

Если для аварийной операции наибольшее значение имеют точность и время, им назначаются более высокие веса. Для аналитической процедуры, где допускается обращение к справочной информации, больший вес может иметь правильность решения, а не скорость.

Значения весов нельзя назначать кадровой службой в одиночку. Они должны формироваться владельцем процесса, специалистом по безопасности, обучающей функцией и профессиональными экспертами.

Для оценки изменения вводится коэффициент квалификационной деградации: $K_{кд} = (I_{эт} - I_{тек}) / I_{эт} \times 100\%$, где: $I_{эт}$ — эталонный индекс после подтверждённого освоения; $I_{тек}$ — индекс при текущей проверке.

Если первоначальный индекс составлял 0,92, а текущий — 0,74:

$K_{кд} = (0,92 - 0,74) / 0,92 \times 100\% = 19,57\%$. Это не означает, что работник «утратил 19,57% квалификации» в юридическом или психологическом смысле. Показатель отражает изменение по конкретной методике и конкретной операции. Его нельзя переносить на общую оценку человека.

Для организации предлагается коэффициент активного покрытия критической компетенции: $Кап = Nг / Nт \times 100\%$, где:

$Nг$ — количество работников с подтверждённой оперативной готовностью;

$Nт$ — количество работников, необходимое для устойчивого покрытия смен, отсутствий и производственных сценариев.

Если для устойчивого покрытия требуется восемь работников, а оперативно готовы пять: $Кап = 5 / 8 \times 100\% = 62,5\%$.

Формально допущенных сотрудников может быть двенадцать, но реальное активное покрытие составит 62,5%.

Следующий показатель — время реактивации компетенции:

$Tr = tr - tc$, где: tc — момент появления потребности в восстановлении;

tr — момент подтверждённой готовности. Если сигнал возник 1 сентября, а готовность подтверждена 6 сентября, время реактивации составляет пять дней.

Показатель особенно важен для кадрового резерва. Резерв, который можно привести в готовность через один день, и резерв, которому требуется месячный курс, являются разными ресурсами.

Таблица 5 — Показатели сохранения профессиональной готовности

Показатель	Что измеряет	Практическое применение	Ограничение
Интервал квалификационной тишины	Время с последнего подтверждённого применения	Сигнал для проверки или микропрактики	Не доказывает фактическую утрату
Индекс профессиональной готовности	Совокупность ключевых компонентов исполнения	Решение о самостоятельном допуске	Зависит от весов и качества оценки
Коэффициент деградации	Изменение относительно эталонного результата	Определение объёма реактивации	Нельзя трактовать как общую оценку работника
Активное покрытие	Реально готовый кадровый ресурс	Планирование смен и резервов	Требует актуальной практической проверки
Время реактивации	Скорость восстановления навыка	Проектирование кадрового резерва	Зависит от доступности тренажёров и наставников
Доля компетенций с превышенным интервалом	Масштаб потенциального выветривания	План поддерживающих мероприятий	Рост может отражать улучшение учёта
Частота критических подсказок	Зависимость от внешней помощи	Пересмотр обучения и интерфейса	Подсказка не всегда является ошибкой

Система показателей создаёт несколько управленческих рисков.

Первый — превращение проверки в наказание. Если снижение результата автоматически ухудшает оценку работника, сотрудники будут избегать добровольного признания затруднений. Организация получит красивые записи и скрытую неготовность.

Второй — подмена реальной работы тестом. Навык можно натренировать под известный сценарий проверки и не уметь применять при изменении условий.

Третий — избыточное обучение. Стремление поддерживать все компетенции на максимальном уровне потребует времени, инструкторов и остановок производства. Необходимо различать навыки, которые должны быть доступны немедленно, и навыки, которые допустимо реактивировать перед плановым применением.

Четвёртый — сохранение ненужных компетенций. Если операция устранена технологически и больше не входит в резервный сценарий, организация не обязана бесконечно поддерживать старый навык только потому, что когда-то вложилась в обучение.

Пятый — ложная индивидуализация проблемы. Снижение готовности может быть вызвано не памятью работника, а изменением оборудования, неудобной инструкцией, отсутствием тренажёра или тем, что организация годами не создавала возможности практики.

Человек не обязан самостоятельно сохранять навык, который организация запрещает применять, не предоставляет оборудование для тренировки и вспоминает о нём только в аварийной ситуации.

Квалификация имеет дату возникновения, но не имеет гарантированной неизменности. После обучения профессиональная способность продолжает жить: укрепляется в регулярной работе, изменяется вместе с технологией, ослабевает при неприменении и иногда сохраняется лишь в форме общей памяти о том, как действие когда-то выполнялось.

Основное противоречие исследования состоит в расхождении между кадровым статусом и производственной готовностью. Формальная система отвечает на вопрос, имеет ли работник установленное основание выполнять работу. Производственная система нуждается в другом ответе: способен ли он выполнить её сегодня, в требуемом темпе, без критической ошибки и в конкретных условиях.

Научный вклад статьи заключается во введении понятия квалификационного выветривания и разделении формальной квалификации, сохранённой компетенции, оперативной и восстановимой готовности. Предложены интервал квалификационной тишины, риск-профиль компетенции и контур её поддержания после первоначального обучения.

Авторская модель отказывается от двух упрощений. Первое состоит в предположении, что действующий документ автоматически подтверждает практическую готовность. Второе — в убеждении, что любой длительный перерыв требует полного повторного курса. Между ними находится инженерно управляемая зона: наблюдение, микропрактика, реактивация и дифференцированный допуск.

Предлагаемые показатели позволяют отделить формальный кадровый резерв от активного. Список из десяти обученных работников не равен десяти исполнителям, готовым немедленно выйти на редкую операцию. Одни сохраняют навык, другим требуется короткая разминка, третьим — повторное обучение. Пока эти состояния не разделены, резерв существует преимущественно в отчётности.

Ограничение исследования связано с невозможностью установить универсальную кривую квалификационного выветривания. Разные навыки сохраняются неодинаково. На готовность влияют первоначальное освоение, сложность, возраст опыта, частота практики, качество подсказок, изменения технологии и контекст проверки. Поэтому единый календарный срок для всех компетенций создаст не управление, а очередную формальность.

Второе ограничение связано с доступностью достоверного эталона. Если первоначальная проверка была поверхностной, последующее сравнение с ней не покажет реальной деградации. Слабый исходный результат может выглядеть устойчивым просто потому, что работник изначально не достиг требуемого уровня.

Дальнейшее исследование следует направить на эмпирическое наблюдение за конкретными производственными компетенциями. Для каждой операции необходимо сопоставить период без применения, изменения точности и времени, объём повторной практики, влияние автоматизации и скорость восстановления. Это позволит отказаться от формального единого интервала и перейти к риск-ориентированным циклам поддержания.

Итоговая авторская позиция состоит в следующем: обучение создаёт компетенцию, но только практика сохраняет её доступной. Организация, которая учитывает удостоверения и не учитывает последнее реальное выполнение, знает историю подготовки персонала, но ещё не знает собственную готовность к работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. ISO 30422:2022. Human resource management — Learning and development. Geneva: International Organization for Standardization, 2022.
2. ISO/TS 30428:2021. Human resource management — Skills and capabilities metrics cluster. Geneva: International Organization for Standardization, 2021.
3. ISO/TS 30437:2023. Human resource management — Learning and development metrics. Geneva: International Organization for Standardization, 2023.
4. ISO 10015:2019. Quality management — Guidelines for competence management and people development. Geneva: International Organization for Standardization, 2019.
5. Vlasblom J. I. D., Pennings H. J. M., van der Pal J., Oprins E. A. P. B. Competence retention in safety-critical professions: A systematic literature review // Educational Research Review. 2020. Vol. 30. Article 100330. DOI: 10.1016/j.edurev.2020.100330.
6. Tatel C. E., Ackerman P. L. Procedural skill retention and decay: A meta-analytic review // Psychological Bulletin. 2025. DOI: 10.1037/bul0000481.
7. Legoux C., Gerein R., Boutis K., Barrowman N., Plint A. Retention of critical procedural skills after simulation training: A systematic review // AEM Education and Training. 2021. Vol. 5. No. 3. Article e10536. DOI: 10.1002/aet2.10536.
8. Lawani K., Hare B., Cameron I. Integrating early refresher practice in height safety and rescue training // Safety Science. 2018. Vol. 110.
9. Cecilio-Fernandes D., Cnossen F., Jaarsma D. A. D. C., Tio R. A. Avoiding surgical skill decay: A systematic review on the spacing of training sessions // Journal of Surgical Education. 2018. Vol. 75. No. 2.
10. Arthur W. Jr., Bennett W. Jr., Stanush P. L., McNelly T. L. Factors that influence skill decay and retention: A quantitative review and analysis // Human Performance. 1998. Vol. 11. No. 1. P. 57–101.
11. Schmidt R. A., Bjork R. A. New conceptualizations of practice: Common principles in three paradigms suggest new concepts for training // Psychological Science. 1992. Vol. 3. No. 4. P. 207–217.
12. Cepeda N. J., Pashler H., Vul E., Wixted J. T., Rohrer D. Distributed practice in verbal recall tasks: A review and quantitative synthesis // Psychological Bulletin. 2006. Vol. 132. No. 3. P. 354–380.
13. Salas E., Tannenbaum S. I., Kraiger K., Smith-Jentsch K. A. The science of training and development in organizations: What matters in practice // Psychological Science in the Public Interest. 2012. Vol. 13. No. 2. P. 74–101.
14. Bell B. S., Tannenbaum S. I., Ford J. K., Noe R. A., Kraiger K. 100 years of training and development research: What we know and where we should go // Journal of Applied Psychology. 2017. Vol. 102. No. 3. P. 305–323.
15. Kraiger K., Ford J. K., Salas E. Application of cognitive, skill-based, and affective theories of learning outcomes to new methods of training evaluation // Journal of Applied Psychology. 1993. Vol. 78. No. 2. P. 311–328.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.22235535>

УДК 332.1

**КАРТА ОШИБОК ОБУЧАЮЩЕГОСЯ КАК ДИНАМИЧЕСКИЙ
ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ ПРОФИЛЬ: МОДЕЛЬ ДИАГНОСТИКИ И
ИНДИВИДУАЛИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ТРАЕКТОРИИ**

ГЕЛЬМАНОВА ЗОЯ САЛИХОВНА

Профессор, Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

САУЛЬСКИЙ ЮРИЙ НИКОЛАЕВИЧ

Магистр, Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

САУЛЬСКАЯ ОЛЬГА АНАТОЛЬЕВНА

Модератор, ОШ № 11, Темиртау, Казахстан

FAYEZ WAZANI ABDUL WALID

Магистр, Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

THUKU HARRISON

Магистрант, Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

Аннотация. Цифровая образовательная среда позволяет фиксировать всё больше данных о действиях обучающегося, однако увеличение объёма данных не означает соответствующего роста педагогического понимания. Тестовая система способна точно установить количество правильных и неправильных ответов, время выполнения задания и итоговый балл, но значительно реже отвечает на более существенный вопрос: почему конкретная ошибка возникла, насколько она устойчива, при каком педагогическом воздействии исчезает и не возвращается ли спустя некоторое время. В результате ошибка нередко остаётся единичным фактом контроля, хотя фактически может отражать устойчивую структуру неправильного понимания.

В статье предлагается модель динамической карты ошибок обучающегося, в которой единицей педагогической диагностики становится не итоговая оценка, а ошибочное действие, рассматриваемое во времени. Вводятся понятия «след ошибки», «устойчивость коррекции», «восстановленная ошибка» и «ошибочный профиль обучающегося». Предлагается классификация ошибок, связывающая различные механизмы их возникновения с различными педагогическими воздействиями. Обосновывается принципиальное различие между исправленным ответом и устойчиво перестроенным знанием. Сформирована архитектура цифровой карты ошибок и предложены показатели для оценки повторяемости и устойчивости коррекции. Искусственный интеллект рассматривается не как автономный субъект педагогического решения, а как аналитический инструмент выявления повторяющихся ошибочных паттернов. Представлена схема последующей экспериментальной апробации модели. Ограничением предлагаемого подхода является необходимость содержательной интерпретации ошибок педагогом: статистическое повторение неправильных ответов само по себе ещё не раскрывает их когнитивную причину.

Ключевые слова: педагогическая диагностика, ошибка обучающегося, карта ошибок, индивидуализация обучения, цифровой педагогический профиль, искусственный интеллект в образовании, обратная связь, knowledge tracing, образовательная аналитика, устойчивость знания.

Педагогическая практика давно научилась измерять результат обучения. Значительно труднее оказалось измерять само изменение знания. После тестирования преподаватель
ОФ “Международный научно-исследовательский центр “Endless Light in Science”

получает привычный набор показателей: 72 % правильных ответов, семь ошибок, итоговая оценка, иногда — распределение результатов по темам. Цифровая платформа делает эту картину ещё подробнее: она добавляет продолжительность ответа, количество попыток, последовательность действий. Однако увеличение числа измеряемых параметров не устраняет основного ограничения. Между фиксацией ошибки и пониманием её педагогического механизма остаётся разрыв.

Исследования обратной связи показывают, что её образовательный эффект зависит не только от факта сообщения обучающемуся о правильности или неправильности ответа, но и от содержания, уровня и способа последующей работы с результатом [1]. Исследования обучения на ошибках, в свою очередь, позволяют рассматривать ошибочный ответ не исключительно как нежелательный результат, а как потенциально продуктивный эпизод обучения при наличии последующей коррекции [2].

Отсюда возникает противоречие. Ошибка содержит педагогическую информацию, но существующая система оценивания чаще всего уничтожает значительную часть этой информации в момент её агрегирования в итоговый балл.

Ответы «7 из 10» и «7 из 10» могут обозначать совершенно разные образовательные состояния. Один обучающийся допустил три случайные ошибки в разных темах и больше их не повторяет. Второй систематически ошибается при использовании одного фундаментального понятия. Итоговый результат совпадает. Педагогический диагноз — нет.

Развитие моделей knowledge tracing частично решает проблему динамического представления знания. Их задача состоит в моделировании изменяющегося состояния знаний на основании последовательности взаимодействий обучающегося с заданиями; позднее для этой цели были предложены и глубокие нейросетевые модели [3; 4]. Однако прогноз вероятности последующего правильного ответа и педагогическое объяснение природы конкретной ошибки — не одно и то же.

Поэтому в статье предлагается иной уровень анализа: не только отслеживать, что человек знает, но и сохранять историю того, как именно он ошибается.

Цель исследования — разработать концептуальную модель динамической карты ошибок обучающегося как инструмента педагогической диагностики и индивидуализации образовательной траектории.

Для достижения цели решаются следующие задачи: переосмыслить ошибку как динамический объект педагогического анализа; сформировать типологию ошибок; предложить структуру их цифрового представления; определить показатели устойчивости коррекции; сформировать механизм выбора педагогического воздействия и схему последующей экспериментальной проверки модели.

В традиционной логике контроля ошибка существует очень короткое время. Обучающийся отвечает неправильно, система фиксирует ноль баллов, преподаватель объясняет правильный вариант — и образовательный процесс движется дальше. Для журнала эта ошибка закончилась. Для мышления обучающегося она могла только начаться. Именно здесь проходит граница между контролем и диагностикой.

Неправильный ответ сообщает, что требуемое действие не было выполнено. Но он ещё не раскрывает механизм произошедшего. Человек мог не знать необходимого правила. Мог знать, но неверно понять. Мог правильно воспроизвести определение и не суметь применить его в другой ситуации. Наконец, он мог полностью владеть материалом и ошибиться вследствие невнимательности. Одинаковая внешняя ошибка поэтому способна иметь разную внутреннюю природу.

Исследования обратной связи также указывают на необходимость выхода за пределы простой информации о результате: содержательная обратная связь должна помогать обучающемуся понимать текущее состояние выполнения задачи и последующее направление работы [1].

В предлагаемой модели минимальной единицей анализа становится ошибочное педагогическое событие (ОПС) — зафиксированное расхождение между требуемым и фактическим действием обучающегося, рассматриваемое вместе с условиями возникновения, последующей коррекцией и результатом повторной проверки. Ошибка перестаёт быть точкой. Она становится процессом.

Предлагается описывать его следующей цепочкой: Задание → ошибочное действие → классификация ошибки → педагогическое воздействие → повторная попытка → отсроченная проверка → состояние ошибки.

Последний элемент принципиален. Ошибка может находиться как минимум в четырёх состояниях: активная — продолжает воспроизводиться; оперативно исправленная — после объяснения получен правильный ответ; устойчиво исправленная — правильное действие воспроизводится спустя определённый интервал и в изменённой задаче; восстановленная — ранее исправленная ошибка появляется снова. Отсюда вводится понятие следа ошибки. Под следом ошибки предлагается понимать упорядоченную во времени совокупность событий, отражающих возникновение ошибки, способы её коррекции и последующее состояние соответствующего знания(таблица1).

Таблица 1 - показывает отличие предлагаемой модели от обычной фиксации результатов:

Параметр	Традиционный контроль	Динамическая карта ошибок
Основной объект	Ответ	Ошибочное событие
Результат	Правильно / неправильно	Тип и история ошибки
Временная перспектива	Текущая попытка	Последовательность попыток
Коррекция	Обычно завершает ошибку	Является отдельным этапом
Повторная ошибка	Новый независимый случай	Продолжение предыдущего следа
Основной вопрос	Сколько ошибок?	Почему ошибка возникает и исчезла ли она?
Педагогический результат	Оценка	Диагностическое решение

Такое изменение единицы анализа кажется небольшим, но последствия существенны. Если хранить отдельные неправильные ответы, получается журнал ошибок. Если связывать их во времени, возникает диагностическая модель развития знания.

Наиболее слабое место массовой персонализации обучения заключается в том, что персонализируется преимущественно количество воздействия, а не его природа. Обучающийся ошибся — ему дают ещё одно объяснение. Ошибся снова — ещё одно. Третья ошибка увеличивает объём помощи, хотя причина затруднения могла изначально требовать совершенно другого действия. Больше объяснять — не всегда значит лучше обучать. Предлагаемая модель исходит из принципа диагностической неоднородности ошибки: одинаковый неправильный результат не должен автоматически приводить к одинаковому педагогическому решению. Для практического применения предлагается семь базовых типов.

Дефицит знания возникает, когда необходимое понятие, правило или процедура фактически отсутствует в доступном знании обучающегося. Ошибка понимания появляется тогда, когда информация известна формально, но смысловые связи построены неверно. Ошибка различения характерна для смешения близких понятий, категорий или условий. Ошибка переноса возникает, когда знание воспроизводится в исходном контексте, но не применяется в изменённой практической ситуации. Процедурная ошибка связана не столько с отсутствием знания, сколько с нарушением последовательности действий. Устойчивая

ошибка воспроизводится после одного или нескольких корректирующих воздействий. Восстановленная ошибка возвращается после периода правильного выполнения.

Отдельно должна фиксироваться предполагаемая случайная ошибка, однако относить ответ к этой категории на основании одной попытки методологически опасно. Здесь необходимо повторное наблюдение. Предлагаемая связь типа ошибки и педагогического действия представлена в таблице 2:

Тип ошибки	Возможный механизм	Недостаточное действие преподавателя	Предпочтительное педагогическое воздействие
Дефицит знания	материал не освоен	просто повторить тест	объяснение и первичное освоение
Ошибка понимания	сформирована неверная смысловая модель	ещё раз дать то же определение	альтернативное объяснение, контрпример
Ошибка различения	смешение близких категорий	увеличение числа однотипных вопросов	сравнительная задача
Ошибка переноса	знание привязано к исходной ситуации	повторение теории	новая практическая ситуация
Процедурная	нарушен алгоритм	сообщение правильного ответа	пошаговое восстановление процедуры
Устойчивая	предыдущая коррекция не перестроила знание	повтор того же воздействия	смена педагогической стратегии
Восстановленная	коррекция оказалась нестабильной	считать тему закрытой	интервальное возвращение и новая проверка

Важное ограничение необходимо обозначить сразу. Такая классификация не позволяет автоматически установить когнитивную причину ошибки только по цифровому следу. Повторение неправильного ответа является наблюдаемым фактом. Причина его повторения — уже педагогическая гипотеза. И здесь роль преподавателя не исчезает. Напротив, чем сложнее становится образовательная аналитика, тем важнее отделять распознавание паттерна от интерпретации паттерна.

Искусственный интеллект может обнаружить, что обучающийся пять раз ошибался при переносе правила в изменённые условия. Но вывод о том, что причиной является недостаточно сформированная способность переноса, должен проверяться дополнительным заданием, объяснением обучающегося или профессиональной оценкой педагога. Такая осторожность защищает модель от ложной точности.

Одно из наиболее спорных мест традиционной проверки знания возникает сразу после обратной связи. Обучающийся ответил неправильно. Преподаватель объяснил материал. Через минуту тот же обучающийся ответил правильно. Что именно произошло? Возможны по крайней мере три варианта. Человек действительно перестроил понимание. Он запомнил только что сообщённый ответ. Либо он научился узнавать правильный вариант в конкретной формулировке, не освоив сам принцип. Наблюдаемый правильный ответ одинаков. Состояние знания различается.

Исследования retrieval practice и обратной связи показывают, что повторное извлечение знания и характер предоставляемой обратной связи связаны с последующим удержанием материала, причём исследуется и различие между немедленной и отсроченной обратной связью [5]. Это усиливает аргумент в пользу того, что оценка коррекции не должна

ограничиваться непосредственной повторной попыткой. Поэтому предлагается различать оперативную коррекцию и устойчивую коррекцию.

Оперативная коррекция фиксируется, если непосредственно после педагогического воздействия обучающийся выполняет соответствующее действие правильно.

Устойчивая коррекция требует более жёсткого критерия: спустя установленный период обучающийся должен правильно $K_{ук} = N_y / N_i \times 100 \%$, где: $K_{ук}$ — коэффициент устойчивости коррекции; N_y — количество ранее исправленных ошибок, не воспроизведённых при отсроченной проверке; N_i — общее решить содержательно эквивалентную, но не идентичную задачу без воспроизведения прежней ошибки. Для оценки предлагается коэффициент устойчивости коррекции: количество ошибок, считавшихся исправленными.

Например, если 24 ошибки были оперативно исправлены, а при отсроченной проверке 18 из них не воспроизвелись: $K_{ук} = 18 / 24 \times 100 \% = 75 \%$. Оставшиеся 25 % нельзя автоматически назвать полностью неусвоенным материалом. Однако они показывают, что первоначальная коррекция не продемонстрировала устойчивость по принятому критерию. Второй показатель — коэффициент восстановления ошибки: $K_{во} = N_v / N_i \times 100 \%$, где N_v — число ранее исправленных ошибок, вновь возникших при последующих проверках. Эти показатели не предлагается использовать как универсальные нормативы. Значение 75 % само по себе не является ни «хорошим», ни «плохим», пока не определены предметная область, сложность заданий, интервалы проверки и характеристики обучающейся группы.

Именно поэтому формулы здесь нужны не для создания иллюзии математической точности, а для разделения разных состояний педагогического процесса. Таблица 3 показывает возможный жизненный цикл конкретной ошибки:

Этап	Наблюдаемое событие	Состояние
1	обучающийся дал неправильный ответ	ошибка обнаружена
2	преподаватель определил вероятный тип	сформирована диагностическая гипотеза
3	дано корректирующее задание	начата коррекция
4	выполнена повторная задача	оперативная коррекция
5	через заданный интервал дана новая ситуация	проверка устойчивости
6А	ошибка не повторилась	устойчиво исправлена
6Б	ошибка повторилась	восстановленная / устойчивая
7	изменён способ педагогического воздействия	новый цикл коррекции

Возникает важный сдвиг: единицей успеха становится не получение правильного ответа после подсказки, а исчезновение ошибочного способа действия в последующих релевантных ситуациях. Это более строгий критерий. Но именно поэтому он педагогически содержательнее.

Если каждый ошибочный эпизод рассматривается отдельно, педагог быстро сталкивается с информационной перегрузкой. При двадцати обучающихся и нескольких десятках заданий ручное отслеживание следов ошибок становится практически невозможным. Поэтому предлагаемая концепция требует цифрового слоя.

Однако здесь появляется второе противоречие. Чем сложнее становится цифровая модель обучающегося, тем выше риск превратить живой образовательный процесс в массив плохо интерпретируемых показателей. Следовательно, цифровая карта должна сохранять только те данные, которые способны изменить педагогическое решение. Предлагается описывать отдельную ошибку в виде: $e = (C, T, F, I, R, S)$, где: C — содержательная область ошибки; T — предполагаемый тип; F — частота возникновения; I — применённое педагогическое воздействие; R — результат коррекции; S — состояние при последующей проверке. Тогда ошибочный профиль i -го обучающегося может быть представлен как

совокупность связанных ошибочных событий: $EP_i = \{e_1, e_2, \dots, e\}$. Но сама совокупность ещё не образует полноценную карту. Необходимо установить отношения между ошибками.

Например, пять неправильных ответов могут на первый взгляд относиться к пяти заданиям, но фактически происходят из одного базового непонимания. В этом случае цифровая система должна по возможности группировать их вокруг общего содержательного узла. Получается структура: понятие $\rightarrow$ проявления ошибки $\rightarrow$ педагогические воздействия $\rightarrow$ результаты коррекции $\rightarrow$ повторные проявления. Таблица 4 показывает пример фрагмента такой карты:

Содержательный узел	Наблюдаемая ошибка	Частота	Предполагаемый тип	Воздействие	Повторная проверка	Статус
Понятие А	смещение А и В	4	различение	сравнительная таблица	правильно	исправлена
Понятие А	смещение А и В	1 спуск 21 день	восстановленная	ситуационная задача	правильно	под наблюдением
Алгоритм С	пропуск второго этапа	3	процедурная	пошаговая практика	правильно	устойчивая коррекция
Правило D	теория воспроизводится, практическая задача неверна	5	перенос	кейсовая задача	2 ошибки из 3	активная

Именно здесь появляется возможность содержательного применения искусственного интеллекта. ИИ может использоваться для обнаружения повторяющихся последовательностей, кластеризации сходных ошибок, поиска связи между типом педагогического воздействия и последующей результативностью, а также для формирования преподавателю диагностических сигналов.

Например: «У обучающегося систематически сохраняются ошибки при переносе правила D в новую ситуацию. Простое текстовое объяснение использовалось трижды и не сопровождалось устойчивой коррекцией».

Это принципиально иной уровень сообщения, чем: «Успеваемость по теме D — 68 %». Однако автоматизированная рекомендация не должна превращаться в окончательный диагноз. Современные методы knowledge tracing демонстрируют возможности динамического моделирования состояния знаний [3; 4], но даже высокая точность прогнозирования следующего ответа не доказывает правильность объяснения причин поведения конкретного человека.

Поэтому предлагается разделение ответственности: ИИ обнаруживает $\rightarrow$ педагог интерпретирует $\rightarrow$ система проверяет $\rightarrow$ педагог принимает решение.

Такой контур сохраняет технологическую масштабируемость, не передавая педагогическую ответственность непрозрачному алгоритму.

Персонализация образования часто понимается как предоставление разным обучающимся разных материалов. Но сама по себе вариативность контента ещё не означает индивидуализации.

Если система каждому человеку предлагает больше того материала, в котором он чаще ошибается, она фактически персонализирует объём повторения. Это полезно, но недостаточно. Предлагаемый подход изменяет объект персонализации. Индивидуализироваться должна не только последовательность содержания, но и характер педагогической реакции на тип и историю ошибки. У одного обучающегося новая ошибка требует объяснения. У другого та же внешне ошибка после четырёх аналогичных коррекций означает, что прежний способ объяснения исчерпал себя.

У третьего проблема появляется только через несколько недель, поэтому основным воздействием становится не дополнительное объяснение сейчас, а запланированное возвращение к содержательному узлу позднее. Так возникает принцип педагогического маршрута по ошибкам. Его можно представить следующим циклом: выявление → классификация → выбор воздействия → коррекция → отсроченная проверка → обновление профиля → следующий педагогический выбор. Таблица 5 сопоставляет обычную и предлагаемую индивидуализацию:

Ситуация	Обычная адаптация	Адаптация по карте ошибок
Первая ошибка	повтор материала	первичная диагностика
Повторная ошибка	ещё одно объяснение	проверка типа ошибки
Ошибка после объяснения	дополнительная тренировка	смена педагогического воздействия
Правильный ответ после подсказки	тема считается освоенной	планируется отсроченная проверка
Возврат ошибки	новая ошибка	восстановление прежнего следа
Несколько разных ошибок	снижение общего результата	поиск общего содержательного узла
Работа ИИ	подбор следующего задания	обнаружение ошибочного паттерна

Для проверки результативности модели необходима экспериментальная апробация. В данной статье результаты такого эксперимента не приводятся, поскольку фактическое исследование должно предшествовать статистическим выводам, а не подменяться модельными цифрами.

Предлагаемый дизайн может включать две сопоставимые группы обучающихся. В контрольной группе используется обычная система тестирования и обратной связи. В экспериментальной группе формируется динамическая карта ошибок с классификацией, подбором педагогического воздействия и отсроченными проверками.

Первичный результат обеих групп желательно измерять одинаковыми инструментами. Однако основной интерес должен представлять не краткосрочный рост тестового балла, а различие через определённые интервалы времени. Возможные показатели: доля повторных ошибок; коэффициент устойчивости коррекции; доля восстановленных ошибок; перенос освоенного действия на изменённые задачи; количество корректирующих воздействий до устойчивого результата; время преподавателя, необходимое для диагностики и коррекции.

Методологически особенно важно не смешивать корреляцию с причинностью. Если обучающиеся с более высоким коэффициентом устойчивости коррекции имеют и более высокую итоговую успеваемость, одной этой связи недостаточно, чтобы утверждать, что именно карта ошибок вызвала улучшение результата. Для причинного вывода потребуется корректный экспериментальный или квазиэкспериментальный дизайн, сопоставимость групп и контроль значимых факторов. Есть и более фундаментальное ограничение.

Не вся ошибка должна быть устранена немедленно. В некоторых образовательных конструкциях первоначальное затруднение и неудачная попытка сами становятся частью обучения. Исследования обучения на ошибках и подходы, использующие продуктивное затруднение, показывают, что ошибочное действие может выполнять конструктивную

функцию при правильно организованной последующей работе [2]. Поэтому задача динамической карты — не создать образовательную среду без ошибок. Наоборот. Её задача — не позволять педагогически значимой ошибке исчезнуть бесследно.

Цифровое образование научилось хранить результаты обучения быстрее, чем научилось понимать их педагогический смысл. Из этой асимметрии возникает достаточно странная ситуация: система может располагать тысячами записей о действиях обучающегося и при этом отвечать преимущественно на вопрос о том, сколько заданий он выполнил правильно.

Предлагаемая модель динамической карты ошибок меняет точку наблюдения. Ошибка рассматривается не как отрицательная единица результата и не как основание для наказания оценкой, а как событие, имеющее происхождение, продолжительность, реакцию на педагогическое воздействие и последующую судьбу. Научная идея работы состоит в объединении четырёх элементов: типологии ошибочного действия, его временного следа, устойчивости коррекции и механизма выбора последующего педагогического воздействия.

Отсюда следует несколько выводов. Во-первых, количество ошибок является слишком грубым показателем для индивидуальной диагностики. Педагогически значима их структура. Во-вторых, правильный ответ после объяснения не следует автоматически отождествлять с устойчивым освоением знания. В-третьих, повторная ошибка должна рассматриваться не всегда как новое событие, а в ряде случаев как продолжение ранее возникшего ошибочного следа.

В-четвёртых, искусственный интеллект наиболее продуктивен в этой модели не в роли «электронного преподавателя», выдающего готовое объяснение, а как аналитическая система, способная обнаруживать закономерности в последовательности действий человека. И наконец, индивидуализация обучения приобретает иной смысл. Она начинается не тогда, когда каждому обучающемуся показывают разный контент, а тогда, когда одинаковый внешний результат способен вызвать разное педагогическое решение в зависимости от его происхождения и истории. Предлагаемый подход имеет ограничения. Тип ошибки не всегда может быть достоверно установлен автоматически. Содержание учебной дисциплины влияет на применимость отдельных категорий. Интервалы отсроченной проверки требуют предметной настройки. Предложенные коэффициенты пока являются модельными показателями и нуждаются в проверке надёжности и диагностической валидности. Поэтому следующим этапом исследования должна стать не дальнейшая теоретическая детализация модели, а её экспериментальная проверка. Особый интерес представляет сопоставление обычного адаптивного тестирования с обучением, в котором система учитывает не только вероятность следующего правильного ответа, но и историю возникновения, коррекции и восстановления ошибок. Именно здесь карта ошибок может перестать быть красивой аналитической конструкцией и стать реальным педагогическим инструментом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hattie J., Timperley H. The Power of Feedback // Review of Educational Research. 2007. Vol. 77, No. 1. P. 81–112. DOI: 10.3102/003465430298487.
2. Metcalfe J. Learning from Errors // Annual Review of Psychology. 2017. Vol. 68. P. 465–489. DOI: 10.1146/annurev-psych-010416-044022.
3. Corbett A. T., Anderson J. R. Knowledge Tracing: Modeling the Acquisition of Procedural Knowledge // User Modeling and User-Adapted Interaction. 1995. Vol. 4. P. 253–278. Библиографические данные работы подтверждаются современной литературой по knowledge tracing.
4. Piech C., Bassen J., Huang J., Ganguli S., Sahami M., Guibas L. J., Sohl-Dickstein J. Deep Knowledge Tracing // Advances in Neural Information Processing Systems. 2015. Vol. 28. P. 505–513.
5. Aljabri S. et al. Timing of feedback and retrieval practice: a laboratory study on immediate and delayed feedback and long-term retention // Humanities and Social Sciences Communications. 2024.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.22235742>

УДК 332.1

ИНЖЕНЕРИЯ ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ ОПОРЫ: МОДЕЛЬ УПРАВЛЯЕМОГО СНЯТИЯ ПОМОЩИ И ПЕРЕДАЧИ УЧЕБНОГО ДЕЙСТВИЯ ОБУЧАЮЩЕМУСЯ

ГЕЛЬМАНОВА ЗОЯ САЛИХОВНА

Профессор, Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

САУЛЬСКИЙ ЮРИЙ НИКОЛАЕВИЧ

Магистр, Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

САУЛЬСКАЯ ОЛЬГА АНАТОЛЬЕВНА

Модератор, ОШ № 11, Темиртау, Казахстан

FAYEZ WAZANI ABDUL WALID

Магистр, Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

THUKU HARRISON

Магистрант, Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

Аннотация. Педагогическая помощь традиционно рассматривается как положительный ресурс образовательного процесса: обучающемуся объясняют непонятное, предлагают пример, подсказку, алгоритм, образец решения или дополнительное сопровождение. Однако сама доступность помощи ещё не гарантирует формирования самостоятельного действия. Возникает противоречие: поддержка способна повысить текущую успешность выполнения задания и одновременно задержать момент, когда обучающийся начинает выполнять то же действие без внешней опоры. Это противоречие становится особенно заметным в цифровом образовании и при использовании генеративного искусственного интеллекта, где помощь может быть практически непрерывной.

В статье предлагается рассматривать педагогическую поддержку как временно подключаемую внешнюю систему, которая должна не только обеспечивать выполнение действия, но и проектироваться с учётом последующего отключения. Вводятся понятия «педагогическая опора», «точка снятия опоры», «педагогический переход», «остаточная зависимость от опоры» и «контур передачи самостоятельности». Разрабатывается уровневая модель помощи от полного сопровождения до автономного выполнения, предлагаются показатели автономизации и остаточной зависимости, а также алгоритм принятия решения о сохранении, снижении или возвращении педагогической поддержки. Искусственный интеллект рассматривается как управляемый элемент педагогической опоры, а не как постоянно доступный поставщик решений. Предлагается схема экспериментальной проверки модели. Научная позиция состоит в том, что результативность педагогической помощи следует оценивать не только по тому, насколько успешно обучающийся действует при её наличии, но прежде всего по тому, что остаётся после её удаления.

Ключевые слова: инженерия педагогики, педагогическая опора, scaffolding, fading, самостоятельность обучения, педагогический переход, искусственный интеллект в образовании, адаптивное обучение, помощь обучающемуся, образовательная аналитика.

Педагогика хорошо знает, как помочь обучающемуся начать действие. Значительно меньше внимания обычно уделяется тому, как эту помощь закончить. Преподаватель объясняет. Показывает пример. Уточняет последовательность действий. Исправляет ошибку. Даёт подсказку. Современная цифровая система способна делать то же самое практически

мгновенно, а генеративный искусственный интеллект снимает ещё одно ограничение: обучающийся получает помощь не только тогда, когда педагог считает её необходимой, но и в любой момент, когда сам решает к ней обратиться. На первый взгляд образовательная система становится сильнее. Но именно здесь возникает инженерная проблема.

Если некоторый элемент конструкции временно удерживается внешней опорой, задача инженера состоит не только в том, чтобы обеспечить устойчивость конструкции во время монтажа. Необходимо понимать, когда конструкция уже способна удерживать себя сама. В обучении ситуация во многом аналогична. Педагогическая поддержка имеет смысл не потому, что позволяет выполнить конкретное задание сегодня, а потому, что должна сделать эту поддержку ненужной завтра.

Идея временной поддержки имеет глубокие основания в исследованиях scaffolding. Классическая работа D. Wood, J. Bruner и G. Ross описывала роль тьютора в организации выполнения задачи, находящейся за пределами текущих самостоятельных возможностей обучающегося; последующее развитие концепции связывало педагогическую опору с постепенным уменьшением поддержки по мере роста возможностей обучающегося [1].

Однако даже наличие принципа постепенного снятия поддержки не устраняет вопроса о моменте и критерии её снятия. В исследованиях интеллектуальных обучающих систем эта проблема получила выражение через так называемую assistance dilemma: сколько помощи следует предоставлять, когда её необходимо предоставлять и когда, напротив, следует позволить обучающемуся продолжить самостоятельный поиск [2-4].

Ситуация становится ещё сложнее потому, что хорошее текущее выполнение задания не обязательно означает сформированную способность выполнить его самостоятельно. Исследования instructional fading и expertise reversal показывают, что образовательная поддержка, полезная на одном уровне подготовки, может становиться избыточной на другом, поэтому характер руководства должен изменяться вместе с компетентностью обучающегося [2-4].

Отсюда формулируется центральное противоречие: педагогическая помощь необходима для формирования самостоятельности, но чрезмерно долго сохраняемая помощь способна сама стать препятствием для самостоятельности.

Цель статьи — разработать концептуальную модель инженерии педагогической опоры, позволяющую рассматривать помощь не как постоянный ресурс, а как управляемую систему, которая вводится, изменяется и снимается в зависимости от состояния учебного действия.

В обычном представлении помощь определяется через её содержание.

Преподаватель дал объяснение — это помощь. Предоставил образец — помощь. Подсказал следующий шаг — помощь. ИИ сгенерировал пример решения — тоже помощь. Однако для педагогического проектирования этого недостаточно. Значение имеет не только что было дано, но и какую часть действия после этого продолжает выполнять сам обучающийся.

Рассмотрим простой организационный пример. Обучающийся впервые осваивает сложную процедуру. Преподаватель сначала выполняет её полностью и комментирует действия. Затем обучающийся выполняет процедуру вместе с преподавателем. После этого получает пошаговый алгоритм. Далее алгоритм сокращается до контрольного списка. Потом остаётся только проверка конечного результата. Наконец, действие выполняется самостоятельно. Содержательно предмет обучения не изменился. Изменилась архитектура ответственности. Именно поэтому предлагается понятие педагогической опоры.

Под педагогической опорой в рамках данной модели понимается временно подключаемый внешний элемент образовательной системы, который компенсирует ту часть учебного действия, которую обучающийся пока не способен устойчиво выполнять самостоятельно. Опора отличается от обычной помощи наличием трёх признаков: она компенсирует конкретный дефицит самостоятельного действия; её объём может быть изменён; конечной целью её применения является собственное исчезновение. Последний

признак принципиален. Если элемент сопровождения проектируется без предполагаемого момента отключения, он перестаёт быть опорой и становится частью постоянного механизма выполнения задачи.

Например, калькулятор при обучении высшей математике может быть обычным рабочим инструментом и не обязан исчезать. А готовая формула, которую учащийся должен в конечном счёте научиться выбирать самостоятельно, — педагогическая опора. Следовательно, невозможно определить педагогическую зависимость только по факту использования внешнего инструмента. Нужно спросить другое: какая интеллектуальная функция передана инструменту и должна ли обучающаяся система в конечном счёте вернуть эту функцию человеку?

Это особенно важно при использовании ИИ. Исследование 2026 года в области AI-assisted programming education различает случаи, когда ИИ функционирует как scaffolding и учащиеся продолжают проверять, модифицировать и объяснять полученные решения, и случаи cognitive offloading, когда существенная часть интеллектуального действия фактически передаётся инструменту. Авторы подчёркивают, что эти наблюдения описывают ассоциации, а не установленную причинность[5-9].

Таблица 1 — Различие педагогической опоры и постоянного рабочего инструмента

Критерий	Педагогическая опора	Постоянный инструмент
Основная функция	временно компенсирует недостаток самостоятельности	повышает эффективность деятельности
Предполагается снятие	да	не обязательно
Состояние обучающегося важно	определяет объём помощи	может почти не влиять
Критерий эффективности	последующее самостоятельное действие	качество выполнения работы
Риск	формирование зависимости	преимущественно инструментальный
Пример	пошаговый образец решения	профессиональный справочник

Так появляется первое положение инженерной модели: педагогическая помощь должна проектироваться вместе со сценарием собственного сокращения. Не «как помочь?», а сразу два вопроса: как помочь сейчас и при каком состоянии обучающегося эта помощь должна исчезнуть?

Самостоятельность редко возникает одномоментно. Существует соблазн построить обучение в двух состояниях: «помогаем» → «не помогаем». Но такой переход слишком груб. Если убрать поддержку раньше времени, обучающийся столкнётся с задачей, для выполнения которой внутренний способ действия ещё не сформирован. Если сохранить полную поддержку слишком долго, он сможет демонстрировать высокую результативность, фактически продолжая пользоваться внешней частью решения. Поэтому в предлагаемой модели педагогическая опора разделяется на пять уровней.

Уровень Р4 — полная опора. Преподаватель или система демонстрирует действие практически полностью. Задача обучающегося — понять структуру и логику. Уровень Р3 — совместное действие. Часть операций выполняет обучающийся, критические участки ещё поддерживаются преподавателем или системой. Уровень Р2 — процедурная опора. Само действие выполняет обучающийся, но сохраняются алгоритм, последовательность этапов, контрольный лист или структурированные подсказки. Уровень Р1 — сигнальная опора. Готового алгоритма уже нет. Система вмешивается только при признаках существенного

затруднения либо предлагает минимальный ориентир. Уровень P0 — самостоятельное действие. Внешняя педагогическая помощь в рамках проверяемого навыка отсутствует. В результате траектория может выглядеть следующим образом: P4 → P3 → P2 → P1 → P0. Но здесь появляется принципиальный момент. Эта последовательность не должна быть календарной.

Нельзя проектировать её как: «первый урок — P4, второй — P3, третий — P2». У разных обучающихся переход может происходить с различной скоростью.

Следовательно, снятие помощи должно происходить по событию готовности, а не только по истечению времени.

Под педагогическим переходом предлагается понимать изменение уровня внешней поддержки после появления достаточных признаков того, что соответствующую часть действия обучающийся способен принять на себя.

Таблица 2 — Уровневая модель педагогической опоры

Уровень	Состояние помощи	Кто выполняет основную операцию	Пример
P4	полная	преподаватель / система	полностью разобранный пример
P3	совместная	обучающийся и педагог	решение с совместным разбором
P2	процедурная	обучающийся	алгоритм, чек-лист
P1	минимальная	обучающийся	намёк, вопрос, сигнал
P0	отсутствует	обучающийся	самостоятельное выполнение

Такая схема сознательно не утверждает, что движение всегда должно происходить только вниз. Иногда переход P1 → P2 является педагогически более правильным, чем продолжение самостоятельных неудачных попыток. То есть инженерия опоры предполагает не линейное уничтожение помощи, а регулирование её мощности. Эта позиция согласуется с исследованиями assistance dilemma: проблема состоит не в максимизации самостоятельной работы и не в максимизации помощи, а в поиске продуктивного соотношения между предоставлением и удержанием поддержки [3].

Более того, экспериментальная работа Jennings и Muldner показала в конкретной задаче проблемного обучения, что традиционное постепенное уменьшение сходства примеров не является единственно возможной эффективной стратегией: вариант, где учащиеся первоначально сталкивались с большей самостоятельной трудностью, а помощь усиливалась позднее, дал более высокие учебные результаты в изучавшихся условиях [6]. Это не означает универсального превосходства «помощи после затруднения», но показывает, что механическое правило «сначала максимум помощи, затем всегда меньше» слишком примитивно. Именно поэтому предлагаемая модель заменяет понятие «постепенного уменьшения помощи» более широким понятием управляемой конфигурации опоры.

Самая трудная часть модели находится не в уровнях P4–P0. Она находится между ними. Предположим, обучающийся успешно выполнил пять заданий при уровне P2, используя алгоритм. Можно ли убрать алгоритм? Интуитивно — возможно. Научно — этого ещё недостаточно. Успешность при наличии опоры показывает, что человек способен действовать в системе «обучающийся + опора». Но педагогическая цель заключается в другом: необходимо установить, способен ли он действовать в системе «обучающийся без этой опоры». Отсюда вводится понятие точки снятия опоры. Точка снятия опоры — это состояние учебного действия, при котором ожидаемый риск утраты качества после уменьшения помощи становится педагогически приемлемым. Важно: это не одна универсальная цифра.

Для тренировки исторических дат допустима одна цена ошибки. Для обучения действиям, связанным с безопасностью людей, — совершенно другая.

Следовательно, решение должно учитывать не только успешность, но и критичность действия. Предлагаются четыре группы признаков готовности: устойчивость — действие успешно выполняется неоднократно; вариативность — результат сохраняется при изменении формулировки или ситуации; объяснимость — обучающийся способен объяснить принцип собственного действия; восстанавливаемость — после небольшой ошибки человек способен продолжить решение без полного внешнего вмешательства. Последний признак особенно важен. Настоящая самостоятельность проявляется не только тогда, когда всё идёт правильно. Она проявляется тогда, когда человек способен восстановить собственное действие после нарушения. Именно поэтому выполнение одного безошибочного задания — слабый критерий. Для количественного наблюдения предлагается коэффициент автономного выполнения: $K_{авт} = N_{сам} / N_{п} \times 100 \%$, где:

$K_{авт}$ — коэффициент автономного выполнения; $N_{сам}$ — количество релевантных заданий, успешно выполненных без проверяемой педагогической опоры; $N_{п}$ — общее количество предъявленных заданий соответствующего класса. Например: из 12 заданий без опоры устойчиво выполнены 9. $K_{авт} = 9 / 12 \times 100 \% = 75 \%$. Эти 75 % нельзя объявлять универсальной границей допуска к самостоятельности. Формула выполняет аналитическую, а не нормативную функцию. Второй показатель — коэффициент переноса самостоятельности:

$K_{пер} = N_{нов} / N_{нов.общ} \times 100 \%$, где $N_{нов}$ — количество успешно решённых новых по контексту, но эквивалентных по принципу задач. Проблема становится заметной, если: $K_{авт}$ высокий, а $K_{пер}$ существенно ниже. Это означает, что действие выполняется в знакомой структуре, но ещё недостаточно переносится.

Таблица 3 — Диагностика готовности к снятию опоры

Наблюдение	Возможная интерпретация	Решение
Успех только по образцу	зависимость от структуры примера	сохранить / изменить опору
Успех без образца	признак автономизации	снизить поддержку
Успех в новой ситуации	сформирован перенос	рассматривать P0
Ошибка без способности восстановиться	самостоятельность нестабильна	временно вернуть P1/P2
Ошибка с самостоятельной коррекцией	высокая автономность	помощь не возвращать автоматически
Просьба подсказать до попытки решения	возможная опорная зависимость	задержать прямую помощь

Здесь возникает одно из центральных различий статьи: ошибка при самостоятельной работе не всегда является основанием вернуть поддержку.

Если обучающийся ошибся, заметил противоречие, вернулся к предыдущему шагу и исправил решение, произошло не разрушение самостоятельности, а, напротив, её проявление. Поэтому инженерная педагогика должна контролировать не частоту любой ошибки, а состояние контура самовосстановления.

Самая опасная форма педагогической зависимости часто выглядит как успех. Студент быстро выполняет задание. Результат правильный. Не задаёт вопросов. Цифровая система фиксирует высокий балл. Но стоит удалить привычный шаблон, разрешённую подсказку или ИИ — качество резко снижается. Следовательно, часть компетенции фактически находилась не у обучающегося. Она находилась во внешнем контуре. Для описания этого состояния предлагается понятие остаточной зависимости от педагогической опоры. Это способность

демонстрировать высокий результат при наличии определённой поддержки, которая не сохраняется в сопоставимом самостоятельном действии после её удаления.

Можно предложить показатель: $I_{оз} = (N_{оп} - N_{сам}) / N_{оп} \times 100 \%$, где: $I_{оз}$ — индекс остаточной зависимости; $N_{оп}$ — количество заданий, успешно выполненных с опорой; $N_{сам}$ — количество сопоставимых заданий, успешно выполненных самостоятельно. Допустим: с алгоритмом правильно выполнено 20 из 20 заданий; без алгоритма — 13 из 20. Тогда: $I_{оз} = (20 - 13) / 20 \times 100 \% = 35 \%$. Интерпретация здесь аккуратная: показатель говорит не о том, что «35 % знаний отсутствует», а лишь о том, что наблюдаемая результативность заметно зависит от присутствия данного вида опоры. Это важное различие. Индекс измеряет зависимость выполнения, а не объём знания.

Таблица 4 — Четыре состояния результата и самостоятельности

Результат с опорой	Результат без опоры	Состояние
высокий	высокий	сформированная автономность
высокий	низкий	остаточная зависимость
низкий	низкий	опора недостаточна или неверно выбрана
средний	растёт без опоры	возможная продуктивная автономизация

Последняя строка кажется парадоксальной. Иногда обучающийся начинает работать немного хуже сразу после уменьшения помощи, но затем быстро восстанавливает результат самостоятельно. Это не обязательно педагогический провал. Переход от поддерживаемого к автономному действию может сопровождаться временным снижением видимой производительности.

И здесь особенно полезно различать performance и learning. Успешность выполнения текущего задания и долговременное изменение способности человека — связанные, но не тождественные результаты. Исследования fading, productive failure и assistance dilemma показывают, что максимальная помощь в момент выполнения не всегда ведёт к максимальному последующему обучению [3]. В частности, исследования productive failure демонстрировали в математическом обучении ситуации, когда первоначальная самостоятельная попытка до прямого объяснения способствовала последующему концептуальному освоению материала [7]. Следовательно, инженерная педагогика должна допустить контролируемую зону ухудшения результата после снятия опоры. Это непривычная мысль. Но без неё преподаватель легко попадает в ловушку: любое падение результата воспринимается как необходимость немедленно вернуть помощь. Тогда самостоятельность постоянно откладывается. Предлагается другой принцип: опора возвращается не после любой ошибки, а после признаков разрушения самостоятельного способа действия.

Теперь отдельные элементы можно собрать в систему. Обучение предлагается рассматривать как последовательность циклов передачи функции от внешнего педагогического контура внутреннему контуру обучающегося. Исходное состояние: человек не может выполнить действие самостоятельно. Подключается опора. Действие становится доступным. Но задача ещё не решена.

Далее должна происходить передача. Предлагаемый контур передачи самостоятельности выглядит следующим образом: диагностика дефицита → подключение опоры → совместное выполнение → пробное уменьшение опоры → автономная попытка → проверка устойчивости → проверка переноса → фиксация самостоятельности либо возврат необходимого уровня поддержки.

По своей логике это уже ближе не к обычному «методу преподавания», а к системе управления состоянием обучающегося. У неё имеются: входное состояние; внешний регулирующий элемент; наблюдаемые сигналы; условия переключения; обратная связь; механизм возврата; целевое состояние. Именно в этом состоит инженерный характер предлагаемого подхода.

Таблица 5 — Логика управления педагогической опорой

Состояние	Действие системы
Самостоятельное действие невозможно	подключить достаточную опору
Действие выполняется только совместно	сохранить P3
Появилась устойчивая частичная самостоятельность	перейти P3 → P2
Алгоритм используется без ошибок	провести пробу без алгоритма
Самостоятельное выполнение устойчиво	перейти P1 → P0
После снятия поддержки возникло временное затруднение	наблюдать, не вмешиваться автоматически
Самостоятельный способ действия разрушился	вернуть минимально достаточную опору
Задание изменено, действие сохранилось	подтвердить перенос
ИИ выполняет существенную часть рассуждения	проверить независимое выполнение без ИИ

В эпоху генеративного ИИ именно последнее состояние приобретает особое значение. Проблема не в том, что обучающийся использует искусственный интеллект. Запрет инструмента сам по себе не создаёт самостоятельного мышления. Проблема возникает тогда, когда образовательная система перестаёт различать: результат, произведённый человеком с использованием инструмента, и способность человека воспроизвести критически значимое действие без передачи этого действия инструменту.

Современные исследования AI-assisted learning уже показывают напряжение между повышением текущей эффективности и сохранением авторства, проверки и самостоятельного контроля [3]. В упомянутом исследовании программирования учащиеся могли переходить между режимом scaffolding, где ИИ поддерживал рассуждение, и режимом offloading, где часть интеллектуальной работы передавалась системе; авторы подчёркивают зависимость таких паттернов от условий задания, времени и дизайна поддержки [9].

Отсюда предлагается педагогический принцип: ИИ должен иметь не только режим предоставления помощи, но и режим обязательного исчезновения.

Например: Этап 1 — ИИ может объяснять решение. Этап 2 — ИИ может отвечать только вопросами и направляющими подсказками. Этап 3 — ИИ может проверять уже готовое самостоятельное решение. Этап 4 — задание выполняется без ИИ. Этап 5 — ИИ возвращается для сравнительного анализа собственного и машинного решения. Это уже не обычное «использование ChatGPT в образовании». Это управление глубиной доступа ИИ к когнитивному действию обучающегося. Именно здесь может появиться новый класс педагогических цифровых систем. Сегодня большинство интерфейсов строятся по логике: «Спросите что угодно». Педагогически более зрелая система могла бы иногда ответить: «Сейчас я не дам готового решения. Покажи первый самостоятельный шаг». И это не ограничение системы. Это её педагогическая функция. Экспериментальная проверка предлагаемой модели. Концепция требует проверки, иначе инженерная терминология останется только красивой метафорой. Для экспериментальной апробации возможно сформировать три группы. Первая группа обучается при традиционной постоянной доступности подсказок. Вторая группа получает поддержку, уменьшаемую по заранее

заданному календарному сценарию. Третья группа работает по предлагаемой модели событийного управления опорой, где переход между уровнями P4–P0 зависит от наблюдаемой готовности. Первичное тестирование должно определить сопоставимость групп. Во время обучения фиксируются: количество обращений за помощью; уровень предоставленной опоры; успешность выполнения; способность самостоятельно исправлять ошибки; время решения; переходы между уровнями P; самостоятельность после удаления поддержки.

После обучения необходимо провести не только обычный итоговый тест.

Более информативными являются три проверки: непосредственное самостоятельное выполнение; отсроченное выполнение; решение задач с изменённым контекстом. Основной гипотезой будущего исследования можно сформулировать следующее предположение: управление снятием педагогической опоры на основании фактической готовности обучающегося будет связано с более высоким уровнем устойчивого самостоятельного выполнения по сравнению с режимом постоянной помощи и механическим календарным fading. Это именно гипотеза. До проведения корректного эксперимента утверждать причинное превосходство предлагаемой модели нельзя.

Дополнительно необходимо проверить и возможный отрицательный эффект. Слишком частое изменение уровня поддержки может повышать когнитивную и организационную нагрузку; алгоритмическое определение готовности способно ошибаться; один и тот же показатель самостоятельности может иметь различный смысл в математике, языковом обучении, медицине или профессиональной подготовке. Поэтому универсальных порогов P2 → P1 или P1 → P0 заранее устанавливать не следует. Модель определяет архитектуру решения. Граница должна определяться предметом обучения и ценой ошибки.

Педагогика исторически сосредоточена на создании способов помощи обучающемуся. В условиях цифрового образования возникает другая задача — научиться управлять исчезновением этой помощи. Именно здесь педагогический процесс начинает приобретать инженерную форму.

Педагогическая опора в предлагаемой модели рассматривается как временно подключаемый элемент системы. Она имеет мощность, уровень, условия подключения и условия снятия. Между полной поддержкой и самостоятельностью появляется серия управляемых переходов. Ошибка после уменьшения поддержки перестаёт автоматически интерпретироваться как основание вернуть прежний уровень помощи. Система сначала должна определить, сохраняется ли способность человека самостоятельно восстанавливать собственное действие.

Основной научный вклад предлагаемой концепции заключается не в повторении известного принципа scaffolding или fading, а в переносе центра анализа на сам педагогический переход между поддерживаемым и автономным состояниями [9].

Для его описания предложены: педагогическая опора; уровни P4–P0; точка снятия опоры; коэффициент автономного выполнения; коэффициент переноса; индекс остаточной зависимости; контур передачи самостоятельности.

Эти элементы образуют модель, в которой качество педагогической поддержки определяется не объёмом предоставленной помощи и даже не текущей успешностью обучающегося. Критерий жёстче: какую часть действия человек способен удержать после того, как помощь исчезла.

Особую актуальность эта постановка приобретает при использовании генеративного искусственного интеллекта. Постоянно доступный ИИ способен быть мощной педагогической опорой, но именно постоянство его присутствия создаёт новую проблему: образовательная система может потерять момент, когда функцию уже необходимо вернуть самому обучающемуся.

Следовательно, перспективный образовательный ИИ должен уметь не только объяснять, подсказывать и генерировать. Он должен уметь своевременно отходить в сторону. В этом,

вероятно, и проходит одна из границ между системой, которая помогает выполнить учебную работу, и системой, которая действительно помогает человеку научиться её выполнять.

ЛИТЕРАТУРА

1. Wood D., Bruner J. S., Ross G. The Role of Tutoring in Problem Solving // Journal of Child Psychology and Psychiatry. 1976. Vol. 17. P. 89–100. DOI: 10.1111/j.1469-7610.1976.tb00381.x.
2. Collins A. Cognitive Apprenticeship // The Cambridge Handbook of the Learning Sciences. Cambridge University Press, 2012.
3. Koedinger K. R., Aleven V. Exploring the Assistance Dilemma in Experiments with Cognitive Tutors // Educational Psychology Review. 2007. Vol. 19. P. 239–264. DOI: 10.1007/s10648-007-9049-0.
4. Kalyuga S., Renkl A. Expertise Reversal Effect and Its Instructional Implications // Instructional Science. 2010. Vol. 38. P. 209–215. DOI: 10.1007/s11251-009-9102-0.
5. Renkl A., Atkinson R. K., Große C. S. How Fading Worked Solution Steps Works: A Cognitive Load Perspective // Instructional Science. 2004. Vol. 32. P. 59–82. Сведения о работе приведены в библиографии исследования fading.
6. Jennings J., Muldner K. Assistance that Fades in Improves Learning Better than Assistance that Fades Out // Instructional Science. 2020. Vol. 48. P. 371–394.
7. Kapur M. Productive Failure in Learning Math // Cognitive Science. 2014. Vol. 38. P. 1008–1022.
8. Steenhof N. et al. Productive Failure as an Instructional Approach to Promote Future Learning // Advances in Health Sciences Education. 2019.
9. Liu D., Fan G., Pan L. Tool, Tutor, or Crutch?: A Grounded Theory of Cognitive Scaffolding and Offloading in AI-Assisted Programming Education // International Journal of STEM Education. 2026.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.22235857>

УДК 332.1

**ИНЖЕНЕРИЯ КОГНИТИВНОГО АВТОРСТВА В ОБРАЗОВАНИИ: МОДЕЛЬ
СОХРАНЕНИЯ ЭПИСТЕМИЧЕСКОЙ АВТОНОМИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ ПРИ
СОВМЕСТНОЙ РАБОТЕ С ИСКУССТВЕННЫМ ИНТЕЛЛЕКТОМ**

ГЕЛЬМАНОВА ЗОЯ САЛИХОВНА

Профессор, Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

САУЛЬСКИЙ ЮРИЙ НИКОЛАЕВИЧ

Магистр, Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

САУЛЬСКАЯ ОЛЬГА АНАТОЛЬЕВНА

Модератор, ОШ № 11, Темиртау, Казахстан

FAYEZ WAZANI ABDUL WALID

Магистр, Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

THUKU HARRISON

Магистрант, Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

Аннотация. Развитие генеративного и агентного искусственного интеллекта постепенно меняет фундаментальное основание образовательного контроля. На протяжении длительного времени созданный обучающимся результат — текст, расчёт, программный код, проект, аналитическое заключение — рассматривался как косвенное свидетельство сформированной компетенции. Чем более совершенными становятся интеллектуальные системы, тем менее надёжной становится эта связь. Обучающийся способен получить качественный результат, не выполняя самостоятельно существенную часть познавательных операций, которые образовательная система предполагает сформировать. Возникает новый педагогический разрыв: результат деятельности может совершенствоваться быстрее, чем компетентность человека, формально являющегося автором этого результата.

Исследования последних лет не позволяют свести влияние генеративного ИИ к однозначной формуле. Специально спроектированные AI-тьюторы способны давать значительный образовательный эффект, тогда как неограниченная помощь в некоторых экспериментальных условиях увеличивает успешность выполнения текущего задания без сопоставимого улучшения последующей самостоятельной деятельности. Следовательно, педагогически значимым становится не сам факт использования ИИ, а архитектура распределения когнитивных функций между человеком и системой.

В статье предлагается концепция инженерии когнитивного авторства — проектирования образовательного процесса, при котором использование искусственного интеллекта допускается и целенаправленно применяется, однако сохраняется возможность установить, какие интеллектуальные функции остаются освоенными самим обучающимся. Вводятся понятия «когнитивное авторство», «эпистемическая автономия», «контур когнитивной ответственности», «разрыв результата и компетенции», «остаточная человеческая компетенция» и «проверяемая делегация». Предлагается матрица распределения функций между обучающимся и ИИ, модель двухконтурной оценки, показатели автономного воспроизведения, реконструкции и верификации результата. Обосновывается переход от контроля происхождения текста к контролю сохранности человеческой способности понимать, проверять, объяснять, изменять и воспроизводить решение.

Ключевые слова: инженерия педагогики, искусственный интеллект в образовании, когнитивное авторство, эпистемическая автономия, генеративный ИИ, агентный ИИ, когнитивная разгрузка, образовательная диагностика, оценивание, человеческая компетентность, AI literacy.

Появление калькулятора не уничтожило математику. Поисковые системы не уничтожили необходимость знать. Текстовые редакторы не отменили письмо.

Поэтому было бы слишком просто утверждать, что искусственный интеллект неизбежно приведёт к интеллектуальной деградации обучающихся. Человек исторически расширял собственные возможности посредством внешних инструментов. Современная концепция *extended mind* также рассматривает взаимодействие человека с технологическими средствами не только как «выгрузку» мышления наружу, но как образование гибридных когнитивных систем [1-4]. Но генеративный ИИ создаёт принципиально другую педагогическую ситуацию. Калькулятор выполняет вычисление, когда человек задаёт ему математическую операцию.

Современная интеллектуальная система способна самостоятельно сформулировать проблему, предложить структуру текста, подобрать аргументы, написать программный код, объяснить выводы, обнаружить ошибку, изменить решение и подготовить итоговое представление результата.

Следующий шаг — агентные системы, способные выполнять последовательность взаимосвязанных действий с существенно меньшим участием человека. В этой ситуации изменяется не только инструмент. Изменяется место человека внутри интеллектуальной работы. Именно поэтому образование будущего столкнётся с вопросом, на который традиционное оценивание отвечает плохо: какая часть качественного результата действительно принадлежит сформированной компетенции обучающегося? Эта проблема уже начинает проявляться эмпирически.

В рандомизированном исследовании Bassner и соавторов с 275 студентами вводного курса программирования две группы, использовавшие ИИ, получили значительно более высокие результаты выполнения программного задания, чем группа без ИИ. Однако преимущества в приросте знаний и понимании программного кода обнаружены не были. В конкретных условиях эксперимента ИИ преимущественно улучшал *performance*, но не демонстрировал соответствующего улучшения *learning* [2].

С другой стороны, противоположный результат получен в эксперименте Kestin и соавторов с 194 студентами курса физики: специально разработанный AI-тьютор, в который были встроены педагогические ограничения, последовательное сопровождение и персонализированная обратная связь, обеспечивал более высокий учебный прирост по сравнению с очным активным обучением при меньшем времени работы. Авторы отдельно подчёркивают, что результат связан не просто с наличием LLM, а с тщательно спроектированной педагогической архитектурой системы [3].

Ещё один существенный результат получен Bastani и соавторами в исследовании математического обучения: использование GPT-4 без педагогических ограничений помогало учащимся во время практики, однако последующая самостоятельная работа могла ухудшаться; вариант с педагогическими *guardrails* снижал этот риск [1]. Эти исследования не противоречат друг другу. Напротив, вместе они позволяют увидеть более глубокий механизм. ИИ не обладает единым педагогическим эффектом. Эффект зависит от того, какую часть учебного действия система принимает на себя и какую оставляет человеку.

UNESCO в рамочной модели AI Competency Framework for Students также делает акцент не только на использовании технологий, но на критическом суждении об AI-решениях и формировании обучающегося как ответственного пользователя и соавтора интеллектуальных систем [5,10]. На этой границе и располагается предлагаемая концепция.

Цель статьи — разработать модель инженерии когнитивного авторства, позволяющую совместить интенсивное использование искусственного интеллекта с сохранением диагностируемой человеческой компетентности.

Классическая образовательная модель основывается на достаточно устойчивом предположении: если обучающийся создал качественный результат, вероятно, он обладает знаниями и умениями, необходимыми для его создания.

Связь никогда не была абсолютной. Можно было списать. Получить помощь. Запомнить алгоритм. Воспроизвести чужое решение. Но в большинстве профессиональных заданий самостоятельное создание сложного результата всё же требовало некоторой минимальной компетентности. Генеративный ИИ ослабляет эту зависимость. Предположим, студенту необходимо подготовить аналитическое заключение. В традиционной модели ему необходимо самостоятельно: понять задачу; выделить проблему; найти информацию; оценить источники; построить аргументацию; сформулировать вывод; написать текст; проверить его. При использовании развитого ИИ все эти функции потенциально могут быть переданы системе. Результат при этом способен стать даже лучше. Формально преподаватель получает качественную работу. Диагностически он получает значительно меньше информации о самом обучающемся. Возникает разрыв результата и компетенции.

В рамках статьи предлагается понимать его как различие между качеством продукта, созданного в системе «человек + ИИ», и уровнем способности человека самостоятельно выполнять критически значимые операции, лежащие в основе этого продукта. Условно: Результат $\neq$ Компетентность. Чем больше интеллектуальных функций способен выполнять ИИ, тем потенциально больше это расхождение. Именно поэтому проблема плагиата постепенно перестаёт быть центральной. Вопрос: «Сам ли студент написал текст?» становится всё менее содержательным. Для профессионального образования гораздо важнее: «Понимает ли студент текст, который представил?» «Способен ли он обнаружить в нём ошибку?» «Может ли защитить сделанный вывод?» «Что произойдёт, если изменить исходные условия?» «Сможет ли он восстановить логику решения без доступа к первоначальному AI-диалогу?» Здесь и появляется понятие когнитивного авторства. Под ним предлагается понимать не физическое происхождение каждого слова или вычисления, а сохранение человеком интеллектуального контроля над значимыми основаниями результата. Человек может не написать каждое предложение самостоятельно и всё равно оставаться когнитивным автором. И наоборот. Он может собственноручно перепечатать созданный ИИ текст и не быть автором содержащегося в нём рассуждения.

Таблица 1 — Различие текстового и когнитивного авторства

Параметр	Формальное авторство	Когнитивное авторство
Основной вопрос	Кто создал текст?	Кто контролирует логику решения?
Использование ИИ	часто рассматривается как проблема	допустимо
Критерий	происхождение продукта	сохранность компетенции
ПЕРЕФРАЗИРОВАНИЕ AI-ТЕКСТА	может создавать видимость самостоятельности	ничего не доказывает
Объяснение решения	вторично	обязательно
Проверка результата	желательна	центральная функция
Изменение условий задачи	новый вопрос	основной диагностический инструмент

Следовательно, педагогический объект будущего — уже не «самостоятельно созданная работа». Объектом становится управляемая интеллектуальная кооперация, в которой необходимо понимать границы ответственности каждой стороны.

Простой запрет на использование ИИ решает проблему только внешне. Во-первых, он становится всё труднее исполнимым. Во-вторых, профессиональная среда сама будет использовать ИИ. Образовательная система, которая готовит человека к работе без инструментов, существующих в реальной профессии, рискует формировать компетенции для исчезающей модели труда. Но противоположная крайность столь же проблемна: «Пусть ИИ делает всё, главное — результат». Для коммерческой деятельности такой подход иногда рационален.

Для обучения — не всегда. Потому что образовательный процесс имеет двойной продукт. Первый продукт — выполненная задача. Второй — изменившийся человек.

Если задача выполнена идеально, а способность обучающегося не изменилась, производственный результат может быть успешным, а педагогический — нулевым. Поэтому предлагается разделить когнитивные функции на три инженерные зоны.

Зона D — делегируемая. Функции могут преимущественно передаваться ИИ, поскольку их самостоятельное выполнение не является основной целью конкретного этапа обучения. Например, форматирование таблицы при обучении стратегическому анализу.

Зона S — совместная. ИИ участвует в действии, но обучающийся должен сохранять контроль над ходом работы. Например, генерация нескольких вариантов решения с последующим сравнением.

Зона H — человеческое ядро. Функции, которые должны периодически выполняться человеком самостоятельно, поскольку именно они являются объектом формирования или профессиональной ответственности. Например, постановка диагноза в медицинском обучении, обоснование управленческого решения или интерпретация правовой нормы. Это деление не универсально. Одна и та же операция способна переходить между зонами. Для начинающего программиста написание цикла может относиться к зоне H. Для опытного разработчика, изучающего архитектуру распределённых систем, генерация типового цикла может спокойно перейти в D. Следовательно: делегируется не действие вообще — делегируется действие относительно конкретной образовательной цели.

Таблица 2 — Пример инженерного распределения функций

Функция	Возможность передачи ИИ	Условие
Поиск вариантов	высокая	человек формулирует критерии
Форматирование	высокая	если не является целью обучения
Черновая генерация	средняя/высокая	необходим последующий анализ
Формулировка проблемы	ограниченная	обучающийся должен уметь поставить её самостоятельно
Выбор критерия	ограниченная	требует содержательного обоснования
Проверка фактов	совместная	нельзя полностью доверять одной системе
Обнаружение противоречий	совместная	обязательна человеческая проверка
Принятие ответственного решения	низкая как учебная цель	человек должен обосновать решение
Объяснение причин	человеческое ядро	проверяет понимание

Защита решения при изменении условий	человеческое ядро	проверяет компетенции	перенос
--------------------------------------	-------------------	-----------------------	---------

Эта модель позволяет отказаться от примитивного выбора: ИИ или человек. На практике задача другая: какую функцию кому передать, на каком этапе и с каким механизмом обратного контроля. В этом состоит первая инженерная операция когнитивного авторства — декомпозиция интеллектуальной задачи. Если разрешить использование ИИ, но не определить процедуру взаимодействия, фактическое распределение мышления начинает формироваться стихийно. Человек обычно передаёт системе именно то, что требует наибольшего усилия. Это рационально с точки зрения экономии времени. Но педагогически опасно, если самая трудная операция одновременно является именно той операцией, которую необходимо научиться выполнять. Поэтому в статье предлагается контур когнитивной ответственности: постановка → собственная модель → обращение к ИИ → сравнение → проверка → принятие/отклонение → реконструкция → перенос. Первый элемент принципиален. До обращения к ИИ обучающийся должен хотя бы частично сформировать собственное представление о задаче. Это может быть гипотеза. Черновой расчёт. Предварительный вывод. План. Прогноз результата. Не всегда необходимо создавать полное решение. Но должна существовать точка человеческого предшествования. Иначе происходит другая последовательность: вопрос → ответ ИИ → ознакомление человека. Такой процесс внешне напоминает обучение, однако человек оказывается не участником решения, а читателем уже выполненного интеллектуального действия. Второй критический этап — сравнение. Обучающийся должен увидеть различие между собственной моделью и предложением ИИ. Третий — проверка. Не «нравится ли мне ответ», а: на каких предпосылках он построен; какие данные использованы; что не учтено; какие альтернативные объяснения возможны; какой факт способен опровергнуть вывод. Четвёртый этап — реконструкция. После взаимодействия с ИИ человек должен быть способен воспроизвести ключевую логику решения своими словами и без опоры на исходный диалог. Именно здесь появляется эпистемическая автономия. В рамках модели под ней понимается способность человека сохранять критически значимый контроль над происхождением, проверкой и применением знания при использовании внешней интеллектуальной системы. Эпистемическая автономия не означает работу без ИИ. Это было бы слишком примитивно. Она означает: человек понимает, что передал системе, что получил обратно и почему решил этому доверять.

Такой подход согласуется с более широкой позицией, согласно которой продуктивность человеко-машинных систем определяется не самим фактом внешнего cognitive offloading, а конфигурацией конкретной human–AI коалиции [6].

Таблица 3 — Контур когнитивной ответственности

Этап	Действие обучающегося	Роль ИИ	Что диагностируется
Постановка	определяет проблему	может уточнять	понимание задачи
Прогноз	формирует предварительную модель	отсутствует/ограничен	собственное мышление
Генерация	задаёт запрос	предлагает варианты	качество взаимодействия
Сравнение	ищет расхождения	предоставляет альтернативу	аналитическое мышление
Верификация	проверяет основания	отвечает на возражения	критическая оценка
Решение	принимает или отвергает	консультирует	ответственность

Реконструкция	объясняет решение без AI-текста	временно отключён	понимание
Перенос	решает изменённую задачу	ограничен отсутствует	или компетентность

Таким образом, хороший образовательный AI-интерфейс будущего не должен всегда стремиться ответить быстрее. Иногда педагогически правильная реакция системы: «Сначала зафиксируйте собственную гипотезу». Или: «Какой из моих выводов вы считаете наиболее уязвимым?» Или: «Теперь объясните решение без обращения к предыдущему ответу». Не удобство любой ценой. А управляемая неудобность там, где без неё исчезает мышление.

Это, вероятно, самая серьёзная проблема будущего образования. Если ИИ способен написать эссе высокого уровня, создать презентацию, решить задачу, подготовить исследовательский обзор и написать код, оценивание только конечного продукта постепенно теряет диагностическую силу. Ответом может стать не тотальный возврат к бумажному экзамену, а двухконтурное оценивание.

Контур А — AI-open. Обучающийся получает полный доступ к разрешённым интеллектуальным инструментам. Задача максимально приближена к будущей профессиональной деятельности. Оценивается: качество конечного результата; эффективность использования инструментов; способность формулировать задачи; качество проверки; документирование решений.

Контур В — AI-silent. После завершения основного проекта проводится короткая диагностика без содержательной помощи ИИ. Она не обязана повторять всю работу. Её задача — проверить остаточную человеческую компетенцию. Например: объяснить наиболее важный вывод; восстановить логику расчёта; найти ошибку в другом аналогичном решении; ответить, что изменится при новых исходных данных; защитить решение; выполнить небольшой фрагмент действия самостоятельно. Возникает интересная конструкция. ИИ не запрещён.

Более того, умение работать с ним оценивается. Но итоговая оценка перестаёт зависеть исключительно от качества продукта, который система могла существенно помочь создать. Для аналитического наблюдения предлагается коэффициент сохранённой автономности: $K_{са} = Q_{безИИ} / Q_{сИИ} \times 100 \%$, где:

$Q_{сИИ}$ — результат выполнения сопоставимой задачи при разрешённом использовании ИИ; $Q_{безИИ}$ — результат выполнения диагностического задания без содержательной помощи ИИ. Если: $Q_{сИИ} = 90$ баллов, $Q_{безИИ} = 72$ балла, то: $K_{са} = 72 / 90 \times 100 \% = 80 \%$. Это не означает, что «обучающийся знает 80 %». Показатель отражает только отношение двух результатов в заданных условиях. Его педагогический смысл появляется при динамическом сравнении.

Второй показатель — разрыв результата и компетенции: $Gr_k = Q_{сИИ} - Q_{безИИ}$.

В приведённом примере: $Gr_k = 90 - 72 = 18$ баллов. Сам по себе разрыв не является отрицательным. Инструменты должны усиливать человека. Если экскаватор позволяет человеку выкопать траншею быстрее, это не недостаток экскаватора. Проблема возникает, если образовательная система ошибочно считает весь машинно усиленный результат доказательством человеческой способности. Третий показатель — коэффициент верификации ИИ:

$K_{ви} = N_{обн} / N_{ош} \times 100 \%$, где: $N_{ош}$ — количество содержательных ошибок, намеренно включённых в проверочные AI-решения; $N_{обн}$ — количество ошибок, которые обучающийся правильно обнаружил и обосновал.

Например: предъявлено 10 проблемных элементов; обнаружено и корректно объяснено 8. $K_{ви} = 8 / 10 \times 100 \% = 80 \%$. Здесь открывается крайне интересный педагогический формат будущего: экзамен не на создание ответа, а на аудит искусственного интеллекта. Студент получает хорошо написанное, убедительное, но не полностью корректное AI-заключение.

ОФ «Международный научно-исследовательский центр “Endless Light in Science”

Необходимо: найти слабое место; установить тип ошибки; показать последствия; исправить решение; обосновать исправление. Это труднее, чем просто попросить ИИ сделать работу. И одновременно гораздо ближе к профессиональной реальности, где человеку всё чаще придётся контролировать машинно созданные решения.

UNESCO уже включает критическое оценивание AI-решений в компетентностную рамку для обучающихся, поэтому развитие диагностических заданий на проверку и ответственное использование ИИ имеет институциональное основание, а не является исключительно авторской гипотезой [10].

Таблица 4 — Новая архитектура оценки

Инструмент	Что проверяет
Проект с ИИ	профессиональную продуктивность
Журнал решений	логику взаимодействия
Устная микрозащита	понимание
Реконструкция	сохранённую компетенцию
Изменённая задача	перенос
AI-аудит	способность проверять ИИ
Сравнение нескольких AI-решений	качество критерия выбора
Задача без ИИ	автономное ядро
Работа с ИИ после самостоятельного решения	способность к интеллектуальному усилению

Подобная архитектура снимает часть бессмысленной гонки вокруг AI-детекторов. Не требуется доказывать, сколько процентов текста написал человек. Нужно доказать более существенное: человек способен отвечать за содержание результата.

Сегодня основной образовательный спор связан с чат-ботами. Однако горизонт проблемы шире. Если развитие продолжится в направлении систем, способных самостоятельно планировать и выполнять многоэтапные интеллектуальные действия, то взаимодействие будет всё меньше напоминать: человек задаёт вопрос → ИИ отвечает.

Оно будет приближаться к модели: человек ставит цель → AI-агент планирует → ищет → анализирует → создаёт → проверяет → передаёт результат. Тогда prompt engineering перестанет быть достаточной образовательной компетенцией. Человеку придётся уметь действовать уровнем выше. Формулировать ограничения. Определять критерии приемлемости. Распознавать ситуацию, когда автоматизация не должна продолжаться. Проверять результат. Сопоставлять альтернативы. Принимать ответственность. Останавливать агента. Менять цель. Именно поэтому предлагается понятие границы когнитивной делегации. Это уровень, после которого дальнейшая передача интеллектуальной функции системе начинает затрагивать компетенцию, которую образовательная программа обязана сохранить у человека. Граница будет различаться по профессиям. Для дизайнера она одна. Для врача — другая. Для инженера промышленной безопасности — третья. Для юриста — четвёртая. Но сама задача становится универсальной: образование должно заранее определить, что человек обязан уметь делать даже тогда, когда машина способна сделать это лучше. Это непростой вопрос. Нет оснований автоматически сохранять все традиционные функции. История технологий показывает обратное: часть операций действительно должна уходить машине.

Позиция о гибридной природе человеческого мышления как раз предостерегает от примитивного представления, будто любое перенесение функции наружу означает интеллектуальную потерю. Поэтому инженерия когнитивного авторства не должна превращаться в защиту старых методов только потому, что «раньше так делали» [7-9]. Нужно разделить две вещи: операцию, которую больше нет смысла выполнять вручную; и

способность, потеря которой делает человека неспособным контролировать автоматизированную операцию. Калькулятор избавил человека от большого объёма ручных вычислений. Но инженер, не понимающий порядка величин, единиц измерения и смысла результата, становится опасно зависимым от калькулятора. Будущий ИИ лишь увеличивает масштаб этой проблемы.

Таблица 5 — Возможная трансформация образовательной компетенции

Традиционная компетенция	При развитии ИИ	Сохраняемое человеческое ядро
Найти информацию	ИИ ищет	поставить поисковую задачу и проверить источник
Подготовить текст	ИИ генерирует	сформировать позицию и защитить её
Выполнить расчёт	ИИ считает	выбрать модель и проверить результат
Написать код	ИИ генерирует	понять архитектуру и проверить поведение
Сделать прогноз	ИИ моделирует	оценить предпосылки и неопределённость
Сформировать варианты	ИИ генерирует множество	определить критерий выбора
Найти ошибку	ИИ проверяет ИИ	определить предел доверия
Принять решение	ИИ рекомендует	принять ответственность
Организовать работу	AI-агент исполняет цепочку	поставить цель, ограничения и контрольные точки

Последняя колонка здесь важнее второй. ИИ будет меняться. Человеческая функция должна определяться не возможностями конкретной модели 2026 года, а структурой ответственности в системе «человек — интеллектуальный агент».

Экспериментальная модель проверки. Предлагаемую концепцию можно проверить экспериментально. Для этого целесообразно сформировать три режима обучения: режим 1 — свободный ИИ; обучающиеся имеют неограниченный доступ к системе; режим 2 — ограниченный педагогический ИИ; система преимущественно предоставляет подсказки, вопросы и проверку; режим 3 — инженерия когнитивного авторства; часть функций разрешена к передаче ИИ, однако процесс включает обязательную собственную гипотезу, верификацию, реконструкцию и последующий перенос.

Сравнивать следует не только качество финального продукта. Необходимо отдельно измерить: самостоятельное выполнение; перенос на новую ситуацию; способность обнаруживать AI-ошибки; точность объяснения; калибровку уверенности; способность реконструировать решение; разрыв между AI-assisted и AI-silent результатами. Именно последний показатель может оказаться особенно содержательным. Предположим, группа А показывает: с ИИ — 95; без ИИ — 48. Группа В: с ИИ — 87; без ИИ — 74. Если смотреть только на итоговый AI-проект, группа А выглядит сильнее. Если образовательная цель включает сохранение самостоятельной профессиональной способности, картина становится другой.

Подобное расхождение между performance и learning уже наблюдалось в экспериментальном исследовании программирования Bassner и соавторов, поэтому необходимость разделять эти два результата имеет эмпирическое основание [2]. Но нельзя заранее утверждать, что предложенная модель окажется эффективнее. Это требует проверки. Особенно необходимо исследовать, не станет ли постоянная реконструкция слишком трудоёмкой; какие функции можно безопасно делегировать на разных уровнях подготовки; насколько результаты зависят от дисциплины; и где проходит граница между полезным

cognitive offloading и потерей критически важной самостоятельности. Именно эти ограничения делают тему исследовательской. Если бы ответы уже были известны, инженерная педагогика здесь не понадобилась бы.

Искусственный интеллект постепенно разрушает одно из наиболее привычных неявных правил образования: качество выполненной работы больше нельзя автоматически считать мерой компетентности того, кто её представил. Это изменение глубже проблемы списывания. Если ИИ станет нормальным рабочим инструментом, борьба за полностью «человеческий» продукт потеряет практический смысл. Но вместе с этим возникает гораздо более серьёзная задача. Нужно сохранить человека внутри интеллектуальной цепочки. Не обязательно как исполнителя каждой операции. Но как субъекта, способного: понимать; проверять; сомневаться; выбирать; объяснять; изменять; восстанавливать; и отвечать за решение.

Научная идея инженерии когнитивного авторства состоит поэтому не в ограничении искусственного интеллекта. Она состоит в проектировании границы между интеллектуальным усилением и интеллектуальным замещением.

В статье предложены понятия: когнитивного авторства; эпистемической автономии; разрыва результата и компетенции; остаточной человеческой компетенции; контура когнитивной ответственности; границы когнитивной делегации; двухконтурного оценивания; коэффициента сохранённой автономности; коэффициента верификации ИИ. Предложенные показатели требуют экспериментальной валидации и не могут использоваться как готовые нормативы. Есть и более фундаментальное ограничение. Нельзя заранее утверждать, какие интеллектуальные функции человек обязан сохранить навсегда. Часть сегодняшних компетенций действительно может стать технологически избыточной. Поэтому задача будущей педагогики состоит не в консервации существующего набора навыков. Она труднее. Необходимо определить, какой минимальный человеческий интеллектуальный контур должен сохраняться, чтобы усиленный искусственным интеллектом специалист оставался субъектом решения, а не интерфейсом между машиной и результатом.

Возможно, именно здесь изменится сам смысл образования. Раньше человеку давали знания прежде всего потому, что без них он не мог выполнить работу. В будущем часть работы можно будет выполнить без собственных глубоких знаний — машина поможет. И тогда знания станут необходимы по другой причине: чтобы понимать, когда машине нельзя верить. Это и есть наиболее перспективная область инженерной педагогики эпохи искусственного интеллекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bastani H., Bastani O., Sungu A., Ge H., Kabakci O., Mariman R. Generative AI without guardrails can harm learning: Evidence from high school mathematics // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2025. Vol. 122. Article e2422633122. DOI: 10.1073/pnas.2422633122.
2. Bassner P., Lenk-Ostendorf B., Beinstingel R., Wasner T., Krusche S. Less stress, better scores, same learning: The dissociation of performance and learning in AI-supported programming education // *Computers and Education: Artificial Intelligence*. 2026. Vol. 10. Article 100537. DOI: 10.1016/j.caeai.2025.100537.
3. Kestin G., Miller K., Klales A. et al. AI tutoring outperforms in-class active learning: an RCT introducing a novel research-based design in an authentic educational setting // *Scientific Reports*. 2025.
4. Clark A. Extending Minds with Generative AI // *Nature Communications*. 2025. Vol. 16. Article 4627.
5. UNESCO. AI Competency Framework for Students / F. Miao, K. Shiohira, N. Lao. Paris: UNESCO, 2024. Актуализированная страница публикации — 2026.
6. Liubertaitė A. D. EFFORT-AI: an effort-preserving module for cognitively aligned human-AI learning // *Frontiers in Education*. 2026.
7. Gilbert S. J., Bird A., Carpenter J. M., Fleming S. M., Sachdeva C., Tsai P.-C. Optimal use of reminders: Metacognition, effort, and cognitive offloading // *Journal of Experimental Psychology: General*. 2020. Vol. 149. P. 501–517. DOI: 10.1037/xge0000652.
8. Panadero E. A Review of Self-Regulated Learning: Six Models and Four Directions for Research // *Frontiers in Psychology*. 2017. Vol. 8. Article 422. DOI: 10.3389/fpsyg.2017.00422.
9. Chi M. T. H., De Leeuw N., Chiu M.-H., LaVancher C. Eliciting Self-Explanations Improves Understanding // *Cognitive Science*. 1994. Vol. 18. P. 439–477. DOI: 10.1207/s15516709cog1803_3.
10. UNESCO. AI Competency Framework for Teachers. Paris: UNESCO, 2024.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.22235953>

УДК 332.1

СОХРАНЕНИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

ГЕЛЬМАНОВА ЗОЯ САЛИХОВНА

Профессор, Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

САУЛЬСКИЙ ЮРИЙ НИКОЛАЕВИЧ

Магистр, Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

САУЛЬСКАЯ ОЛЬГА АНАТОЛЬЕВНА

Модератор, ОИШ № 11, Темиртау, Казахстан

FAYEZ WAZANI ABDUL WALID

Магистр, Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

THUKU HARRISON

Магистрант, Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

Аннотация. *Расширение применения искусственного интеллекта меняет не только способы выполнения профессиональной деятельности, но и условия сохранения уже сформированных человеческих компетенций. Значительная часть современных дискуссий сосредоточена на том, какие новые навыки необходимы специалисту для работы с искусственным интеллектом. При этом менее исследован противоположный процесс: что происходит с ранее сформированной профессиональной способностью, если соответствующее действие постепенно передаётся интеллектуальной системе и всё реже выполняется человеком самостоятельно.*

Возникает противоречие. Искусственный интеллект способен повышать скорость, точность и качество выполнения отдельных задач, одновременно сокращая частоту самостоятельного использования тех операций, на которых ранее формировалась и поддерживалась профессиональная компетентность. Внешне такая ситуация может выглядеть как повышение эффективности: результат не ухудшается, количество ошибок снижается, производительность возрастает. Однако качество совместного результата «человек + ИИ» ещё не показывает, сохранилась ли способность человека выполнить критически значимую часть работы при отсутствии, ошибке или выходе интеллектуальной системы за пределы типового сценария.

В статье предлагается концепция сохранности профессиональной компетенции при работе с искусственным интеллектом. Вводится понятие скрытой эрозии компетенции — постепенного снижения автономной способности выполнять профессиональное действие, которое не обнаруживается при обычной оценке результатов, поскольку снижение компенсируется технологической поддержкой. Разрабатывается модель состояний компетенции, предлагается разделение профессиональных функций на делегируемые, контролируемые и резервно-сохраняемые. Обосновывается механизм автономных контрольных проб, позволяющий оценивать не производительность человека без ИИ вообще, а сохранность критического человеческого контура. Предложены коэффициент сохранности компетенции, индекс технологической зависимости, показатель устойчивости профессионального резерва и модель определения интервала автономной проверки.

Отдельное внимание уделено методологическому ограничению: снижение самостоятельной результативности после автоматизации нельзя автоматически интерпретировать как вред. Некоторые операции рационально передавать технологии

ОФ «Международный научно-исследовательский центр “Endless Light in Science”

окончательно, а освобождение человека от рутинных действий может сопровождаться развитием новых, более сложных навыков. Поэтому предметом сохранения должна становиться не вся прежняя деятельность, а только те компетенции, утрата которых снижает способность человека контролировать, корректировать или безопасно заменять искусственный интеллект в критической ситуации.

Ключевые слова: искусственный интеллект, профессиональные компетенции, сохранность компетенции, скрытая эрозия компетенции, автоматизация, профессиональное обучение, когнитивная разгрузка, технологическая зависимость, профессиональный резерв, инженерия педагогики, AI-assisted work.

История автоматизации во многом строилась вокруг освобождения человека от действия. Машина брала на себя физическую операцию. Затем вычислительную. Позднее — часть контроля, диагностики и принятия решений. Искусственный интеллект расширяет эту последовательность: автоматизируемым становится уже не только действие, но и отдельные элементы профессионального рассуждения. Это меняет саму постановку вопроса о компетентности.

Раньше профессиональный навык сохранялся во многом потому, что человек был вынужден регулярно им пользоваться. Бухгалтер рассчитывал. Инженер анализировал. Врач диагностировал. Программист писал и отлаживал код. Специалист искал информацию, сопоставлял данные и формировал вывод.

Часть этих операций теперь можно передать интеллектуальной системе. В этом нет педагогической катастрофы как таковой. Более того, OECD в исследованиях профессионального образования подчёркивает, что ИИ способен повышать оперативность анализа, поддерживать разработку программ, мониторинг обучения и адаптацию содержания, одновременно указывая на необходимость сохранения человеческого профессионального суждения, критического мышления и контроля над машинными результатами [3,4].

Проблема возникает в другом месте. Предположим, специалист двадцать лет умеет самостоятельно выполнять сложную профессиональную операцию. Затем организация внедряет систему искусственного интеллекта, которая выполняет значительную часть анализа автоматически. Первый месяц человек тщательно проверяет систему. Через полгода замечает, что она почти всегда работает правильно. Через два года проверяет только результат. Через пять лет возникает нестандартная ситуация, которой не было в обычных данных. ИИ ошибается. И здесь впервые обнаруживается то, чего не было видно все предыдущие годы: специалист больше не может быстро восстановить ту глубину самостоятельного действия, которой обладал до автоматизации. Работа до этого момента выполнялась успешно. КРІ не снижались. Ошибок могло стать даже меньше. Следовательно, обычные показатели производительности не обязательно фиксируют утрату автономной способности. Именно это состояние предлагается обозначить как скрытая эрозия профессиональной компетенции.

Проблема уже перестаёт быть исключительно гипотетической. В многоцентровом наблюдательном исследовании применения AI-assisted colonoscopy, опубликованном в The Lancet Gastroenterology & Hepatology в 2025 году, после регулярного внедрения AI-поддержки показатель обнаружения аденом при последующих исследованиях без AI снизился с 28,4 до 22,4 %. Авторы интерпретировали результат как возможный сигнал deskilling, однако исследование было наблюдательным, поэтому оно показывает ассоциацию и само по себе не доказывает причинность[1].

Подобные опасения появляются и в программировании. Исследования и профессиональные наблюдения 2026 года описывают ситуацию, при которой генеративный ИИ способен забрать у начинающих специалистов часть рутинной, но развивающей работы — поиска ошибки, чтения чужого кода, самостоятельного построения решения. Одновременно новые исследования подчёркивают, что результат зависит от способа применения технологии: AI-поддержка не во всех экспериментальных условиях приводит к

снижению последующей самостоятельной способности. Последнее замечание принципиально. Было бы научно неверно сформулировать тезис: «использование ИИ ведёт к деградации навыков». Доказательства пока неоднородны, а воздействие зависит от профессии, задачи, уровня подготовки, архитектуры взаимодействия с ИИ и того, заменяет технология когнитивное действие или поддерживает его. Исследования human–AI adaptation также указывают, что последствия могут различаться между замещающим и усиливающим использованием генеративного ИИ.

Необходимо понять: как определить, какие человеческие компетенции следует сознательно поддерживать после автоматизации и каким способом проверять их сохранность, не отказываясь при этом от преимуществ искусственного интеллекта.

Цель статьи — разработать концептуальную модель сохранения критически значимых профессиональных компетенций при длительном использовании искусственного интеллекта.

Для достижения цели решаются следующие задачи: раскрыть механизм скрытой эрозии компетенции; определить состояния профессиональной способности после передачи части функций ИИ; предложить классификацию функций по необходимости их сохранения; разработать систему автономных контрольных проб; сформировать показатели оценки профессионального резерва и дизайн последующей экспериментальной проверки модели.

Главное методологическое затруднение связано с тем, что после внедрения искусственного интеллекта измеряемый результат принадлежит уже не человеку в отдельности. Он создаётся системой: человек + ИИ + данные + интерфейс + организационная процедура. Если эта система работает лучше, организация получает реальное преимущество.

Но педагогическая и кадровая диагностика сталкивается с проблемой атрибуции. Что именно улучшилось? Компетентность человека? Качество технологического инструмента? Или результат совместной системы при одновременном ослаблении самостоятельной способности человека? Эти состояния нельзя считать одинаковыми. Рассмотрим условного инженера технической диагностики. До внедрения интеллектуальной системы он самостоятельно: изучал показания; сопоставлял тренды; искал аномалию; выдвигал гипотезу; проверял её; принимал решение. После внедрения ИИ последовательность может измениться: система собирает данные; сама обнаруживает аномалию; формирует три вероятные причины; ранжирует их; предлагает действие. Инженеру остаётся: посмотреть рекомендацию; подтвердить; при необходимости скорректировать. Производительность выросла. Но из шести исходных когнитивных операций человек регулярно выполняет уже две. Здесь необходимо различить результативность системы и сохранность человеческой компетенции.

Это различие близко к проблеме, которую OECD в 2026 году формулирует применительно к образованию: GenAI может улучшать непосредственное выполнение заданий, но при неудачном педагогическом дизайне уменьшать продуктивное интеллектуальное усилие; поэтому организация рекомендует использовать ИИ так, чтобы он обогащал обучение, а не заменял когнитивную работу и профессиональное суждение [3,4].

Предлагается определить скрытую эрозию компетенции как снижение способности самостоятельно выполнять ранее освоенную профессиональную функцию, которое не обнаруживается при оценке обычного рабочего результата вследствие компенсации этого снижения искусственным интеллектом или другой автоматизированной системой. В определении важны три элемента. Во-первых, компетенция ранее существовала. Это отличает эрозию от ситуации, когда начинающий специалист просто не успел приобрести навык. Во-вторых, самостоятельная способность снизилась. В-третьих, снижение остаётся скрытым при нормальном технологическом режиме. Отсюда возникает условная зависимость: Высокий AI-assisted результат $\neq$ автоматически высокая автономная компетентность. Предлагается рассматривать профессиональную способность в двух контурах: QAI — качество выполнения при использовании ИИ; QH — качество автономного человеческого выполнения соответствующей критической операции. Пока измеряется только QAI, возможная динамика QH остаётся невидимой.

Таблица 1 — Возможные состояния профессиональной деятельности после внедрения ИИ

QAI	QH	Интерпретация
высокий	высокий	ИИ усиливает сохранённую компетентность
высокий	средний	возникает частичная технологическая зависимость
высокий	низкий	возможна скрытая эрозия критического навыка
средний	высокий	проблема может быть в конфигурации ИИ
низкий	высокий	технология ухудшает рабочий процесс
низкий	низкий	проблема одновременно в системе и компетенции

Самый интересный для исследования вариант — третья строка. Организация может воспринимать её как успех. Работа выполняется хорошо. Но устойчивость системы уменьшается. В обычных условиях это не проявляется. В нестандартных — становится критическим. Именно поэтому предлагаем дополнить традиционное понятие производительности понятием профессионального резерва.

Профессиональный резерв — это сохранённая способность человека выполнять критические элементы действия при отказе, ограничении, ошибке или неприменимости интеллектуальной системы. Резерв не означает, что сотрудник должен ежедневно вручную повторять всё, что уже автоматизировано. Это было бы экономически бессмысленно. Его функция похожа скорее на резервный контур инженерной системы: он используется редко, но его отсутствие становится принципиальным именно в момент нарушения основного режима.

В этом возникает первый научный вывод статьи: эффективность автоматизации необходимо оценивать не только по тому, что система позволяет человеку больше не делать, но и по тому, что человек после автоматизации всё ещё должен уметь сделать сам.

Если принять идею эрозии компетенции, возникает риск слишком простого объяснения: человек перестал делать → человек разучился. Для научной модели этого недостаточно. Между передачей функции ИИ и реальным снижением профессиональной способности существует промежуточная цепочка. Предлагается следующий механизм:

освоенная функция → технологическое усиление → сокращение самостоятельного выполнения → снижение частоты самостоятельного извлечения и решения → рост доверия к внешнему контуру → изменение структуры внимания → снижение скорости автономного восстановления → возможная эрозия. Здесь нельзя утверждать, что каждый переход неизбежен.

Например, специалист может перестать вручную выполнять расчёт, но продолжать активно проверять логику, прогнозировать результат и разбирать нестандартные случаи. В такой конфигурации ИИ снимает рутину, не обязательно разрушая профессиональное ядро. Поэтому предлагается различать замещающую и усиливающую делегацию. При усиливающей делегации ИИ выполняет часть операции, но человек сохраняет ключевые когнитивные действия. При замещающей — система принимает на себя именно тот фрагмент рассуждения, который ранее поддерживал компетенцию. Представим врача, который получает от системы: «вероятный диагноз — X, вероятность 87 %». Есть два режима использования. В первом врач сначала анализирует данные, формирует собственную гипотезу, затем сопоставляет её с AI-рекомендацией.

Во втором сразу видит диагноз системы и уже после этого ищет подтверждение. Внешне действие почти одинаковое. Когнитивная архитектура различается. Во втором варианте возникает риск так называемого automation bias — склонности придавать автоматизированной рекомендации чрезмерный вес. Исследования человеческого взаимодействия с AI-assisted clinical decision-making показывают, что рекомендации ИИ способны заметно изменять врачебные решения, хотя эффект может быть и положительным, если рекомендация

качественная. Это важное уточнение. Изменение решения под влиянием ИИ само по себе не является проблемой. Если система права, изменение может улучшить результат. Опасен не факт влияния. Опасна потеря способности оценить, когда влияние обосновано. Предлагается пять состояний сохранности компетенции.

C4 — активная автономная компетенция. Человек регулярно выполняет функцию самостоятельно и устойчиво переносит её на новые условия. C3 — поддерживаемая компетенция. Основная деятельность выполняется совместно с ИИ, но автономная способность сохраняется. C2 — латентная компетенция. Функция используется редко; самостоятельное выполнение возможно, но требует дополнительного времени или восстановления. C1 — эродированная компетенция. Человек понимает общий принцип, однако не способен устойчиво выполнить критическую функцию без существенной внешней помощи. C0 — утраченная автономная функция. Практическое самостоятельное выполнение без повторного обучения невозможно.

Таблица 2 — Модель состояний профессиональной компетенции

Состояние	Рабочий результат с ИИ	Выполнение без ИИ	Необходимое действие
C4	высокий	высокий	обычный контроль
C3	высокий	высокий/достаточный	поддерживающая практика
C2	высокий	замедленный, нестабильный	автономная тренировка
C1	высокий возможен	недостаточный	восстановительное обучение
C0	зависит от ИИ	практически невозможно	повторное формирование компетенции

Состояние C2 особенно интересно. Оно показывает, что компетенция необязательно исчезает линейно. Человек может формально «знать, как делать», но время восстановления становится настолько большим, что в реальной аварийной ситуации навык перестаёт выполнять резервную функцию. Поэтому измерять необходимо не только правильность. Имеют значение: скорость ориентации; число подсказок; способность распознать нетипичную ситуацию; самостоятельное восстановление алгоритма; качество решения при изменённых условиях. Предлагается понятие задержки профессионального восстановления.

Обозначим: T_v = время, необходимое специалисту для перехода от отключения AI-поддержки к устойчивому самостоятельному выполнению критической функции. Если раньше действие выполнялось за 10 минут, а после нескольких лет автоматизации человеку требуется два часа на восстановление логики, формально компетенция может ещё существовать. Функционально её резервная ценность уже значительно ниже. Именно этим скрытая эрозия отличается от обычного забывания учебного материала. Речь идёт не просто о памяти. Это изменение готовности компетенции к использованию.

Если искусственный интеллект выполняет операцию быстрее и точнее человека, зачем вообще сохранять человеческий навык? Ответ: не всегда нужно.

И это принципиальное ограничение статьи. Инженерия сохранности компетенции не должна превращаться в музей ручного труда. Нет смысла заставлять специалиста регулярно выполнять ручную операцию только потому, что двадцать лет назад она считалась признаком профессионализма. Технологическое развитие закономерно изменяет профессиональный профиль. OECD в 2026 году указывает, что AI меняет содержание профессионального образования и одновременно сохраняет значимость критического мышления, суждения и творческих человеческих функций как механизмов контроля и интерпретации результатов

автоматизированных систем [3,4]. Поэтому необходимо разделить функции. Предлагается три класса.

Класс D — окончательно делегируемые функции. Их самостоятельное выполнение человеком больше не представляет существенной профессиональной ценности, если технология достаточно зрелая и имеется надёжный резервный механизм другого типа. Например, рутинное форматирование отчёта.

Класс K — контролируемо делегируемые функции. ИИ может выполнять основную работу, но человек обязан сохранять способность понять результат, проверить ключевые элементы и обнаружить выход системы за пределы допустимого режима.

Класс R — резервно-сохраняемые функции. Человек должен периодически подтверждать способность самостоятельного выполнения, поскольку ошибка или недоступность ИИ создаёт неприемлемый риск. Здесь появляется фундаментальный критерий. Решение о сохранении навыка должно зависеть не от его традиционного статуса, а от ответа на вопрос: что произойдёт, если человек окончательно перестанет владеть этой функцией? Если ничего существенного — навык может быть делегирован. Если исчезает способность контролировать ИИ — функция должна сохраняться. Если исчезает возможность действовать при отказе системы — тем более. Можно предложить индекс критичности человеческой функции: $I_{kf} = P_o \times S_p \times N_z$, где:

P_o — условная вероятность возникновения ситуации, требующей автономного действия;
 S_p — тяжесть последствий неспособности действовать;

N_z — степень незаменимости человека другим доступным резервным контуром.

Формула не является готовой нормативной моделью риска. Она показывает логику отбора: навык тем важнее сохранять, чем выше вероятность необходимости, цена отказа и отсутствие альтернативного резерва.

Таблица 3 — Пример распределения профессиональных функций

Функция	Возможная категория	Почему
Форматирование документа	D	потеря ручного навыка не критична
Типовой расчёт	D/K	зависит от профессии и цены ошибки
Интерпретация результата расчёта	K	необходим контроль смысла
Проверка исходных предпосылок	K/R	ошибка ИИ может быть незаметна
Действие при отказе автоматизации	R	необходим резерв
Выявление нетипичной ситуации	R	система может не распознать выход за обученный режим
Ответственное профессиональное решение	R	требует человеческого суждения и ответственности
Рутинный поиск информации	D/K	может быть автоматизирован при сохранении проверки источника

Но даже класс R не означает необходимость сохранять весь старый рабочий процесс. Возьмём условного промышленного специалиста. Раньше он анализировал 50 параметров вручную. ИИ теперь делает это автоматически. Нет необходимости заставлять его ежедневно повторять полный анализ. Но можно сохранить три человеческие способности: самостоятельно определить наиболее критичные параметры; распознать физически невозможный или внутренне противоречивый вывод системы; перевести процесс в безопасное состояние при отказе автоматизации. Это и есть минимально необходимый

профессиональный резерв. Здесь появляется важный сдвиг. Вопрос уже не: «Какие старые навыки мы потеряем из-за ИИ?» Он звучит иначе: «Какой минимальный самостоятельный контур должен оставаться у человека, чтобы автоматизация не превратила профессионала в оператора подтверждения машинного решения?» Это значительно более строгая задача. И она позволяет избежать технологического консерватизма. Мы не защищаем прошлую структуру профессии. Мы проектируем новую.

Если критические функции определены, возникает организационный вопрос: как поддерживать их, не отказываясь от постоянного использования ИИ? Предлагается механизм автономной контрольной пробы. Его смысл прост: в определённые моменты специалист выполняет критическую часть профессионального действия без содержательной помощи искусственного интеллекта. Не весь рабочий день. Не всю профессию. Только тот фрагмент, сохранность которого организация считает необходимой. Это принципиально отличается от обычного тестирования знаний. Проверяется не: «помните ли вы правило?» А: «можете ли вы сейчас выполнить функцию, если интеллектуальный внешний контур недоступен?» Пример. Специалист постоянно получает AI-рекомендации по диагностике оборудования. Раз в определённый период система выбирает обезличенный исторический кейс. AI-диагностика скрывается. Специалист должен: проанализировать данные; выделить аномалию; сформировать гипотезу; предложить действие; указать уровень уверенности. После завершения показывается AI-решение и фактический результат кейса. Таким образом сохраняется одновременно: автономное действие; сравнение с машиной; и обучение на расхождении. Можно выделить четыре вида автономной пробы. Проба воспроизведения — выполнить известный тип действия без ИИ. Проба переноса — решить новую ситуацию того же класса. Проба отказа — продолжить работу после искусственного отключения части автоматизации. Проба машинной ошибки — обнаружить специально включённую неверную AI-рекомендацию. Последняя особенно полезна. Она переводит профессиональную роль человека от простого использования ИИ к аудиту интеллектуальной системы.

Таблица 4 — Типы автономных контрольных проб

Проба	Что проверяется	Основной риск
Воспроизведение	сохранность базового действия	формальное заучивание
Перенос	глубина компетенции	высокая сложность стандартизации
Отказ системы	готовность резервного контура	стресс и искусственность ситуации
AI-ошибка	способность контролировать автоматизацию	обучающийся начинает искать ошибку там, где её нет
Ограниченные данные	профессиональное суждение	неоднозначность оценки

Для наблюдения предлагается коэффициент сохранности компетенции:

$K_{ск} = Q_{авт} / Q_{эт} \times 100 \%$, где:

$Q_{авт}$ — качество самостоятельного выполнения критической функции;

$Q_{эт}$ — качество установленного эталонного уровня, зафиксированного после формирования компетенции или по действующему профессиональному стандарту.

Например: после первоначальной подготовки специалист получил 92 балла из 100. Через два года работы преимущественно с AI-поддержкой автономная проба дала 78 баллов. $K_{ск} = 78 / 92 \times 100 \% = 84,8 \%$. Но 84,8 % нельзя автоматически объявить «допустимой сохранностью». Порог зависит от функции. Для одной операции этого может быть достаточно. Для другой снижение даже на несколько процентов недопустимо. Кроме того, сравнение с прежним результатом имеет ограничение: человек мог не деградировать, а измениться структура самой задачи. Поэтому необходимо периодически пересматривать эталон. Второй

показатель — индекс технологической зависимости: $I_{tz} = (QAI - Q_{авт}) / QAI \times 100 \%$. Если: $QAI = 95$, $Q_{авт} = 76$, то:

$I_{tz} = (95 - 76) / 95 \times 100 \% = 20 \%$. Показатель не говорит, что человек «на 20 % зависит от ИИ» в психологическом смысле. Он показывает величину разрыва результатов двух режимов. Чем быстрее этот разрыв растёт во времени, тем сильнее основание проверить профессиональный резерв. Но и здесь есть ловушка. Большой разрыв не обязательно плох. Если ИИ позволяет специалисту выполнять операцию в десять раз лучше — прекрасно. Критическим становится другой вопрос: остаётся ли $Q_{авт}$ выше минимального безопасного уровня Q_{min} ?

То есть основное условие: $Q_{авт} \geq Q_{min}$. С этого момента модель становится организационно полезной. Не нужно стремиться к тому, чтобы человек без ИИ работал так же хорошо, как с ИИ. Это было бы отрицанием смысла технологии.

Нужно сохранить уровень, достаточный для выполнения резервной человеческой функции. Можно представить: эффективная AI-система = максимизация QAI при сохранении $Q_{авт} \geq Q_{min}$. Вот эта формула хорошо выражает всю идею статьи. Не конкурировать с искусственным интеллектом. Не сохранять человеку всё. Но и не допускать падения человеческого резерва ниже уровня, после которого он уже не способен контролировать систему. Интервал автономной проверки. Остаётся ещё один инженерный вопрос: как часто проводить такие пробы? Слишком часто — теряется время и часть экономического эффекта автоматизации. Слишком редко — эрозия обнаруживается поздно. Универсальный календарь здесь вряд ли возможен. Предлагается определять интервал через сочетание: частоты обычного самостоятельного использования навыка; критичности функции; скорости предыдущего снижения; сложности восстановления; изменения технологии. То есть специалист, который и так регулярно принимает автономные решения, может проверяться реже. Человек, который годами только подтверждает AI-вывод, — чаще. Возникает адаптивный интервал сохранности компетенции. И это уже потенциально самостоятельный цифровой модуль системы обучения персонала.

Пока профессиональная компетенция чаще рассматривается в бинарной логике: сформирована; не сформирована. Или: соответствует требованиям; не соответствует. Но при длительном использовании ИИ этого недостаточно. Необходима динамическая модель. Компетенция имеет жизненный цикл:

формирование → применение → технологическое усиление → частичная делегация → контроль сохранности → восстановление или дальнейшая делегация → изменение самой компетенции. Здесь важен последний этап. Иногда обнаруженное снижение старой функции — не основание восстанавливать её. Оно может быть сигналом, что профессиональный стандарт необходимо пересмотреть. Например, программист будущего может писать значительно меньше типового кода, но гораздо больше времени тратить на: архитектуру; формулирование требований; проверку AI-generated code; безопасность; интеграцию; верификацию поведения агентных систем.

Работы 2026 года по изменению software engineering уже описывают сдвиг ценности от непосредственного производства кода к specification quality, architectural reasoning, verification и oversight. При этом часть авторов одновременно указывает на риск ослабления пути, по которому младшие специалисты раньше приобретали опыт через выполнение рутинных задач[5].

Это важное противоречие. Рутинная работа может быть экономически не нужна. Но именно она иногда была учебным механизмом формирования будущего эксперта. Если её автоматизировать, организация получает краткосрочную эффективность. Но через несколько лет может столкнуться с другим вопросом: откуда возьмутся старшие специалисты, если значительная часть опыта, на котором они раньше формировались, теперь выполняется ИИ?

Мы не можем подтвердить, что такой эффект неизбежно возникнет в профессиях в целом. Существующие исследования пока не дают основания для столь широкого причинного

вывода. Но как организационная и педагогическая гипотеза эта проблема уже имеет эмпирические сигналы и заслуживает отдельного исследования. Отсюда необходимо различать: сохранение индивидуальной компетенции и сохранение воспроизводства компетенции в организации. Первое касается конкретного специалиста. Второе — способности организации выращивать новых специалистов. Это разные уровни.

Таблица 5 — Жизненный цикл компетенции в AI-насыщенной организации

Стадия	Основной вопрос	Решение
Формирование	что человек должен освоить сам?	базовая автономная подготовка
Освоение ИИ	что технология способна усилить?	controlled AI assistance
Делегация	что рационально передать системе?	распределение D/K/R
Сохранность	что человек всё ещё должен уметь?	автономные контрольные пробы
Эрозия	снизился ли резерв ниже допустимого?	восстановительное обучение
Трансформация	нужен ли старый навык вообще?	пересмотр модели компетенции
Воспроизводство	как обучится следующий специалист?	сохранение развивающих задач

Последняя строка принципиальна. Организация может прекрасно сохранить навыки сегодняшних экспертов и одновременно разрушить механизм формирования экспертов завтрашних. Поэтому зрелая система должна хранить не только резервные навыки, но и развивающие задачи. Предлагается назвать их задачами профессионального формирования. Это действия, которые можно автоматизировать с производственной точки зрения, но которые временно оставляются обучающемуся, потому что без их самостоятельного прохождения трудно сформировать более сложную компетенцию. Например, начинающему специалисту иногда полезно самостоятельно: разобрать первичные данные; найти ошибку; написать простой алгоритм; выполнить расчёт; провести первоначальную диагностику. Не потому, что организация не умеет автоматизировать эти действия. А потому, что они выполняют педагогическую функцию. И здесь производственная логика сталкивается с образовательной. Производство говорит: «ИИ делает быстрее — передайте ему». Педагогика отвечает: «Если передать сейчас, человек может никогда не сформировать основание для следующего уровня компетенции». Ни одна сторона не права автоматически. Необходим баланс. Именно это и делает проблему инженерной.

Предлагаемая система управления сохранностью компетенций. На уровне организации модель может включать семь действий. 1. Декомпозиция профессии. Профессиональная роль разбивается на реальные когнитивные и операционные функции. 2. Определение уровня AI-автоматизации каждой функции. Не просто «используется ИИ», а что именно он делает. 3. Классификация функций D/K/R. Что можно делегировать, что требует контроля, что должно сохраняться в человеческом резерве. 4. Установление Q_{min} . Для каждой R-функции определяется минимально допустимый автономный уровень. 5. Периодические автономные пробы. Не экзамен ради экзамена, а проверка готовности резервного контура. 6. Восстановительная практика. Если $Q_{авт}$ приближается к Q_{min} , система увеличивает долю самостоятельных действий. 7. Пересмотр самой модели компетенции. Если функция технологически потеряла смысл, она исключается из R и заменяется новой профессионально значимой способностью. Получается замкнутый контур:

профессия → автоматизация → классификация → контроль → восстановление → трансформация профессии → новая классификация. Вот это уже не просто обучение сотрудников. Это управление жизненным циклом человеческой компетенции в AI-системе труда. Экспериментальная проверка модели. Для научной апробации предлагается продольный дизайн. Краткий эксперимент на одно занятие здесь малоинформативен, потому

что скрытая эрозия по определению является процессом во времени. Можно сформировать три группы. Группа А — автономное выполнение. ИИ не используется для целевой функции. Группа В — постоянная AI-поддержка. ИИ доступен постоянно. Группа С — AI-поддержка с контуром сохранности. ИИ используется в обычной работе, однако через установленные интервалы проводятся автономные пробы и восстановительные задания. В начале исследования необходимо измерить исходную автономную компетентность. Далее участники работают в разных режимах. Например, 3–6 месяцев, если предмет и условия позволяют такой дизайн. В промежуточных точках проводится необъявленная или стандартизированная автономная диагностика. Измеряются: QAI — качество с ИИ; Qавт — автономное качество; Тв — время самостоятельного восстановления; число содержательных подсказок; способность обнаружить неправильный AI-вывод; качество переноса на нестандартный кейс; субъективная уверенность; время решения. После основного периода необходимо провести отсроченную проверку. Основной гипотезой может быть: регулярные автономные контрольные пробы позволят поддерживать более высокий уровень самостоятельного выполнения критических профессиональных функций при сохранении преимуществ AI-assisted работы по сравнению с режимом постоянной AI-поддержки без специально организованного контура сохранности. Это гипотеза. До эксперимента утверждать её как доказанный результат нельзя. Кроме того, альтернативный результат тоже научно ценен. Возможно, для определённых навыков никакой значимой эрозии не возникнет. Или восстановление окажется настолько быстрым, что регулярные проверки экономически не оправданы. Или использование ИИ, наоборот, углубит компетенцию благодаря доступу к более сложным случаям. Именно поэтому необходимо измерять, а не предполагать. Ограничения предлагаемого подхода.

У модели есть несколько слабых мест. Первое — опасность искусственного сохранения устаревших навыков. Организация может начать защищать функции, которые больше не нужны. Второе — стоимость автономных проб. Время высококвалифицированного специалиста дорого. Третье — эффект тестирования. Если сотрудники знают формат проверки, они могут поддерживать способность пройти тест, но не реальную профессиональную готовность. Четвёртое — сложность определения Q_{min} . Для многих интеллектуальных профессий не существует простой границы «достаточно/недостаточно». Пятое — изменение самой профессии. Через несколько лет компетенция может быть настолько перераспределена между человеком и системой, что сравнение с прежним эталоном потеряет смысл. Шестое — проблема причинности. Если автономный результат специалиста снизился после внедрения ИИ, нельзя автоматически заключать, что причиной стал ИИ. Возможны уменьшение практики вообще, изменение задач, возраст, организационные условия, смена стандартов, мотивация и другие факторы. Поэтому термин «скрытая эрозия» должен использоваться как диагностическая гипотеза до установления механизма.

Искусственный интеллект постепенно переводит дискуссию о профессиональной компетентности в необычную плоскость. В течение долгого времени главной задачей образования было сформировать способность человека выполнить работу. Теперь всё больше профессиональных действий можно выполнить даже тогда, когда часть собственной человеческой способности недостаточна: дефицит компенсирует интеллектуальная система. Это повышает производительность. Но одновременно разрушает привычный способ диагностики. По качеству работы становится труднее определить качество самого профессионального резерва человека. Поэтому одной из задач будущего профессионального образования может стать не только формирование новых AI-компетенций, но и управление сохранностью тех человеческих функций, которые после внедрения ИИ используются реже, но остаются критическими. В статье предложено понятие скрытой эрозии компетенции — снижения автономной профессиональной способности, которое маскируется высоким результатом совместной системы «человек + ИИ». Однако сама возможность эрозии не является аргументом против автоматизации. История технологий построена на передаче

машине функций, которые человеку больше нет необходимости выполнять вручную. Поэтому научная проблема заключается не в сохранении всех навыков. Она заключается в отборе навыков для сохранения.

Предложено разделение функций на: D — делегируемые; K — контролируемо делегируемые; R — резервно-сохраняемые. Для R-функций вводится понятие минимального автономного уровня Q_{min} . Отсюда формулируется центральный принцип работы: ИИ должен максимально усиливать профессиональный результат при условии, что автономная способность человека по критическим функциям не опускается ниже минимально необходимого резервного уровня. Именно поэтому ключевой критерий будущей AI-интеграции может выглядеть не как: «Сколько работы мы автоматизировали?» и даже не только: «Насколько выросла производительность?» А так: «Что произойдёт с профессиональной системой, если завтра интеллектуальный помощник даст неправильное решение именно в нетипичной ситуации?» Если специалист способен заметить ошибку, понять её, принять управление и продолжить действие — автоматизация усилила профессию. Если человек может лишь ждать, когда исправится система, — произошла уже другая трансформация. Возможно, она экономически всё равно оправдана. Но тогда организацию необходимо честно признать: человеческая функция перестала быть резервом. Это имеет последствия не только для работы, но и для образования. Самая сложная проблема может проявиться не у сегодняшнего эксперта. Эксперт уже прошёл путь формирования компетенции до появления AI-агентов.

Если начинающий специалист с первого дня получает правильную гипотезу, готовый анализ, код, расчёт и объяснение от ИИ, часть прежней «рутинной работы» действительно исчезает. Но вместе с ней может исчезнуть и опыт, из которого раньше постепенно собиралась профессиональная интуиция.

Поэтому образование будущего не может копировать старую систему и одновременно не должно безусловно автоматизировать всё, что технологически возможно. Ему придётся проектировать искусственные участки самостоятельно. Не потому, что машина плохая. Напротив — именно потому, что она становится слишком хорошей. Это и есть главный научный смысл предлагаемой концепции. Чем сильнее становится искусственный интеллект, тем менее рационально учить человека соревноваться с ним в выполнении каждой операции. Но тем важнее становится точно определить тот человеческий профессиональный остаток, который нельзя потерять без потери способности понимать, контролировать и в критический момент заменить интеллектуальную систему. Задача будущей педагогики поэтому состоит уже не только в передаче компетенции. Она становится более инженерной:

сформировать → усилить ИИ → делегировать → измерить остаток → сохранить критическое → восстановить при снижении → пересмотреть, когда изменилась профессия.

Именно такой цикл позволяет говорить не о защите человека от искусственного интеллекта, а о проектировании устойчивой системы, в которой развитие ИИ не происходит ценой незаметного исчезновения самого профессионала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Budzyń K., Romańczyk M., Kitala D. et al. Endoscopist deskilling risk after exposure to artificial intelligence in colonoscopy: a multicentre, observational study // *The Lancet Gastroenterology & Hepatology*. 2025. Vol. 10. P. 896–903. DOI: 10.1016/S2468-1253(25)00133-5.
2. Arnold V. Can knowledge based systems be designed to counteract de-skilling effects? // *International Journal of Accounting Information Systems*. 2023.
3. OECD. *Developing Vocational Education and Training with Artificial Intelligence*. Paris: OECD Publishing, 2026.
4. OECD. *How to effectively use Generative AI in education*. 19 January 2026.
5. Yu S., Moon T. *Who Will Become the Next Senior? How Generative AI Erodes the Development Pathway in Software Engineering*. 2026.

УДК 332.1

**ИНЖЕНЕРИЯ ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ: МОДЕЛЬ
ФОРМИРОВАНИЯ КАЛИБРОВАННОГО ДОВЕРИЯ К ИСКУССТВЕННОМУ
ИНТЕЛЛЕКТУ В УСЛОВИЯХ КОНКУРИРУЮЩИХ МАШИННЫХ РЕШЕНИЙ**

ГЕЛЬМАНОВА ЗОЯ САЛИХОВНА

Профессор, Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

САУЛЬСКИЙ ЮРИЙ НИКОЛАЕВИЧ

Магистр, Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

САУЛЬСКАЯ ОЛЬГА АНАТОЛЬЕВНА

Модератор, ОШ № 11, Темиртау, Казахстан

FAYEZ WAZANI ABDUL WALID

Магистр, Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

THUKU HARRISON

Магистрант, Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

Аннотация. Развитие генеративных и агентных систем искусственного интеллекта создаёт для образования проблему, которая выходит за пределы ошибочных ответов и так называемых галлюцинаций. По мере роста возможностей интеллектуальных систем обучающийся всё чаще будет сталкиваться не с очевидно правильным или неправильным машинным ответом, а с несколькими логически убедительными, профессионально оформленными, но различающимися решениями. В такой ситуации традиционная образовательная модель, ориентированная преимущественно на поиск правильного ответа, оказывается недостаточной. Возникает необходимость формировать способность определять степень достоверности вывода, различать факт и интерпретацию, выявлять источник расхождения, соотносить уверенность с доказательствами и откладывать решение при недостаточности оснований.

Современные исследования показывают, что проблема доверия к искусственному интеллекту не сводится к его повышению: педагогически и практически значимым является калиброванное доверие, при котором степень зависимости человека от системы соответствует её реальным возможностям и ограничениям. Исследования больших языковых моделей одновременно выявляют трудности корректного выражения собственной неопределённости и расхождения между воспринимаемой и фактической уверенностью модели.

В статье предлагается концепция инженерии педагогической неопределённости — целенаправленного проектирования учебных ситуаций, в которых обучающийся должен работать с неполными, противоречивыми и конкурирующими интеллектуальными выводами. Вводятся понятия «педагогическое событие неопределённости», «эпистемический резерв», «карта расхождений», «порог доказательной достаточности», «точка эскалации решения» и «калибровочный разрыв». Разрабатывается модель обучения через конкурирующие AI-решения и предлагается переход от проверки правильности ответа к оценке качества принятия решения в условиях неопределённости. Авторская позиция заключается в том, что одной из ключевых компетенций человека в зрелой AI-среде станет не способность всегда находить ответ, а способность распознавать момент, когда имеющихся оснований ещё недостаточно для ответа.

Ключевые слова: инженерия педагогики, искусственный интеллект, педагогическая неопределённость, калиброванное доверие, принятие решений, AI literacy, критическое

ОФ «Международный научно-исследовательский центр “Endless Light in Science”

мышление, эпистемическая автономия, человеко-машинное взаимодействие, генеративный ИИ, агентный ИИ.

Долгое время одна из базовых конструкций образования выглядела достаточно устойчиво. Есть задача. У неё существует правильное решение. Преподаватель знает его. Обучающийся должен к нему прийти. Даже там, где возможны различные позиции, образовательный процесс обычно стремится уменьшить неопределённость: уточнить понятия, объяснить причинную связь, предоставить дополнительные данные и в конечном счёте сформировать обоснованный вывод. Искусственный интеллект сначала казался продолжением этой логики. Человек задаёт вопрос — система помогает получить ответ. Однако дальнейшее развитие ИИ постепенно создаёт принципиально другую ситуацию.

Представим специалиста, который обращается не к одной, а к нескольким интеллектуальным системам. Первая рекомендует решение А. Вторая — решение В. Третья утверждает, что имеющихся данных недостаточно. Все три ответа подробно аргументированы. Все содержат ссылки на факты. Каждый написан профессионально. Какой ответ выбрать? Само наличие нескольких систем проблему не устраняет. Наоборот, оно может сделать её более видимой.

Исследования человеко-машинного взаимодействия уже показывают, что комбинация человека и ИИ сама по себе не гарантирует превосходящего результата. Метаанализ Vassaro и соавторов обнаружил, что в рассмотренных исследованиях human–AI combinations в среднем не превосходили лучшего из участников системы; характер эффекта существенно зависел от типа задачи. В частности, положительные эффекты чаще наблюдались в задачах создания контента, тогда как в задачах принятия решений картина была менее благоприятной [5]. Следовательно, формула: человек + ИИ = более правильное решение не является универсальным законом. Тем более нельзя автоматически предполагать: человек + несколько ИИ = ещё более правильное решение. Возникает иной класс компетенции — способность работать с расхождением интеллектуальных источников.

Проблема усиливается особенностями самих языковых моделей. Исследование Steyvers и соавторов показывает, что для доверия к LLM принципиальна способность корректно оценивать и сообщать собственную неопределённость, однако восприятие людьми выраженной моделью уверенности и реальная вероятность правильности могут расходиться. В отдельных высокорисковых областях исследования также обнаруживают разрыв между фактической успешностью модели и выражаемой ею уверенностью [2]. Это означает, что будущему специалисту недостаточно научиться спрашивать: «Что думает ИИ?» Необходимо научиться задавать следующие вопросы: Почему системы разошлись? Какая часть ответа является фактом, а какая — интерпретацией? Есть ли вообще достаточные основания для выбора? Какова цена ошибки? Можно ли принять решение сейчас или необходимы дополнительные данные? Когда решение следует передать эксперту? И, возможно, самый трудный вопрос: «Что должно произойти, чтобы я изменил своё решение?» UNESCO в AI Competency Framework for Students уже связывает AI-компетентность не только с использованием технологий, но с критическим суждением об AI-решениях, сохранением человеческой ответственности и недопустимостью передачи системе человеческого выбора в высокорисковых решениях [1]. Но между общим требованием «критически оценивать ИИ» и реальной педагогической технологией остаётся пространство. Именно его предлагается заполнить инженерией педагогической неопределённости.

Цель исследования — разработать концептуальную модель формирования способности принимать обоснованные решения в условиях неполной информации, различающихся AI-рекомендаций и неопределённой достоверности машинного вывода.

Самая простая учебная задача хорошо подходит для контроля. Сколько будет 7×8 ? Ответ либо правильный, либо нет. Но профессиональная реальность значительно чаще выглядит иначе. Следует ли запускать инвестиционный проект? Какова причина

производственного отклонения? Какой диагноз наиболее вероятен? Следует ли менять технологический режим? Как интерпретировать противоречащие исследования? Можно ли принять кандидата на конкретную должность? Какой управленческий сценарий имеет меньший риск? Здесь правильность часто невозможно определить одним действием. Есть данные. Их качество различается. Есть модели. У каждой свои предпосылки. Есть неизвестные параметры. Есть цена ошибки. Есть решения, которые необходимо принимать ещё до исчезновения всей неопределённости. ИИ не отменяет эту структуру. Он входит внутрь неё. Поэтому предлагается понятие педагогического события неопределённости. Под ним понимается учебная ситуация, в которой доступные данные или интеллектуальные источники не позволяют механически получить единственный подтверждённый вывод, вследствие чего обучающийся должен установить природу неопределённости и выбрать дальнейшее действие. Принципиальная особенность такой ситуации заключается в том, что ответ: «имеющихся данных недостаточно» может оказаться более компетентным, чем уверенный выбор варианта А или В. Это меняет саму педагогическую логику. Традиционное задание фактически стимулирует завершение: вопрос → ответ. Предлагаемое:

вопрос → данные → оценка оснований → выявление неопределённости → решение о возможности решения → ответ / дополнительный запрос / эскалация.

То есть отсутствие немедленного ответа перестаёт автоматически считаться неспособностью обучающегося решить задачу. Иногда это признак зрелости решения. Вводится понятие эпистемического резерва. Эпистемический резерв — способность обучающегося временно удерживать окончательный вывод, когда доказательная база ещё недостаточна для его принятия. Это не нерешительность. Разница принципиальная. Нерешительность: «Я не знаю, что выбрать». Эпистемический резерв: «Я понимаю, каких данных недостаточно для обоснованного выбора и каким способом их необходимо получить».

Таблица 1 — Различие неуверенности и эпистемического резерва

Состояние	Характеристика
Незнание	обучающийся не понимает проблему
Неуверенность	понимает варианты, но не способен выбрать
Избыточная уверенность	принимает решение при недостаточных основаниях
Эпистемический резерв	осознанно откладывает вывод и определяет недостающие доказательства
Обоснованное решение	принимает решение при достаточном уровне оснований

Именно эпистемический резерв может стать одним из центральных образовательных результатов эпохи ИИ. Парадоксально, но чем быстрее машина производит ответ, тем важнее становится человеческая способность не спешить считать этот ответ решением.

Если две AI-системы дают разные ответы, простая реакция — спросить третью. Но третья модель не превращает автоматически два спорных вывода в истину. Можно получить голосование: 2 против 1. Однако большинство моделей не является доказательством правильности, особенно если они обучались на близких массивах данных, используют сходные источники или повторяют общий ошибочный паттерн. Поэтому сам факт расхождения должен становиться предметом анализа. Предлагается карта неопределённости. Она строится не вокруг ответа, а вокруг происхождения разногласия. Можно выделить как минимум пять источников. Информационная неопределённость. Недостаточно исходных данных. Пример: невозможно точно спрогнозировать срок проекта, поскольку отсутствует информация о поставках оборудования. Модельная неопределённость. Различные модели интерпретируют одинаковые данные различным способом. Контекстная неопределённость. Ответ зависит от условий, которые не были явно определены в запросе. Нормативная неопределённость. Существуют различные допустимые критерии решения. Например, один

вариант минимизирует стоимость, другой — риск, третий — время. Ценностная неопределённость. Решение зависит не только от фактов, но и от приоритетов участников. Так появляется инженерная последовательность: расхождение → локализация расхождения → определение его типа → дополнительное доказательство → повторное решение.

Таблица 2 — Карта источников неопределённости

Тип	Почему возникло расхождение	Что делать
Информационная	не хватает данных	получить данные
Модельная	разные способы анализа	сравнить предпосылки
Контекстная	условие неполно	уточнить постановку задачи
Нормативная	различаются критерии	определить приоритет
Ценностная	различаются допустимые предпочтения	решение человека / группы
Источниковая	используются разные доказательства	проверить первичные источники

Здесь открывается новый тип учебного задания. Обучающемуся не говорят: «Используйте ИИ для поиска правильного ответа». Ему дают три ответа. Например: AI-A: проект следует запускать. AI-B: проект необходимо отложить. AI-C: проект допустим только при выполнении дополнительных условий. Задача студента — не проголосовать за понравившийся вариант. Он должен восстановить: какие данные использует каждая система; какие предпосылки принимает; где находится реальное противоречие; какие факты способны снять это противоречие; какая неопределённость останется даже после получения дополнительных данных. Так появляется обучение на машинном несогласии. Это принципиально другой дидактический материал. Раньше преподаватель создавал один правильный пример и несколько неправильных. В будущей конструкции преподаватель может создавать несколько правдоподобных интеллектуальных позиций, каждая из которых содержит сильную и слабую сторону. Обучающийся работает уже не с ответом. Он работает со структурой знания.

Обсуждение ИИ часто строится вокруг предупреждения: «Не доверяйте искусственному интеллекту». Как временная защитная установка это понятно. Но как образовательная цель — недостаточно. Если система в конкретной области демонстрирует очень высокую надёжность, систематическое игнорирование её рекомендаций также может снижать качество решений. Поэтому задача не в максимальном недоверии. Она заключается в правильно распределённом доверии.

Систематический обзор исследований appropriate trust в human–AI interaction рассматривает именно калибровку доверия как проблему соответствия между возможностями системы и степенью человеческой зависимости от неё; рисками являются как over-reliance, так и under-reliance [4]. Отсюда вводится педагогическое понятие калиброванного доверия обучающегося. Это способность изменять степень доверия к интеллектуальной системе в зависимости от: надёжности источников; сложности задачи; известных ограничений модели; качества доказательства; цены возможной ошибки; наличия независимой проверки. То есть один и тот же обучающийся может обоснованно: на 95 % доверять ИИ при форматировании стандартной таблицы; значительно меньше — при интерпретации неоднозначной научной литературы; и вообще отказаться от автономного машинного решения, если речь идёт о необратимом высокорисковом действии. Не потому, что ИИ «хороший» или «плохой». Потому что риск и доказательная структура различны. Для учебной диагностики предлагается калибровочный разрыв:

$G_k = |C - A|$, где:

G_k — калибровочный разрыв;

С — субъективная уверенность обучающегося в решении от 0 до 1;

А — фактическая корректность решения в нормированном виде.

Для одиночного задания такой показатель ограничен. Более содержательной является его средняя величина по серии решений. Например, человек систематически присваивает собственным выводам уверенность около 0,9, но правильно решает приблизительно 60 % сопоставимых диагностических задач. Это не означает автоматически, что разница 0,3 является точной психологической величиной его «самоуверенности». Но она даёт сигнал: уверенность растёт быстрее, чем подтверждённая результативность.

Исследования uncertainty communication у LLM дополнительно показывают, что выражение моделью уверенности само является сложным объектом: пользователи могут по-разному интерпретировать словесные маркеры вероятности, а модельная уверенность не всегда хорошо соответствует фактической правильности [3]. Поэтому обучение нельзя строить так: «ИИ сказал, что уверен на 95 %, значит вероятность правильности — 95 %». Число требует интерпретации.

Таблица 3 — Матрица доверия к AI-решению

Уверенность ИИ	Независимые доказательства	Педагогически зрелое действие
высокая	сильные	принять с контролем
высокая	слабые	проверить
низкая	сильные	исследовать причину расхождения
низкая	слабые	не принимать окончательного решения
несколько согласны	ИИ один общий источник	согласие не считать независимым подтверждением
несколько расходятся	ИИ сильные источники у одной позиции	приоритет доказательству, а не числу моделей

Отсюда следует важный принцип: калибровка доверия должна строиться относительно доказательств, а не убедительности речи системы. ИИ может ошибаться очень профессионально. И это, вероятно, будет становиться не менее, а более важной проблемой по мере улучшения качества машинной коммуникации.

В реальной деятельности невозможно проверять каждое машинное решение бесконечно. Это сделало бы использование ИИ бессмысленным. Поэтому будущему специалисту требуется ещё одна компетенция: понимать, сколько проверки достаточно. Предлагается понятие порога доказательной достаточности. Это минимальный уровень независимых оснований, при котором решение допускается к принятию для конкретного класса риска. Здесь возникает важная зависимость: чем выше цена ошибки, тем выше должен быть порог доказательной достаточности. Например, опечатка в рекламном тексте и решение, влияющее на безопасность производственного оборудования, не должны проходить одинаковый контур проверки. Можно условно выделить четыре класса: R1 — обратимое малорисковое решение. Ошибка легко исправляется. R2 — значимое, но обратимое. Ошибка несёт затраты. R3 — высокорисковое. Последствия существенны для людей, организации или значительных ресурсов. R4 — критическое или труднообратимое. Необходим независимый человеческий контроль и формализованная ответственность. Это не универсальная нормативная классификация, а предлагаемая педагогическая модель. Её смысл — научить студента связывать режим проверки с последствиями ошибки.

Таблица 4 — Риск и глубина проверки

Класс	Тип решения	Возможная работа с ИИ
R1	малорисковое и обратимое	AI-first, выборочная проверка

R2	значимое	обязательная верификация ключевых фактов
R3	высокорисковое	независимое подтверждение, альтернативная модель
R4	критическое	ИИ — консультативный слой, окончательное решение человеком/уполномоченной системой

Здесь появляется ещё один авторский элемент — точка эскалации.

Точка эскалации — состояние, при котором дальнейшая самостоятельная работа обучающегося с ИИ уже не обеспечивает достаточной доказательной надёжности и решение должно быть передано на более высокий уровень компетенции. Сегодня студент часто считает обращение к преподавателю признаком того, что «не смог решить». В инженерной модели ситуация меняется. Правильно определённая эскалация сама становится компетенцией. Например:

«Я проанализировал три AI-рекомендации. Расхождение возникает из-за различного толкования нормативного ограничения. Первичного источника в имеющихся материалах нет. Цена неправильного решения высока. Поэтому окончательный вывод без проверки профильным специалистом не делаю» Это не поражение. Это профессионально зрелое действие.

В высокорисковых областях подобный принцип особенно существенен. UNESCO прямо подчёркивает сохранение человеческой ответственности и необходимость не передавать значимый человеческий выбор ИИ в high-stakes decision-making [8]. При этом границы эскалации должны преподаваться не как абстрактная этика. Нужны реальные задачи. Когда можно продолжить самостоятельно? Когда достаточно второго источника? Когда требуется эксперт? Когда необходимо остановить процесс? Именно здесь инженерия педагогической неопределённости соединяется с инженерией безопасности.

Если идею довести до практического образовательного инструмента, возникает довольно необычная модель будущего занятия. Не один AI-тьютор. А несколько интеллектуальных позиций. Система намеренно создаёт обучающемуся ситуацию расхождения. Например, студент получает производственный кейс. AI-аналитик предлагает экономически выгодное решение. AI-риск-эксперт считает его недостаточно безопасным. AI-юрист указывает на нормативное ограничение. AI-скептик специально ищет слабые места всех трёх решений. Необходимо принять решение. Но правильная педагогическая конструкция не спрашивает: «Какой ИИ прав?» Она требует построить собственный протокол разрешения расхождения. Предлагается последовательность: 1. Собственная исходная позиция. До просмотра AI-рекомендаций обучающийся фиксирует предварительную гипотезу. 2. Получение конкурирующих выводов. Не менее двух содержательно различающихся вариантов. 3. Карта расхождений. Фиксируются не тексты целиком, а конкретные точки несогласия. 4. Разделение фактов и выводов. Какие утверждения можно проверить независимо? 5. Проверка доказательств. Приоритет первичным и авторитетным источникам. 6. Оценка неопределённости. Что удалось снять, а что осталось? 7. Оценка риска. Что произойдёт, если выбранное решение ошибочно? 8. Решение / запрос данных / эскалация. Все три варианта могут быть допустимыми результатами. 9. Контрфактическая проверка. Обучающемуся изменяют одно условие: «Теперь предположим, что стоимость ошибки увеличилась в десять раз». Меняется ли решение? 10. Ретроспективный аудит. После раскрытия фактического или экспертного решения студент анализирует не только ошибку, но и свой процесс доверия. Такое занятие развивает не prompt engineering. Оно развивает decision engineering в AI-среде [8]. Для измерения можно предложить коэффициент разрешения расхождений: $K_{pp} = N_{об} / N_p \times 100 \%$, где:

№ — количество существенных расхождений между предложенными позициями; №б — количество расхождений, по которым обучающийся смог получить самостоятельное доказательное основание.

Например: зафиксировано 8 содержательных противоречий; для пяти удалось получить достаточное независимое подтверждение. $K_{pp} = 5 / 8 \times 100 \% = 62,5 \%$. Оставшиеся 37,5 % не обязательно означают ошибку. Они могут составить остаточную неопределённость. И её необходимо фиксировать отдельно. Это принципиально. Хороший анализ не обязан превращать всю неопределённость в уверенность. Иногда самое точное завершение анализа: «Три вопроса остаются открытыми».

Таблица 5 — Переход от обычного АИ-задания к инженерии неопределённости

Обычная модель	Предлагаемая модель
получить ответ ИИ	получить конкурирующие позиции
проверить ошибку	определить причину расхождения
выбрать лучший ответ	построить критерий выбора
исправить неправильное	определить остаточную неопределённость
завершить решение	определить, можно ли его завершать
оценить правильность	оценить качество процесса решения
ИИ сообщает	ИИ создаёт пространство аргументов

Изменяется и роль преподавателя. Он уже не обязательно является человеком, который знает единственный правильный ответ заранее. Его функция — спроектировать такое поле неопределённости, в котором нельзя победить простым копированием самого убедительного АИ-ответа. Предлагаемая модель оценки/ Обычный экзамен: ответ правильный — 1; неправильный — 0.

Для инженерии неопределённости этого мало. Предлагается оценивать пять элементов: D — диагностика неопределённости; E — качество доказательств; C — калибровка уверенности; R — решение с учётом риска; X — корректность эскалации. Интегральный показатель можно представить: $I_{pn} = w_1D + w_2E + w_3C + w_4R + w_5X$, где $w_1...w_5$ — веса компонентов, сумма которых равна 1. Веса не могут быть универсальными. В научном исследовании можно повысить значение качества доказательств. В подготовке специалиста промышленной безопасности — решения с учётом риска и правильной эскалации. В управленческом образовании — работы с критериями и остаточной неопределённостью. Поэтому формула задаёт не готовую шкалу, а архитектуру измерения. Экспериментальная апробация/ Предлагаемую концепцию можно проверить в трёх группах. Группа А — один ИИ. Студенты решают задания с помощью одного интеллектуального помощника. Группа В — несколько ИИ без специальной методики. Разрешается самостоятельно сравнивать ответы. Группа С — инженерия педагогической неопределённости. Студенты проходят цикл: собственная гипотеза → конкурирующие АИ-решения → карта расхождений → проверка → оценка риска → решение или эскалация.

После периода обучения всем группам предъявляется единая серия новых задач, специально содержащих: уверенный неправильный АИ-ответ; неуверенный правильный ответ; два противоречащих АИ-вывода; недостаточные исходные данные; ситуацию, где правильным действием является отказ от окончательного вывода; высокорисковое решение, требующее эскалации.

Измеряются: точность итоговых решений; частота слепого следования АИ-рекомендациям; частота необоснованного отказа от правильной АИ-рекомендации; качество определения недостающих данных; способность обнаруживать модельное расхождение; калибровка собственной уверенности; правильность выбора момента эскалации. Гипотеза будущего исследования: систематическое обучение на конкурирующих АИ-решениях повысит

качество калибровки доверия и способность управлять остаточной неопределённостью по сравнению с обычным использованием одного или нескольких ИИ без специально спроектированного протокола. Пока это именно гипотеза. Мы не можем подтвердить её как доказанный эффект предлагаемой модели до проведения экспериментального исследования. При этом у концепции есть слабые места.

Во-первых, избыточная демонстрация противоречащих ответов способна сформировать не критическое мышление, а хроническое недоверие. Во-вторых, постоянный анализ неопределённости требует времени. В профессиональной среде решение нередко приходится принимать быстро. В-третьих, не каждое расхождение имеет одинаковую ценность. Иногда один AI-ответ просто ошибочен. В-четвёртых, обучающийся может научиться демонстрировать формальный скепсис: писать «нужно дополнительно проверить», не осуществляя реальную проверку. Поэтому конечная цель — не максимизировать сомнение. Она заключается в другом: сделать сомнение управляемым.

Развитие искусственного интеллекта постепенно меняет природу образовательной неопределённости. На ранней стадии основной вопрос звучал: может ли ИИ ошибиться? Ответ уже очевиден — может. Следующий вопрос значительно сложнее: что должен делать человек, когда сильные интеллектуальные системы дают различные ответы и каждая из них способна убедительно объяснить собственную позицию? Простого навыка фактчекинга здесь недостаточно [6,7]. Необходимо уметь устанавливать происхождение расхождения, различать виды неопределённости, сопоставлять доказательства, соотносить глубину проверки с риском, калибровать собственную уверенность и определять момент, когда самостоятельное решение должно быть остановлено или передано на другой уровень компетенции. На этой основе в статье предложено новое направление — инженерия педагогической неопределённости. Её объектом становится не ошибка и даже не правильность AI-ответа. Её объект — поведение человека между несколькими возможными выводами. Предложены следующие авторские конструкции: педагогическое событие неопределённости; эпистемический резерв; карта неопределённости; обучение на машинном несогласии; калиброванное доверие; калибровочный разрыв; порог доказательной достаточности; классы риска R1–R4; точка эскалации; коэффициент разрешения расхождений; образовательная архитектура конкурирующих ИИ.

Основное отличие предлагаемого подхода от обычного развития критического мышления заключается в том, что неопределённость здесь не просто обсуждается — она проектируется как управляемое состояние образовательной системы [6].

Преподаватель намеренно создаёт расхождение. Обучающийся диагностирует его. Система контролирует глубину доказательства. Риск определяет требуемый уровень проверки. А результатом обучения становится не только решение, но и способность объяснить: почему оно принято именно сейчас и каких оснований было бы достаточно, чтобы его изменить. По мере развития агентного ИИ эта способность может стать ещё важнее. Автономная интеллектуальная система способна будет не только советовать, но и выполнять цепочку действий. Это увеличит цену момента, в котором человек должен понять: «Я уже не уверен настолько, чтобы позволить системе продолжать самостоятельно». Поэтому образование будущего, вероятно, будет вынуждено учить не только использованию искусственного интеллекта. Оно должно научить человека останавливать искусственный интеллект в правильный момент. А ещё раньше — останавливать самого себя от слишком ранней уверенности. В этом и состоит центральная идея инженерии педагогической неопределённости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Miao F., Shiohira K., Lao N. AI Competency Framework for Students. Paris: UNESCO, 2024
2. Steyvers M. et al. What large language models know and what people think they know // Nature Machine Intelligence. 2025.
3. Griot M. et al. Large Language Models lack essential metacognition for reliable medical reasoning // Nature Communications. 2025.
4. Mehrotra S. et al. A Systematic Review on Fostering Appropriate Trust in Human-AI Interaction // ACM Transactions on Computer-Human Interaction. 2024.
5. Vaccaro M. et al. When combinations of humans and AI are useful: A systematic review and meta-analysis // Nature Human Behaviour. 2024.
6. Zhou C. et al. From initial trust to critical reconstruction: upper secondary students' engagement with generative AI in science learning // Frontiers in Psychology. 2026.
7. Hu H. Evidence, trust, and objectivity with generative AI // Frontiers in Psychology. 2026.
8. Pearson J. et al. Examining human reliance on artificial intelligence in perceptual decision-making // Scientific Reports. 2026.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.22236103>

UDC 332.1

INCLUSIVE ECONOMIC GROWTH: NEW OPPORTUNITIES FOR KENYA'S DEVELOPMENT

GELMANOVA ZOYA SALIKHOVNA

Professor, Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan

FAYEZ WAZANI ABDUL WALID

Master's degree, Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan

THUKU HARRISON

Master's student, Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan

Abstract. *This article examines the concept of inclusive economic growth as an important area for sustainable socioeconomic development in Kenya. Particular attention is paid to expanding opportunities for various groups of the population, reducing poverty and socioeconomic inequality, creating new jobs, and increasing access to education, healthcare, and financial services. It analyzes the key factors contributing to Kenya's inclusive growth, including the development of small and medium-sized enterprises, digitalization of the economy, support for agriculture, human capital development, and increasing the participation of youth and women in economic activity. It also examines existing challenges and constraints that impede the equal distribution of economic opportunities. It concludes that implementing the principles of inclusive economic growth can create new opportunities for Kenya's long-term development, improving living standards, and strengthening the country's economic resilience.*

Keywords: *inclusive economic growth, Kenya, sustainable development, social inequality, poverty, employment, digitalization, small and medium businesses, human capital.*

In the context of the global transformation of the global economy, the issue of ensuring sustainable and simultaneously socially equitable economic growth is particularly important. For developing countries, increasing gross domestic product alone does not guarantee a reduction in poverty, unemployment, and socioeconomic inequality. Therefore, modern economic theory and practice are increasingly focusing on the concept of inclusive economic growth.

Inclusive economic growth is defined as a type of development in which broad segments of the population are empowered to participate in production, entrepreneurship, and labor force participation, and the benefits of economic growth are distributed in a way that expands economic opportunities for the population. Thus, the key indicator of economic policy effectiveness is not only the rate of GDP growth, but also the quality of jobs created, and the population's access to education, finance, technology, and basic infrastructure.

Kenya is of particular interest for exploring this concept. The country is one of the largest and most diversified economies in East Africa. It boasts a developed service sector, significant agricultural potential, a rapidly growing digital economy, a sophisticated mobile financial services system, and a favorable geographic location. At the same time, Kenya faces challenges such as high debt burdens, insufficient formal employment, regional and social inequality, and climate vulnerability.

Kenya data National According to the Bureau of Statistics (KNBS), Kenya's real GDP grew by 4.7% in 2024, while the revised growth in 2023 was 5.7% [1]. The World Bank also estimates Kenya's economic growth in 2024 at 4.7% [2]. At the same time, the World Bank indicates that 90% of the 782,300 new jobs created in 2024 were in the informal sector [3]. This means that Kenya's problem is not so much a lack of economic activity as an insufficient number of productive and formal jobs.

The objective of the study is to identify the potential for applying the concept of inclusive economic growth to achieve sustainable socio-economic development in Kenya.

To achieve this goal, the following objectives must be addressed: To develop the concept of inclusive economic growth; to analyze the current state of the Kenyan economy; to identify the key constraints to inclusive development; to examine the role of the digital economy, agriculture, and small business; to determine the importance of youth and women in expanding the country's economic potential; and to develop recommendations for creating a more inclusive development model for Kenya.

The traditional model of economic growth is based primarily on increasing the production of goods and services and improving productivity. The most important quantitative indicator in this case is the gross domestic product.

However, high GDP growth can be accompanied by persistently high levels of poverty and inequality. For example, an economy may grow rapidly thanks to capital-intensive industries, but if these industries create relatively few jobs, a significant portion of the population does not directly benefit from economic growth.

This is why the concept of inclusive growth takes a much broader view of economic development. Four key elements of inclusive growth can be identified: the creation of productive jobs; equal access to human capital; expanded access to financial and economic resources; and the reduction of spatial and social inequalities.

Inclusiveness means that the economic system should create opportunities for different social groups regardless of their gender, age, place of residence or income level.

Human capital is particularly important. High-quality education and training increase labor productivity and enable people to transition from low-productivity jobs to higher-paying ones.

Access to financing also plays a key role. For a small entrepreneur, access to a loan or digital financial service can be a prerequisite for creating their own business and creating several jobs.

Inclusive growth, therefore, does not represent a renunciation of economic efficiency, but rather its expansion by including more people in economic activity.

The World Bank emphasizes that Kenya needs to combine increased productivity with expanded opportunities for the population, particularly in employment, entrepreneurship and human capital [2; 4].

Kenya is one of East Africa's most significant economies. Nairobi serves as the region's financial, technological, and entrepreneurial hub.

The country's economy is characterized by a relatively high level of diversification, encompassing agriculture, industry, transportation, trade, financial services, telecommunications, tourism, and digital technologies.

Table 1 - Key macroeconomic indicators of Kenya [1,2,5]

Indicator	Meaning
Real GDP Growth, 2023	5.7%
Real GDP Growth, 2024	4.7%
GDP, 2024	about 120.3 billion US dollars
GDP per capita, 2024	about \$2,132
Inflation, 2024	4.5%
Unemployment, 2024	about 5.5%
Unemployment, 2025	about 5.4%
Share of formal employment	about 15%

The indicators indicate a fairly stable economy, but at the same time they demonstrate the existence of structural problems.

In 2024, Kenya's GDP was approximately US\$120.3 billion and GDP per capita was approximately US\$2,132 [5].

At the same time, the rate of economic growth has slowed compared to 2023. KNBS attributes the dynamics of 2024 to changes in various sectors of the economy; agriculture, forestry and fisheries grew by 4.6% against 6.6% a year earlier [1]. In the medium term, the World Bank expects growth rates to remain in the range of approximately 4.7–5.0% [6].

The slowdown in growth rates in 2024–2025 demonstrates the need for structural reforms. Maintaining macroeconomic stability alone is not enough: the country needs to improve productivity and the economy's ability to create high-quality jobs.

One of Kenya's most serious problems is the structure of the labor market. At first glance, the unemployment rate appears relatively low. However, this indicator does not fully reflect the quality of employment. A significant portion of the population is employed in the informal sector. In 2024, 782,300 new jobs were created in Kenya, but approximately 90% of these were in the informal sector [3].

Table 2 – Structure of new job creation in Kenya in 2024 [3]

Indicator	Meaning
Total new jobs	782,300
Share of informal jobs	90%
Estimated number of informal jobs	about 704,000
Share of formal jobs	about 10%
Estimated number of formal jobs	about 78,000

Thus, the main problem is not simply a lack of work, but an insufficient supply of quality, productive and secure employment.

Informal employment is often characterized by unstable income, lack of pension provision, health insurance and other social protection mechanisms.

This situation is directly related to the concept of inclusive growth. An economy may demonstrate positive GDP growth, but if the majority of new jobs remain low-productivity and informal, the population's ability to improve their standard of living remains limited.

Kenya has significant demographic potential. Its young population can become a vital source of innovation, entrepreneurship, and domestic market expansion.

However, young people face a mismatch between the skills they acquire and the demands of employers.

The World Bank notes that about 80% of young working Kenyans are employed in the informal sector, and about 85% of youth depend on informal work [7].

This means that employment policy should be aimed not only at reducing unemployment, but also at improving the quality of employment.

Positive example is the Kenya Youth Employment and Opportunities Project (KYEOP). According to the World Bank, the program reached more than 310,000 vulnerable young people, half of whom were women; approximately 86% of the participants received income through wage or self-employment [8].

Under another phase of youth support programs, more than 155,000 young people received assistance, and the businesses created contributed to the creation of 125,000 jobs [7].

These results show that investments in vocational training, entrepreneurship and seed funding can produce significant socio-economic impacts.

Therefore, one of the central areas of Kenya's inclusive growth must be the creation of an “education-skills-entrepreneurship-employment” system.

Another important element of inclusive growth is the economic empowerment of women.

Women are actively involved in trade, agriculture, services, and small businesses, but face barriers to accessing finance, property, technology, and formal jobs.

The World Bank in its Kenya Economic Update 2024 specifically highlighted the expansion of women's economic opportunities as one of the most important areas of reform [2].

Economic policy should include: expanding women's access to credit; supporting women's entrepreneurship; developing vocational education; improving digital literacy; increasing women's participation in public procurement; and ensuring equal access to productive resources.

Women's economic inclusion has a multiplier effect: increased women's incomes contribute to increased household spending on education, health care, and food, while simultaneously increasing the country's overall economic potential.

One of the most promising areas is the digital economy. Kenya has already gained international recognition for its development of mobile financial services and tech entrepreneurship. Therefore, the country is often referred to as one of Africa's tech hubs.

Digitalization has the potential to create opportunities for populations that were previously limited by geographic location.

For example, residents of rural areas with high-quality internet access can access: distance education; digital financial services; e-commerce; remote employment; online government services; and digital healthcare.

The World Bank emphasizes the need to expand digital skills, invest in communications infrastructure, and reduce the digital divide between urban and rural areas [9].

A particularly promising area is the development of digital services for small businesses.

An entrepreneur can use a digital platform to find clients, receive payments, promote products, and manage finances.

However, digitalization shouldn't be limited to internet access. It's essential to simultaneously develop human capital. Therefore, public policy must combine the internet, digital skills, financial inclusion, and entrepreneurship. Only this combination will transform digital transformation into a driver of inclusive growth.

Agriculture remains a key component of Kenya's economy. In 2024, the agriculture, forestry, and fisheries sector grew by 4.6% [1].

However, rural areas face a number of challenges: lack of infrastructure, climate risks, limited access to finance, and low productivity in certain activities. To improve inclusivity, it is necessary to move from a raw materials-based model to the creation of value chains. For example:

Farmer → Processing → Packaging → Logistics → Export → End Consumer. In such a system, additional income and jobs are created not only at the farm level, but also in industry, transportation, marketing, and trade.

Priority areas are: irrigation development; implementation of digital agricultural technologies; development of agricultural insurance; improving farmers' access to credit; creation of cooperatives; development of processing; improvement of transport infrastructure.

This approach simultaneously increases productivity and promotes rural development.

Kenya has significant potential for renewable energy development.

Geothermal energy is particularly important. According to the World Bank, geothermal energy already accounts for approximately 45% of Kenya's energy balance [10].

The development of clean energy creates opportunities for inclusive growth in several ways. First, it increases access to electricity. Second, it creates new jobs. Third, it creates conditions for industrial and small business development. Fourth, it increases the economy's resilience to fluctuations in fossil fuel prices. For rural regions, small solar power plants and mini-grids can be particularly important. Therefore, green energy should be viewed not only as an environmental policy but also as a tool for regional development and job creation.

Small and medium-sized enterprises are a vital source of employment and entrepreneurial activity.

However, their development is limited by the cost of funding, administrative barriers, lack of information and limited access to markets.

To create a favorable business environment, it is necessary to: simplify business registration; reduce administrative costs; expand credit guarantee programs; stimulate business digitalization; develop business incubators; expand SME access to public procurement; and support export activities. Particular attention should be paid to the transition from microenterprises to sustainable small and medium-sized enterprises.

In this context, competition policy is crucial. The World Bank estimates that pro-competitive reforms in key sectors could increase Kenya's potential GDP growth by approximately 1.35 percentage points per year and create up to 400,000 additional jobs annually under the right conditions [11].

This shows that increased competition can be one mechanism for increasing productivity and expanding employment.

To create an inclusive growth model, it is necessary to combine economic, social and technological policies.

Table 3 - Priority areas for inclusive development in Kenya

Direction	The main problem	The proposed measure	Expected result
Employment	Prevalence of informal employment	Supporting productive SMEs	Growth of formal employment
Youth	Mismatch of skills with market demands	Vocational education and internships	Increased employment
Women	Limited access to capital	Women's entrepreneurship	Income and employment growth
Digitalization	Digital divide	Internet and digital skills	New forms of employment
Agriculture	Low performance	Agricultural technology and irrigation	Growing farmer incomes
Energy	Uneven access to energy	Renewable energy	Regional development
SMEs	Financial constraints	Credit guarantees	Growth of entrepreneurship
Public finances	High debt burden	Fiscal consolidation	Strengthening resilience

In the medium term, Kenya has the opportunity to move towards a more inclusive growth model, but this requires moving away from a purely quantitative focus.

The main result of economic policy should be an increase in the number of people who have the opportunity to participate in productive economic activity.

By 2030, priority areas could include: human capital development; digital transformation; increasing agricultural productivity; supporting small businesses; developing green energy; expanding women's economic opportunities; creating jobs for youth; reducing regional inequality; improving the investment climate; and increasing the efficiency of public spending.

Kenya has significant potential for further economic development. The country boasts a young workforce, a developed service sector, an entrepreneurial culture, significant agricultural potential, digital infrastructure, and renewable energy development opportunities.

However, the current economic growth structure does not yet provide a sufficient number of high-quality jobs. Particularly telling is the fact that approximately 90% of new jobs created in 2024 were in the informal sector [3].

Therefore, the main objective of economic policy should be not just accelerating GDP growth, but increasing its inclusiveness and quality.

To achieve this, Kenya needs to simultaneously develop human capital, the digital economy, small businesses, agriculture, and green energy.

Women and youth are particularly important. Expanding their access to education, finance, and labor markets can increase the productive potential of the entire economy.

Macroeconomic stability remains a key requirement. The World Bank notes that Kenya's public debt remains a source of high risk, with interest payments consuming a significant share of tax revenues [12]. Consequently, social and investment programs must be implemented simultaneously with improved public finance efficiency.

Overall, it can be concluded that Kenya has a real opportunity to create a model of inclusive, digital, and environmentally sustainable growth. This must be built not only on investments in physical infrastructure, but, above all, on investments in people, knowledge, entrepreneurship, and technology.

It is the combination of economic efficiency and social inclusion that will enable Kenya to transform its existing demographic, technological and natural advantages into sustainable sources of development by 2030.

LITERATURE

1. Kenya National Bureau of Statistics. Economic Survey 2025 [Electronic resource]. — Nairobi: KNBS, 2025. — URL: <https://www.knbs.or.ke/reports/2025-economic-survey/> (date accesses: 12.08.2026).
2. World Bank. Reforms are Needed to Stem a Slow-down in Kenya's Economic Growth [Electronic resource]. - Washington, DC: World Bank, 2024. - URL: World Bank: Kenya Economic Update, 2024 (date accesses: 12.08.2026).
3. World Bank. Kenya Can Create More Jobs and Enhance Productivity by Adopting Procompetitive Reforms [Electronic resource]. — Washington, DC: World Bank, 2025. — URL: World Bank: Kenya jobs and productivity reforms (date accesses: 12.08.2026).
4. World Bank. Kenya Economic Update [Electronic resource]. - Washington, DC: World Bank. — URL: World Bank: Kenya Economic Updates (date accesses: 12.08.2026).
5. World Bank. Kenya: Data [Electronic resource]. — Washington, DC: World Bank. — URL: World Bank Data: Kenya (date accesses: 12.08.2026).
6. World Bank. Kenya Shows Economic Resilience, But Sustained Progress Depends on Accelerating Procompetitive Reforms [Electronic resource]. — Washington, DC: World Bank, 2025. — URL: World Bank: Kenya Economic Outlook and Reforms (date accesses: 12.08.2026).
7. World Bank. The Youth Dividend: Investing in Kenya's Next Generation [Electronic resource]. - Washington, DC: World Bank, 2025. - URL: World Bank: Youth employment in Kenya (date accesses: 12.08.2026).
8. World Bank. Creating Employment Opportunities for Vulnerable Youth in Kenya [Electronic resource]. - Washington, DC: World Bank, 2023. - URL: World Bank: Employment opportunities for youth in Kenya (date accesses: 12.08.2026).
9. World Bank. Securing Kenya's Future Growth: Policies to Sustain Inclusive Growth [Electronic resource]. — Washington, DC: World Bank, 2019. — URL: World Bank: Inclusive growth in Kenya (date accesses: 12.08.2026).
10. World Bank. Kenya [Electronic resource]. - Washington, DC: World Bank, 2026. - URL: World Bank: Kenya overview and development data (date accesses: 12.08.2026).
11. World Bank. Kenya Can Create More Jobs and Enhance Productivity by Adopting Procompetitive Reforms [Electronic resource]. — Washington, DC: World Bank, 2025. — URL: World Bank: Competition, productivity and jobs in Kenya (date accesses: 12.08.2026).
12. World Bank. Despite Improvements, Kenya's Fiscal Path is Fragile Amid High Debt Vulnerabilities and Weak Revenue Growth [Electronic resource]. — Washington, DC: World Bank, 2025. — URL: World Bank: Kenya fiscal sustainability (date accesses: 12.08.2026).

<https://doi.org/10.5281/zenodo.22236217>

UDC 332.1

GEOTHERMAL ENERGY AT THE CORE OF KENYA'S GREEN TRANSFORMATION: AN INTEGRATED MODEL FOR RENEWABLE ENERGY AND A LOW-CARBON ECONOMY

GELMANOVA ZOYA SALIKHOVNA

Professor, Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan

FAYEZ WAZANI ABDUL WALID

Master's degree, Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan

THUKU HARRISON

Master's student, Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan

Abstract: *Kenya's energy transformation represents one of the most illustrative examples of renewable energy development in Africa. A distinctive feature of the Kenyan model is the significant role of geothermal resources, which account for approximately 45–47% of the country's electricity production. Unlike solar and wind power, which are characterized by variable generation, geothermal power plants are capable of providing a stable baseload, making geothermal energy a key component of Kenya's future low-carbon energy system.*

The objective of the study is to identify the strategic role of geothermal energy in Kenya's green transformation and develop an integrated model that combines geothermal, solar and wind generation, energy storage, smart grids, green hydrogen production and low-carbon industrial development.

Methods of system, comparative, structural, and scenario analysis, as well as data from international and national energy organizations, were used. The author's Geothermal - Based concept is proposed. Green Energy Ecosystem, according to which geothermal energy is considered not as a separate source of renewable energy, but as the energy core of the emerging green economy.

Keywords: *Kenya, geothermal energy, renewable energy, green economy, energy transition, decarbonization, green hydrogen, solar energy, wind energy, sustainable development.*

The global energy transition is gradually changing the structure of national energy systems. For developing countries, this transformation has dual implications. On the one hand, increased electricity production is necessary to support industrialization, urbanization, and improving the quality of life. On the other hand, energy system expansion must occur without creating long-term dependence on fossil fuels.

Kenya is of particular interest for research into this issue. The country possesses a combination of geothermal, hydroelectric, wind, and solar resources and has already developed one of the greenest electricity systems in Africa [1].

According to the International Energy Agency, in 2023, nearly 90% of Kenya's electricity generation was provided by renewable sources. Geothermal energy accounted for approximately 47%, hydropower for 21%, wind for 16%, and solar for approximately 4% [1].

Thus, Kenya's uniqueness lies not only in its high share of renewable energy sources, but also in the structure of its renewable generation. A significant share of controllable geothermal capacity mitigates one of the key challenges of the energy transition—the dependence of electricity production on weather conditions.

The country's installed geothermal capacity is approximately 950 MW [1,2]. This allows us to formulate the central hypothesis of the study: geothermal energy can serve as an energy core around which an integrated green energy and industrial ecosystem can be formed in Kenya.

The objective of the study is to develop a conceptual model for the development of green energy in Kenya, based on the integration of geothermal generation with other renewable energy sources and new areas of a low-carbon economy.

The study is based on a systems approach that allows us to consider energy transformation not only as a change in the structure of generating capacity, but as the interconnected development of energy, industry, infrastructure, and the investment environment.

The following methods were used: structural analysis of the energy balance; comparative analysis of renewable energy technologies; institutional analysis; SWOT analysis; scenario modeling; system synthesis.

The research information base was compiled from materials from the IEA, World Bank, EPRA, IRENA, African Development Bank, KenGen, GDC and Kenya National Regulations [1–8].

Kenya's power system is characterized by an exceptionally high share of renewable generation for a developing economy.

Table 1 – Kenya's estimated electricity generation mix, 2023 [1]

Source	Share, %	Systemic function
Geothermal energy	47	Basic generation
Hydropower	21	Adjustable generation
Wind energy	16	Variable generation
Solar energy	4	Daytime variable generation
Others sources	about 12	Balancing the system

The presented structure differs fundamentally from energy transition models based primarily on solar and wind energy. Almost half of the country's electricity is generated from geothermal resources, which are significantly less dependent on weather conditions.

Author's conclusion: Kenya's competitive advantage lies not so much in its high share of renewable energy sources per se, but in its significant volume of stable, renewable baseload generation.

The history of industrial development of Kenya's geothermal resources spans several decades. The first Olkaria projects were created, in part, to reduce the country's dependence on imported petroleum fuels [3].

The subsequent expansion of Olkaria significantly increased the country's geothermal capacity. Specifically, the introduction of 280 MW of new capacity nearly doubled the existing geothermal generation capacity and allowed it to partially replace thermal power plants [4].

The sector's current development continues beyond Olkaria's initial projects. Menengai is emerging as a promising hub.

Table 2 - Main directions of development of the geothermal complex

Direction	Meaning
Olkaria	The largest established geothermal energy cluster
Menengai	Formation of a new geothermal generation center
Geological exploration	Expansion of resource bases
Independent manufacturers	Attraction private capital
Direct use of heat	Agro-industry and processing
Integration with renewable energy sources	Balancing solar and wind generation

In 2025–2026, Menengai's development received a new investment boost. The African Development Bank supported a new 35 MW geothermal power plant project. The project is part of a model that includes independent power producers (IPPs) [5].

Geothermal energy has a number of characteristics that become especially important as the share of renewable energy sources increases.

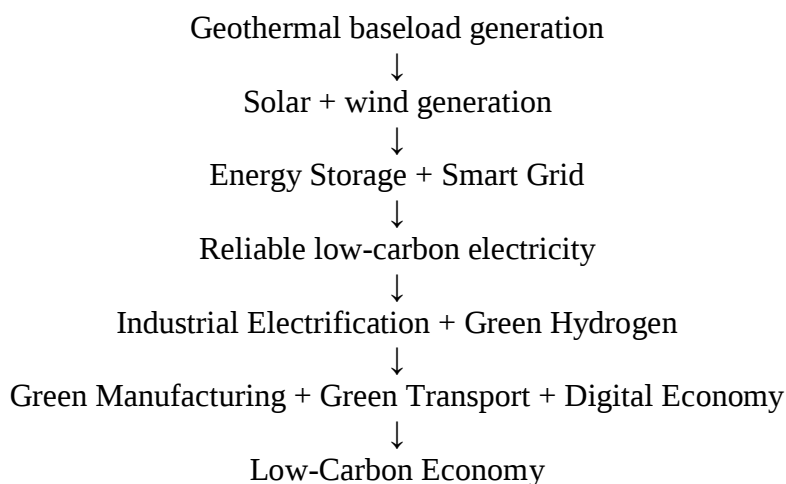
Table 3 - Functional comparison of green energy technologies

Parameter	Geothermal	Solar	Wind	Hydropower
Addiction from time days	Low	High	Average	Low
Addiction from weather	Low	High	High	Average
Opportunity basic generation	High	Low	Low	Medium / High
Initial capital risks	Tall	Relatively low	Average	Tall
Potential scaling in Kenya	High	Very high	High	Limited natural conditions

The main drawback of geothermal projects is related to the early stages of their implementation. Geological exploration and drilling require significant capital investment even before the commercial characteristics of the resource are fully confirmed [6].

This is why the Kenyan model, in which the state-owned Geothermal Development The Company assumes part of the geological and drilling risk, and private investors get the opportunity to participate in subsequent stages, which is of significant interest.

Based on the analysis conducted, it is proposed to move from the concept of a “RES portfolio” to the concept integrated green energy ecosystem. The logic of the model can be represented as follows:



In this design, geothermal energy performs three functions.

The first is stabilizing. It forms the base part of the generation.

The second is integration. Stable geothermal generation creates the conditions for further expansion of variable solar and wind power.

The third is economic. Reliable green electricity is becoming a factor in the location of new industrial facilities.

This allows us to formulate a scientifically significant thesis: the next stage of Kenya’s energy transition should not simply be an increase in the share of renewable energy sources, but the transformation of an energy advantage into an industrial advantage.

The availability of sustainable low-carbon electricity could make Kenya an attractive investment option for energy-intensive industries.

Promising areas include: green hydrogen production; green ammonia production; agricultural processing; low-carbon materials production; digital infrastructure and data centers; and electric transport.

An important reserve is the use of geothermal resources without intermediate generation of electricity.

Thermal energy can be used for greenhouses, drying agricultural products, food processing, pasteurization, cold chains and other technological processes.

As a result, geothermal energy is transforming from a branch of the electric power industry into an element of a territorial industrial cluster.

The next technological level could be the integration of geothermal, solar and wind generation with electrolyzers.

Conceptual chain acquires view:

Geothermal + Solar + Wind → Electrolysis → Green H₂ → Green Ammonia / Industry / Transport / Export.

In this case, geothermal generation can help increase the utilization rate of electrolysis equipment.

Table 4 - SWOT analysis of geothermal energy development in Kenya

Strong sides	Weak sides
Significant resource potential	Tall cost on reconnaissance
Stable basic generation	Risk unproductive drilling
Low addiction from weather	Long investment cycle
Accumulated competencies	Geographic concentration resources
Developed institutional base	Need for network infrastructure
Green hydrogen	Lack of capital
Green Manufacturing	Rising cost of financing
Direct use of heat	Social and environmental conflicts
Regional export energy	Infrastructure restrictions
Green hydrogen	Lack of capital
Green Manufacturing	Rising cost of financing
International climatic financing	Regulatory risks

The author's conclusion. The main limitation of geothermal energy is not the lack of natural resources, but the investment risk of confirming and developing them. Therefore, the key instrument for accelerating the sector should be the institutional sharing of geological risk between the state, international financial institutions, and private capital.

A three-scenario approach is proposed to assess the prospects.

Table 5 - Scenario development model

Scenario	Main characteristic	Role geothermal energy	Economic result
Base	Continuation current politicians	Preservation leading roles	Gradual decarbonization
Accelerated	Active construction of geothermal, solar and wind power plants	Basic renewable energy platform	Acceleration industrialization
Innovative	Renewable energy + storage + H ₂ + Smart Grid + green industry	Core energy ecosystems	Formation of low-carbon economy

The third scenario appears to be the most promising.

Its difference lies in the fact that the end result of energy policy is not the volume of green electricity produced, but the economic added value created on its basis.

The obtained results allow us to expand the traditional approach to assessing the energy transition.

A high share of renewable energy sources alone does not guarantee economic transformation. The state's ability to link energy development with industrial, investment, technological, and educational policies is critical.

The Kenyan model has significant potential precisely because geothermal energy can provide a reliable foundation for variable renewable energy.

The legislative basis for this process already exists. Energy The Act 2019 provides for regulation of the development of renewable energy, geothermal exploration and commercial exploitation of geothermal resources [7].

At the same time, further development will require improved coordination of energy policy, development of network infrastructure and improvement of the quality of energy statistics, which is also noted by the IEA [1].

Investment architecture is particularly important. Geothermal energy is characterized by high risk at the exploratory drilling stage. A risk-sharing mechanism could significantly increase private capital participation.

Based on the conducted research, it is proposed:

1. Form a national Geothermal 2030/2040 program linking exploration, drilling, station construction and network development.
2. Consider geothermal areas as the basis of Green Industrial Zones.
3. Develop direct use of geothermal heat in agriculture and processing.
4. Integrate geothermal generation with solar and wind power plants.
5. Geothermal + Green pilot projects Hydrogen.
6. Use international climate funds to reduce the risks of exploratory drilling.
7. Develop the training of national specialists in the fields of geothermal geology, drilling, energy, and digital management.
8. To establish a regional centre of excellence for geothermal energy for East African countries.

The study shows that Kenya already has the foundations in place to move from developing individual renewable sources to developing a holistic green energy system.

First, geothermal energy occupies a unique position in the country's electricity complex, accounting for approximately 45–47% of electricity production.

Second, its advantage lies in its ability to provide stable generation regardless of solar and wind activity.

Third, this allows geothermal energy to be used as a backbone for the further expansion of solar and wind generation.

Fourth, the economic impact of the next stage should be assessed not only by the volume of electricity generated, but also by the amount of added value created from it.

Fifth, a promising direction is the creation of green industrial clusters around geothermal resources.

Sixth. Integration of Geothermal + Solar + Wind + Storage + Smart Grid + Green Hydrogen is capable of forming a new technological architecture for the country's energy system.

Seventh, the main constraint remains the high investment risk of geological exploration and drilling operations, which requires public-private risk sharing mechanisms.

Kenya's strategic objective can thus be formulated as a transition from green electricity to a green economy. In this model, geothermal energy becomes not just another energy source, but a platform for structural economic transformation.

LITERATUREA

1. International Energy Agency. Kenya 2024. — Paris: IEA, 2025.
2. World Bank. Kenya: Country Overview and Development Results. - Washington, DC: World Bank, 2026.
3. World Bank. Kenya - Olkaria Geothermal Power Project. - Washington, DC: World Bank, 1979.
4. World Bank. Infrastructure for Economic Growth and Shared Prosperity in Kenya. - Washington, DC: World Bank, 2016.
5. African Development Bank. Kenya - 35 MW OrPower Menengai Geothermal Power Project. — Abidjan: AfDB, 2025.
6. World Bank. Turning the Lights on Across Africa: Geothermal Energy Development in Kenya. - Washington, DC: World Bank.
7. Republic of Kenya. Energy Act, 2019. — Nairobi, 2019.
8. Energy and Petroleum Regulatory Authority. Energy and Petroleum Statistics Report. — Nairobi: EPRA, 2025.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.22236284>

УДК 332.1

**ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ
ЭФФЕКТИВНОСТИ СТАНА 1700 ЛПЦ-1 АО «QARMET» НА ОСНОВЕ
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КООРДИНАЦИИ РЕМОНТОВ И СНИЖЕНИЯ
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОСТОЕВ**

ГЕЛЬМАНОВА ЗОЯ САЛИХОВНА

Профессор, Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

FAYEZ WAZANI ABDUL WALID

Магистр, Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

ИВАЩЕНКО ЛАРИСА АЛЕКСАНДРОВНА

Магистрант, Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

THUKU HARRISON

Магистрант, Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

Аннотация. В условиях высокой капиталоемкости металлургического производства существенным резервом повышения производственно-экономической эффективности является увеличение фактической доступности оборудования посредством сокращения плановых и внеплановых потерь рабочего времени. Для прокатного производства данная задача приобретает особое значение вследствие технологической взаимосвязанности оборудования: увеличение продолжительности ремонта или аварийная остановка критического агрегата способна ограничивать производительность всей технологической цепочки.

Цель исследования состоит в разработке организационно-экономического подхода к повышению производственно-экономической эффективности стана 1700 Листопрокатного цеха № 1 АО «Qarmet» на основе совершенствования координации ремонтных работ, сокращения производственных простоев и приоритизации ремонтных воздействий на критическое оборудование.

Информационной базой послужили фактические производственные и ремонтные данные ЛПЦ-1 за 2023–2026 гг. Применены методы динамического, сравнительного и структурного анализа, расчет коэффициентов использования календарного фонда, удельной производительности рабочего времени и ремонтных затрат, Pareto-анализ аварийных простоев, сценарное моделирование, а также разработанная авторами модель RDEC-LPC «ремонт — простой — доступность — экономический результат».

Установлено, что производство стана 1700 увеличилось с 2 614 640 т в 2023 г. до 3 033 331 т в 2025 г., или на 16,01 %. Одновременно текущие простои сократились с 2 813,32 до 1 731,36 ч, или на 38,45 %, а коэффициент использования календарного фонда увеличился с 61,10 до 70,61 %. При этом производительность одного фактически отработанного часа оставалась относительно стабильной и находилась в диапазоне 488,5–494,0 т/ч. Это позволяет сделать вывод о том, что существенным фактором увеличения годового выпуска стало повышение фактически используемого производственного времени.

Pareto-анализ аварийных простоев 2026 г. показал высокую концентрацию временных потерь: около 40,6 % их продолжительности приходится на ВШМ, а первые десять наиболее проблемных позиций оборудования формируют около 80,9 % зарегистрированного аварийного времени.

Научная новизна исследования заключается в разработке модели RDEC-LPC, объединяющей техническую и экономическую оценку ремонтной деятельности по цепочке

ОФ «Международный научно-исследовательский центр “Endless Light in Science”

«критичность оборудования — простой — потерянное производственное время — потенциальное недопроизводство — экономические последствия — ремонтное воздействие — предотвращенный ущерб». Дополнительно предложены авторская ABC/Pareto-модель и матрица «техническая критичность — экономический ущерб».

Ключевые слова: *производственно-экономическая эффективность, ЛПЦ-1, стан 1700, АО «Qarmet», капитальный ремонт, простои, ремонтное окно, доступность оборудования, Pareto-анализ, MTBF, MTTR, производительность, predictive maintenance, экономический ущерб.*

Введение. Современное металлургическое производство характеризуется высокой стоимостью основных производственных фондов, технологической взаимозависимостью агрегатов и значительными экономическими последствиями незапланированных остановок. В этих условиях повышение эффективности производства невозможно рассматривать исключительно как задачу увеличения номинальной производительности оборудования. Не менее значимым резервом становится увеличение времени его фактической производственной доступности.

Особенно отчетливо данная закономерность проявляется в прокатном производстве. Отказ одного из критических элементов технологической линии может приводить к остановке смежного оборудования, сокращению продолжительности производительной работы, недопроизводству продукции и возникновению дополнительных затрат.

Современная концепция управления физическими активами предполагает системную взаимосвязь технического состояния оборудования, рисков, затрат и создаваемой активами ценности [1, 2]. В свою очередь, показатели надежности, безотказности, готовности и ремонтпригодности являются необходимыми характеристиками оценки состояния производственного оборудования [3].

В научной литературе значительное внимание уделяется показателю общей эффективности оборудования ОЕЕ, позволяющему оценивать потери, связанные с доступностью, производительностью и качеством [4–6]. Однако для капиталоемкого прокатного производства интегрального показателя эффективности недостаточно. Необходимо установить прямую причинно-следственную связь между конкретным простоем оборудования, потерянным производственным временем и его экономическими последствиями.

Развитие цифровых технологий дополняет традиционную систему планово-предупредительных ремонтов возможностями технической диагностики, мониторинга состояния и прогнозного обслуживания. Исследования predictive maintenance в металлургии показывают возрастающую роль производственных данных, датчиков и методов искусственного интеллекта в прогнозировании отказов оборудования [7–12].

Для ЛПЦ-1 АО «Qarmet» проблема приобретает практическую значимость в связи с необходимостью одновременно обеспечить устойчивость производственной программы, сократить непроизводительные потери времени и повысить отдачу от значительных ремонтных затрат.

Цель исследования — разработать и количественно обосновать организационно-экономическую модель повышения эффективности стана 1700 ЛПЦ-1 посредством совершенствования координации ремонтных работ и сокращения производственных простоев.

Для достижения цели решены следующие задачи: проанализирована динамика производства стана 1700 за 2023–2025 гг.; исследована динамика текущих простоев; оценено изменение фактически используемого рабочего времени; определена производительность одного рабочего часа; проанализированы затраты на капитальные ремонты; проведен Pareto-анализ аварийных простоев оборудования; выполнена сценарная оценка эффекта их

сокращения; разработана авторская модель RDEC-LPC; предложена матрица ремонтного приоритета; сформирована система KPI координации ремонтной деятельности[13-15].

Гипотеза исследования состоит в предположении, что при относительно стабильной часовой производительности существенный резерв роста годового выпуска стана 1700 формируется за счет повышения временной доступности оборудования, причем наибольший эффект может быть получен посредством концентрации ремонтных ресурсов на ограниченной группе оборудования, формирующей основную часть аварийных простоев.

Традиционная система управления ремонтами ориентирована прежде всего на поддержание работоспособности оборудования и выполнение установленного комплекса технических воздействий. Однако современный подход к управлению активами требует рассматривать ремонт одновременно в технической, производственной и экономической плоскостях [1, 2].

Это означает, что при оценке ремонта необходимо ответить не только на вопрос, восстановлено ли оборудование, но и определить: соблюдено ли плановое ремонтное окно; насколько сократилась аварийность после ремонта; увеличился ли период безотказной работы; сколько часов производственного времени удалось сохранить; какому объему продукции соответствует сохраненное время; какой экономический эффект обеспечило ремонтное мероприятие.

Одним из наиболее распространенных подходов к оценке эффективности оборудования является OEE [4–6]: $OEE = A \times P \times Q$, где: A — доступность оборудования; P — производительность; Q — качество.

Для настоящего исследования особое значение имеет доступность, поскольку фактические данные ЛПЦ-1 позволяют количественно исследовать продолжительность работы и простоев. При этом техническая доступность рассматривается не как конечный результат, а как промежуточное звено между ремонтной деятельностью и экономической эффективностью. Предлагается следующая причинно-следственная связь: качество ремонта → сокращение простоев → увеличение рабочего времени → сохранение производственного потенциала → экономический результат. Такой подход позволяет рассматривать ремонтную функцию не только как центр затрат, но и как центр предотвращения производственно-экономических потерь.

Информационную базу исследования составили внутренние данные ЛПЦ-1 АО «Qarmet»: производство стана 1700 за 2023–2025 гг.; рабочее время; текущие простои; данные ППР; сведения о капитальных ремонтах; затраты на материалы и услуги сторонних организаций; аварийные простои оборудования за 2026 г.; данные по отдельным причинам производственных потерь.

При предварительной обработке исходных данных была выполнена нормализация наименований оборудования. В частности, разные варианты записи одинаковых агрегатов были объединены в единые аналитические позиции. Это необходимо для корректного Pareto-анализа.

Методология включает пять последовательных этапов: Этап 1. Очистка и систематизация исходной базы. Этап 2. Динамический анализ производства, рабочего времени и простоев. Этап 3. Оценка производственного эквивалента временных потерь. Этап 4. Pareto-анализ аварийных простоев. Этап 5. Формирование экономически ориентированной системы приоритизации ремонтных воздействий.

Производство и использование рабочего времени. В таблице 1 представлены основные показатели работы стана 1700.

Таблица 1 — Динамика ключевых показателей стана 1700 ЛПЦ-1

Показатель	2023	2024	2025
Производство, т	2 614 640	2 918 448	3 033 331
Темп прироста, %	—	11,62	3,94

Текущие простои, ч	2 813,32	2 313,05	1 731,36
Рабочее время, ч	5 352,4	5 908,3	6 185,5
Использование календарного фонда, %	61,10	67,25	70,61
Производительность рабочего часа, т/ч	488,5	494,0	490,4

Общий прирост производства: $\Delta Q = Q_{2025} - Q_{2023}$. $\Delta Q = 3\,033\,331 - 2\,614\,640 = 418\,691$ т. Темп прироста: $GQ = ((Q_{2025} / Q_{2023}) - 1) \times 100\%$. $GQ = ((3\,033\,331 / 2\,614\,640) - 1) \times 100\% = 16,01\%$. Следовательно, за два года производство увеличилось более чем на 418 тыс. т.

Одновременно текущие простои сократились: $\Delta T_{\text{down}} = T_{\text{down}2023} - T_{\text{down}2025}$. $\Delta T_{\text{down}} = 2\,813,32 - 1\,731,36 = 1\,081,96$ ч. Относительное сокращение:

$R_{\text{down}} = ((T_{\text{down}2023} - T_{\text{down}2025}) / T_{\text{down}2023}) \times 100\%$. $R_{\text{down}} = ((2\,813,32 - 1\,731,36) / 2\,813,32) \times 100\% = 38,45\%$. Следовательно, текущие простои сократились почти на две пятых.

Авторский вывод к таблице 1. Наиболее существенным является одновременное сопоставление динамики выпуска, рабочего времени и часовой производительности. При росте годового выпуска на 16,01 % производительность рабочего часа практически не изменилась. Следовательно, существенная часть производственного результата связана с увеличением продолжительности фактически используемого рабочего времени.

Коэффициент использования календарного фонда. Для оценки использования времени применяется показатель: $K_{\text{use}} = T_{\text{work}} / T_{\text{cal}} \times 100\%$,

где: K_{use} — коэффициент использования календарного фонда, %; T_{work} — фактическое рабочее время, ч; T_{cal} — календарный фонд времени, ч. Для 2025 г.:

$K_{\text{use}} = 6\,185,5 / 8\,760 \times 100\% = 70,61\%$. В 2023 г. показатель составлял 61,10 %, следовательно: $\Delta K_{\text{use}} = 70,61 - 61,10 = 9,51$ п.п.

Рост на 9,51 процентного пункта является существенным результатом и подтверждает повышение фактической временной доступности производственного комплекса.

Производственный эквивалент потерь рабочего времени. Средняя производительность рабочего часа рассчитывается: $Q_{\text{hour}} = Q_{\text{year}} / T_{\text{work}}$, где: Q_{hour} — средняя производительность одного фактически отработанного часа, т/ч; Q_{year} — годовой выпуск, т; T_{work} — фактическое рабочее время, ч. Для 2025 г.: $Q_{\text{hour}} = 3\,033\,331 / 6\,185,5 = 490,4$ т/ч.

Полученное значение позволяет перевести временные потери в производственный эквивалент: $Q_{\text{loss}} = T_{\text{down}} \times Q_{\text{hour}}$, где: Q_{loss} — производственный эквивалент потери времени, т; T_{down} — продолжительность простоя, ч.

Таблица 2 — Производственный эквивалент сокращения простоев

Сокращение простоя, ч	Производственный эквивалент, т
10	4 904
25	12 260
50	24 520
100	49 040
200	98 080

Например: $Q_{\text{loss}} = 10 \times 490,4 = 4\,904$ т. Следовательно, предотвращение 10 часов простоя соответствует примерно 4,9 тыс. т сохраненного производственного потенциала.

Необходимо подчеркнуть, что данный показатель представляет именно производственный эквивалент, а не автоматически гарантированный дополнительный

товарный выпуск. Реальный выпуск зависит также от обеспеченности металлом, заказами, загрузке последующих переделов и иных производственных ограничений.

Авторский вывод к таблице 2. Время простоя является экономически измеримым производственным ресурсом. Поэтому результативность ремонтной деятельности целесообразно оценивать не только количеством выполненных ремонтных операций, но и количеством сохраненных производственных часов.

Оценка соблюдения ремонтного окна. Для оценки организационной координации капитального ремонта предлагается использовать коэффициент:

$K_{coord} = T_{plan} / T_{fact}$, где: K_{coord} — коэффициент соблюдения ремонтного окна; T_{plan} — плановая продолжительность ремонта, ч; T_{fact} — фактическая продолжительность ремонта, ч. Интерпретация: $K_{coord} = 1$ — ремонт завершен точно по плану; $K_{coord} < 1$ — фактическая продолжительность превысила план; $K_{coord} > 1$ — ремонт завершен раньше планового срока. Предположим, ремонт был запланирован на 120 ч, но фактически продолжался 132 ч. $K_{coord} = 120 / 132 = 0,909$. Следовательно, соблюдение ремонтного окна составляет 90,9 %. Для большей управленческой наглядности дополнительно рассчитывается абсолютное отклонение: $\Delta T = T_{fact} - T_{plan}$. $\Delta T = 132 - 120 = 12$ ч. Относительное отклонение: $\Delta T\% = ((T_{fact} - T_{plan}) / T_{plan}) \times 100\%$. $\Delta T\% = ((132 - 120) / 120) \times 100\% = 10\%$. Таким образом, ремонтное окно превышено на 12 ч, или на 10 %. При производительности 490,4 т/ч производственный эквивалент такого превышения: $Q_{loss} = 12 \times 490,4 = 5\,884,8$ т.

Следовательно, даже сравнительно небольшое организационное отклонение капитального ремонта может соответствовать значительному объему потенциально потерянного производственного ресурса.

Анализ ремонтных затрат. По представленным данным совокупные анализируемые затраты по статьям материалов и услуг сторонних организаций составили приблизительно 2,219 млрд тг в 2023 г., 1,781 млрд тг в 2024 г. и 7,775 млрд тг в 2025 г.

Таблица 3 — Динамика ремонтных затрат ЛПЦ-1

Показатель	2023	2024	2025
Анализируемые ремонтные затраты, млрд тг	2,219	1,781	7,775
Производство, млн т	2,615	2,918	3,033
Удельные затраты, тг/т	≈849	≈610	≈2 563
Изменение затрат к предыдущему году, %	—	–19,7	+336,6

Удельные ремонтные затраты определяются: $C_{unit} = C_{repair} / Q_{year}$, где: C_{unit} — ремонтные затраты на тонну выпуска, тг/т; C_{repair} — анализируемые ремонтные затраты, тг; Q_{year} — годовой выпуск, т. Для 2025 г.:

$C_{unit} = 7\,775\,000\,000 / 3\,033\,331 \approx 2\,563$ тг/т. Полученный результат показывает существенный рост ремонтной нагрузки на единицу выпуска.

При этом было бы методологически неправильно делать вывод о неэффективности ремонта исключительно на основании сопоставления затрат и выпуска одного календарного года. Капитальный ремонт способен формировать эффект в последующих периодах за счет увеличения ресурса оборудования, снижения аварийности и предотвращения крупных отказов. Поэтому предлагается рассчитывать коэффициент экономической результативности ремонта:

$R_{repair} = E_{repair} / C_{repair}$, где: R_{repair} — экономическая результативность ремонтных затрат; E_{repair} — полученный и/или предотвращенный экономический эффект; C_{repair} — стоимость соответствующих ремонтных мероприятий. Авторский вывод к таблице 3. Рост ремонтного бюджета требует перехода от контроля «сколько средств освоено» к оценке

«какой производственный и экономический результат получен». В систему постремонтной оценки необходимо включить изменение аварийности, MTBF, MTTR, доступности оборудования и предотвращенного ущерба.

Авторский элемент № 1 — Pareto-модель критического оборудования.

Общая продолжительность зарегистрированных аварийных простоев в анализируемом массиве 2026 г. составляет около: $T_{total} = 334,9$ ч. Продолжительность простоев ВШМ: $TVSHM = 135,92$ ч. Доля определяется: $DVSHM = TVSHM / T_{total} \times 100 \%$. Подставим фактические значения: $DVSHM = 135,92 / 334,9 \times 100 \% = 40,6 \%$. Таким образом, только ВШМ формирует около 40,6 % общей продолжительности зарегистрированных аварийных простоев.

После ранжирования нормализованных позиций установлено, что первые десять позиций формируют приблизительно 80,9 % аварийного времени.

Таблица 4 — Результаты Pareto-анализа

Показатель	Значение
Общие аварийные простои	334,9 ч
Простои ВШМ	135,92 ч
Доля ВШМ	40,6 %
Доля TOP-10 оборудования	80,9 %
Доля остальных позиций	19,1 %

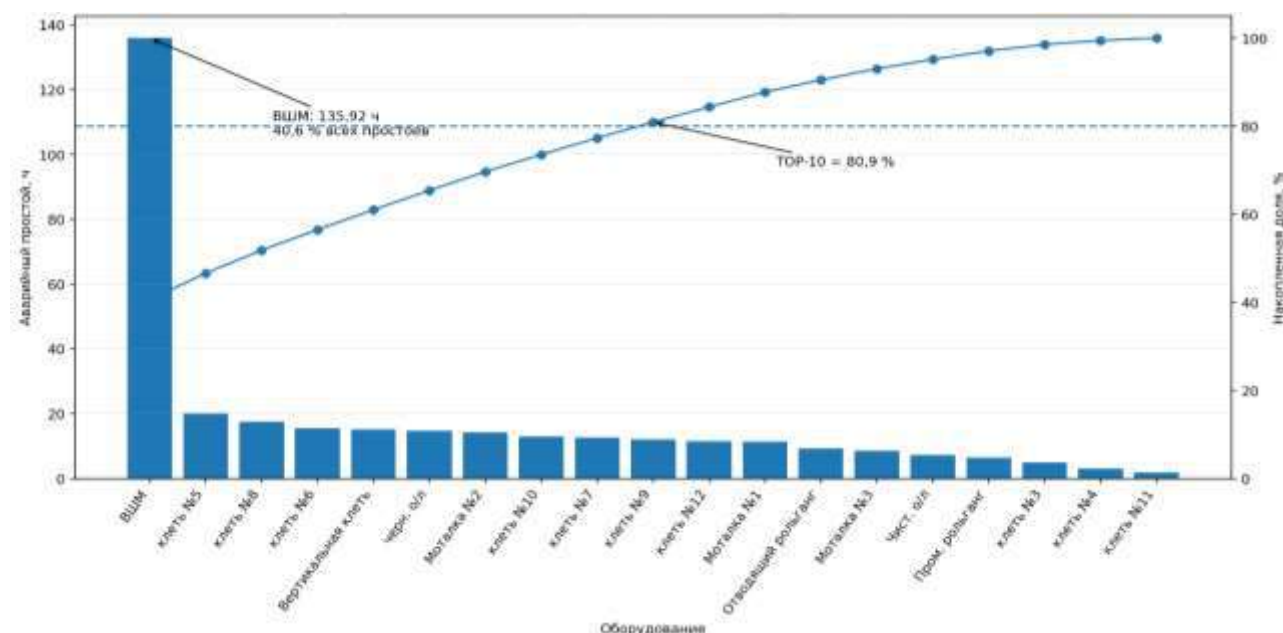


Рисунок 1 –Pareto – анализ аварийных простоев оборудования ЛПЦ 1,2026г.

Представленная Pareto-диаграмма подтверждает выраженную неравномерность распределения аварийных простоев между отдельными группами оборудования ЛПЦ-1. Наибольшая продолжительность простоев приходится на ВШМ — 135,92 ч, что составляет около 40,6 % совокупного зарегистрированного аварийного времени. Таким образом, практически две пятых анализируемых временных потерь концентрируются в одной группе оборудования.

Накопленная кривая Pareto показывает, что первые десять позиций рейтинга формируют около 80,9 % общей продолжительности аварийных простоев. Следовательно, основная часть временных потерь обусловлена сравнительно ограниченным количеством технических объектов. Полученный результат имеет принципиальное значение для формирования

ремонтной стратегии: равномерное распределение дополнительных ремонтных ресурсов между всем оборудованием не обеспечивает максимальной производственно-экономической отдачи.

С практической точки зрения целесообразно сконцентрировать первоочередные мероприятия по повышению надежности на оборудовании зоны А и верхней части зоны В. Для этих объектов должны быть предусмотрены углубленный анализ первопричин отказов (RCA), контроль MTBF и MTTR, проверка обеспеченности критическими запасными частями, усиленная диагностика и, при наличии достаточной информационной базы, элементы прогнозного технического обслуживания.

Авторский вывод. Pareto-анализ позволяет перейти от общего требования «сократить аварийные простои» к адресному управленческому решению: определить ограниченный перечень оборудования, воздействие на которое потенциально обеспечивает наибольшее сокращение совокупных временных потерь ЛПЦ-1.

Однако продолжительность простоя не является единственным критерием ремонтного приоритета. Один и тот же час остановки различных агрегатов может иметь неодинаковые технологические и экономические последствия. Поэтому результаты Pareto-анализа необходимо дополнить оценкой технической критичности оборудования и потенциального экономического ущерба.

Основной принцип: аварийные простои → ранжирование → накопленная доля → зона критичности → ремонтный приоритет. Авторский вывод. Результат опровергает необходимость равномерного усиления ремонтных воздействий по всему парку оборудования. При ограниченных ремонтных ресурсах больший эффект может быть получен путем концентрации технических и организационных мероприятий на ограниченной группе оборудования, формирующей основную часть временных потерь[16-20]. На основе результатов предлагается трехзонная модель приоритизации.

Таблица 5 — Авторская ABC/Pareto-классификация оборудования

Зона	Накопленная доля потерь	Приоритет	Управленческое воздействие
А	до 50 %	Критический	RCA, диагностика, резерв деталей, прогнозное обслуживание
В	50–80 %	Высокий	Усиленное ППР, MTBF/MTTR-контроль
С	свыше 80 %	Стандартный	Регламентное обслуживание

Авторский элемент № 2 — Матрица «критичность — экономический ущерб». Одной продолжительности простоя недостаточно для определения ремонтного приоритета. Оборудование с меньшим количеством часов простоя может иметь более высокую технологическую критичность и более тяжелые экономические последствия отказа.

Поэтому предлагается интегральный индекс: $IRP = 0,30D + 0,20F + 0,30E + 0,20C$, где: IRP — индекс ремонтного приоритета; D — нормированная оценка продолжительности простоев; F — нормированная частота отказов; E — нормированная оценка экономического ущерба; C — технологическая критичность. Все показатели нормируются в диапазоне от 0 до 1. Повышенный вес продолжительности простоя и экономического ущерба — по 30 % — обусловлен их непосредственным влиянием на производственно-экономический результат. Например: $D = 0,9$; $F = 0,7$; $E = 1,0$; $C = 0,9$. Тогда: $IRP = 0,30 \times 0,9 + 0,20 \times 0,7 + 0,30 \times 1,0 + 0,20 \times 0,9$. $IRP = 0,27 + 0,14 + 0,30 + 0,18 = 0,89$. Значение $IRP = 0,89$ соответствует критическому ремонтному приоритету.

Таблица 6 — Интерпретация индекса IRP

Значение IRP	Приоритет	Решение
0,80–1,00	Критический	Немедленная программа повышения надежности
0,60–0,79	Высокий	Приоритет ближайшего ремонтного цикла
0,40–0,59	Средний	Усиленный плановый мониторинг
< 0,40	Стандартный	Регламентное обслуживание

На этой основе формируется матрица. Зона I требует максимального внимания: прогнозной диагностики, формирования страхового запаса критических деталей, RCA-анализа повторных отказов и при необходимости инвестиционной модернизации.



Рисунок 2 — Авторская матрица «техническая критичность — экономический ущерб» для определения ремонтного приоритета оборудования ЛПЦ-1

Предлагаемая матрица развивает результаты Pareto-анализа и позволяет перейти от ранжирования оборудования исключительно по продолжительности простоев к комплексной оценке ремонтного приоритета. В качестве двух основных измерений используются техническая критичность оборудования и величина потенциального экономического ущерба от его отказа.

Наиболее значимой является зона I — «Стратегический приоритет», объединяющая оборудование с высокой технической критичностью и высоким экономическим ущербом. Для таких объектов обычного регламентного обслуживания недостаточно. Необходимы усиленная диагностика технического состояния, анализ повторных отказов, формирование страхового запаса критических деталей, применение predictive maintenance и рассмотрение инвестиционной модернизации.

Зона II — «Контроль надежности» включает оборудование высокой технологической критичности, но с относительно меньшими фактическими экономическими последствиями отказов. Основная задача управления состоит в предупреждении перехода таких объектов в зону I.

Зона III — «Экономический приоритет» объединяет оборудование относительно меньшей технологической критичности, отказ которого, однако, сопровождается значительными экономическими потерями. Здесь требуется сопоставление стоимости ремонта или модернизации со стоимостью предотвращаемого ущерба.

Для оборудования зоны IV экономически оправдано сохранение стандартного режима ТОиР при регулярном мониторинге динамики отказов.

Авторский вывод. Применение матрицы позволяет изменить принцип формирования ремонтной программы: приоритет определяется не стоимостью самого оборудования и не только количеством его отказов, а совокупностью технической критичности и экономических последствий потери его работоспособности.

В отличие от традиционного ранжирования оборудования по техническим признакам предлагаемая матрица вводит экономическую составляющую непосредственно в процедуру формирования ремонтного приоритета. Тем самым создается методическая связь между системой ТОиР и инвестиционным планированием: устойчивое нахождение оборудования в зоне I может рассматриваться как основание для перехода от повторяющихся ремонтных воздействий к инвестиционной модернизации.

Сценарная оценка резерва снижения аварийных простоев. Для определения производственного эффекта рассмотрим три сценария: сокращение аварийных простоев на 10, 20 и 30 %. Исходные данные: $T_{total} = 334,9$ ч; $Q_{hour} = 490,4$ т/ч. Продолжительность предотвращенного простоя: $\Delta T_{scenario} = T_{total} \times R$, где R — доля сокращения простоев. Консервативный сценарий — 10 %. $\Delta T_{10} = 334,9 \times 0,10 = 33,49$ ч. $\Delta Q_{10} = 33,49 \times 490,4 \approx 16\,424$ т. Базовый сценарий — 20 %. $\Delta T_{20} = 334,9 \times 0,20 = 66,98$ ч. $\Delta Q_{20} = 66,98 \times 490,4 \approx 32\,848$ т. Целевой сценарий — 30 %. $\Delta T_{30} = 334,9 \times 0,30 = 100,47$ ч. $\Delta Q_{30} = 100,47 \times 490,4 \approx 49\,272$ т.

Таблица 7 — Сценарная оценка сокращения аварийных простоев

Сценарий	Снижение простоев, %	Высвобождение времени, ч	Производственный эквивалент, т
Консервативный	10	33,49	16 424
Базовый	20	66,98	32 848
Целевой	30	100,47	49 272

Для перевода результата в денежное выражение предлагается применять маржинальный доход, а не полную цену реализации: $E = \Delta Q \times MD - C_{imp}$, где: E — чистый экономический эффект, тг; ΔQ — дополнительный производственный потенциал, т; MD — маржинальный доход на 1 т, тг/т; C_{imp} — затраты на реализацию мероприятий. Использование маржинального дохода позволяет избежать завышения расчетного экономического эффекта.

Авторский вывод. Даже сокращение аварийного времени на 10 % соответствует сохранению около 16,4 тыс. т производственного потенциала. При целевом сценарии 30 % показатель приближается к 49,3 тыс. т. Следовательно, снижение аварийности имеет измеримый производственный эффект и может использоваться при экономическом обосновании ремонтных и инвестиционных решений.

Авторский элемент № 3 — модель RDEC-LPC. На основе результатов исследования предлагается авторская модель RDEC-LPC — Repair–Downtime–Efficiency Coordination for LPC, объединяющая техническое, организационное и экономическое управление ремонтами. Модель включает шесть взаимосвязанных блоков.

Блок 1. Диагностика. регистрация отказов → унификация причин → анализ продолжительности → Pareto-анализ. Результат блока — перечень оборудования, формирующего основные производственные потери.

Блок 2. Приоритизация. Для каждой позиции определяется индекс IRP.

простой + частота отказов + экономический ущерб + технологическая критичность → ремонтный приоритет.

Блок 3. Предремонтная координация. До начала капитального ремонта проверяются: проектный объем работ; наличие материалов; запасные части; готовность подрядчиков; ремонтный персонал; грузоподъемные механизмы; техническая документация; резервные решения; критический путь; готовность к пуску.

Блок 4. Управление ремонтным окном. Целевое значение: $K_{coord} = T_{plan} / T_{fact}$. Оптимальное состояние: $K_{coord} = 1$. Дополнительно: $\Delta T = T_{fact} - T_{plan}$.

И: $\Delta T\% = ((T_{fact} - T_{plan}) / T_{plan}) \times 100\%$. Это позволяет перевести отклонение календарного графика в конкретное количество потерянных часов.

Блок 5. Производственно-экономическая оценка. $Q_{loss} = \Delta T \times Q_{hour}$.

Далее: $E_{loss} = Q_{loss} \times MD$. Таким образом, превышение ремонтного окна получает денежную оценку.

Блок 6. Обратная связь. После завершения ремонта оцениваются: MTBF → MTTR → повторные отказы → аварийные часы → доступность → экономический эффект. Результаты используются при подготовке следующего ремонтного цикла.

Модель RDEC-LPC представляет собой замкнутый контур управления производственно-экономической результативностью ремонтной деятельности. Ее принципиальной особенностью является объединение в единой последовательности диагностики технического состояния, анализа фактических простоев, определения ремонтного приоритета, подготовки капитального ремонта, контроля ремонтного окна и последующей оценки производственного и экономического эффекта.

Исходной точкой модели выступает не сам ремонт, а идентификация источника производственных потерь. После регистрации и унификации отказов проводится Pareto-анализ, позволяющий определить оборудование, формирующее основную продолжительность простоев. На следующем этапе результаты дополняются оценкой технической и экономической критичности и рассчитывается индекс IRP.

После определения приоритета модель переходит к предремонтной стадии, на которой должны быть синхронизированы материалы, запасные части, персонал, подрядчики, техническая документация, грузоподъемные механизмы и последовательность выполнения операций. Именно на данной стадии закладывается возможность соблюдения установленного ремонтного окна.

Результативность координации оценивается показателем: $K_{coord} = T_{plan} / T_{fact}$ и абсолютным отклонением: $\Delta T = T_{fact} - T_{plan}$. Если фактическая продолжительность превышает плановую, величина ΔT показывает количество дополнительно потерянных производственных часов. Далее временное отклонение переводится в производственный эквивалент: $Q_{loss} = \Delta T \times Q_{hour}$.

Тем самым модель обеспечивает последовательный переход: потерянные часы → потенциально недополученный выпуск → экономические последствия.

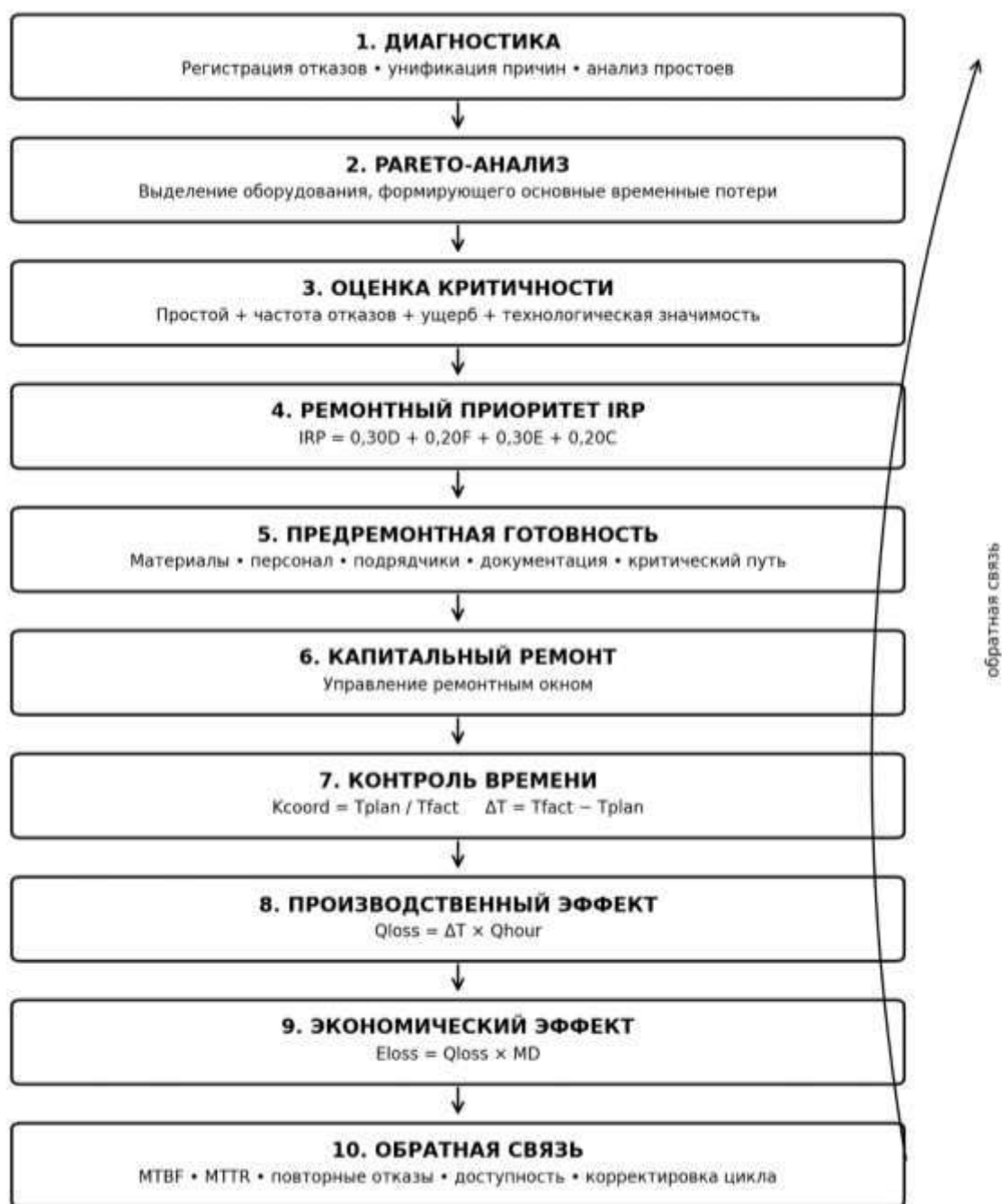


Рисунок 3 — Авторская модель RDEC-LPC «ремонт — простой — доступность — экономический результат»

На завершающем этапе показатели MTBF, MTTR, повторных отказов и доступности оборудования возвращаются в систему в качестве обратной связи. Поэтому результаты каждого капитального ремонта становятся информационной основой для подготовки следующего ремонтного цикла.

Авторский вывод. Главное отличие RDEC-LPC заключается в изменении самой точки завершения ремонта. В традиционной логике ремонт считается завершённым после технического восстановления и запуска оборудования. В предлагаемой модели

управленческий цикл завершается только после оценки того, как ремонт повлиял на надежность, производственное время и экономический результат.

Принципиальное отличие модели заключается в том, что ремонтный процесс с управленческой точки зрения не заканчивается запуском оборудования.

Он считается завершенным после ответа на три вопроса: 1. Технический результат: восстановлена ли работоспособность? 2. Производственный результат: сколько часов простоя удалось предотвратить? 3. Экономический результат: какова ценность сохраненного производственного времени? Таким образом: технический результат + производственный результат + экономический результат = результативность ремонта.

Система KPI ремонтной координации ЛПЦ-1. Для практического внедрения предложенного подхода необходимо дополнить традиционные показатели ремонта системой экономически ориентированных KPI.

Таблица 8 — Предлагаемая система KPI

KPI	Формула/метод оценки	Управленческий смысл
Использование фонда	$Kuse = T_{work} / T_{cal} \times 100 \%$	Доступность производственного времени
Соблюдение ремонтного окна	$Kcoord = T_{plan} / T_{fact}$	Координация ремонта
Отклонение ремонта	$\Delta T = T_{fact} - T_{plan}$	Потерянные/сохраненные часы
MTBF	Наработка / число отказов	Безотказность
MTTR	Время восстановления / число отказов	Скорость ремонта

Предлагаемая система принципиально отличается от оценки ремонта только по выполнению графика. Она связывает действия ремонтной службы с конечными производственно-экономическими результатами.

Практический механизм координации капитального ремонта. Для ЛПЦ-1 предлагается четырехэтапный организационный механизм.

1. Предремонтная стадия. До остановки оборудования формируется единый паспорт готовности капитального ремонта. Для каждой критической позиции устанавливается один из трех статусов: «готово» — «риск» — «критическое отклонение». В паспорт включаются: материалы; оборудование; запасные части; подрядчики; трудовые ресурсы; документация; транспорт; грузоподъемные механизмы; последовательность операций; контрольные точки; ответственные лица.

Основная задача — перенести максимально возможное количество организационных рисков за пределы ремонтного окна.

2. Стадия выполнения. В период ремонта контролируется критический путь. Отклонение любой операции должно оцениваться не только в часах выполнения самой операции, но и по ее влиянию на итоговое T_{fact} . Это особенно важно для последовательных операций, задержка которых переносит время начала следующих работ.

3. Послеремонтная стабилизация. После запуска оборудования должен действовать период усиленного мониторинга. Ключевой показатель — повторные отказы после ремонта. Если капитальный ремонт выполнен в установленное окно, но вскоре возникает повторный отказ, формальное соблюдение графика не означает высокой ремонтной эффективности.

4. Экономическая постоценка. Через установленный период после ремонта оцениваются: аварийные простои до и после; MTBF; MTTR; повторные отказы; доступность; предотвращенные часы; производственный эквивалент; экономический эффект. Таким

образом формируется цикл: планирование → подготовка → ремонт → запуск → мониторинг → экономическая оценка → корректировка следующего цикла.

Обсуждение результатов. Результаты исследования позволяют сформулировать несколько принципиальных положений.

Во-первых, увеличение годового производства стана 1700 происходило при относительно стабильной часовой производительности. Это позволяет рассматривать сокращение потерь времени как самостоятельный фактор роста эффективности.

Во-вторых, снижение текущих простоев на 38,45 % сопровождалось ростом использования календарного фонда на 9,51 п.п. Полученная динамика подтверждает необходимость включения временной доступности в число основных КРІ производственно-экономической эффективности.

В-третьих, выявлена существенная концентрация аварийных простоев. Около 40,6 % зарегистрированного аварийного времени приходится на ВШМ, а ТОР-10 позиций формируют около 80,9 %. Следовательно, ремонтная стратегия должна быть дифференцированной.

В-четвертых, значительное увеличение анализируемых ремонтных затрат в 2025 г. требует развития механизмов оценки их результативности. Сам по себе рост расходов не является ни положительным, ни отрицательным явлением. Он должен оцениваться относительно предотвращенных отказов, роста межремонтного периода, сокращения аварийных часов и экономического эффекта.

В-пятых, традиционная система ППР может быть дополнена инструментами predictive maintenance. Однако переход к прогнозному обслуживанию должен осуществляться последовательно. На первом этапе необходимо обеспечить высокое качество первичных данных: унифицированные наименования оборудования, единые коды отказов, точное время начала и окончания остановок, классификацию причин и фиксацию ремонтных воздействий.

Только после формирования надежной базы данных оправдан переход к алгоритмическому прогнозированию отказов. Предлагаемая модель RDEC-LPC развивает данные положения посредством объединения временного, технического и экономического анализа в одном контуре.

Взаимосвязь авторских инструментов. Предложенные в исследовании инструменты образуют не три самостоятельных аналитических элемента, а последовательную систему принятия решений. Pareto-анализ определяет, где концентрируются основные временные потери; матрица «техническая критичность — экономический ущерб» отвечает на вопрос, какое оборудование должно получить приоритет; модель RDEC-LPC определяет, каким образом организовать ремонтное воздействие и оценить его результативность.

В интегрированном виде авторский подход можно представить следующим образом: PARETO → IRP → МАТРИЦА КРИТИЧНОСТИ → РЕМОТНЫЙ ПРИОРИТЕТ → RDEC-LPC → ΔT → ΔQ → ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ. Именно этот фрагмент, на наш взгляд, существенно усиливает научную новизну статьи, поскольку показывает, что нами разработана не отдельная диаграмма или коэффициент, а целостный механизм принятия ремонтно-экономических решений.

Практические рекомендации. На основании выполненного исследования для ЛПЦ-1 АО «Qarmet» предлагаются следующие мероприятия.

1. Создать реестр критического оборудования. Основой реестра должны стать фактические аварийные часы, частота отказов, технологическая критичность и экономические последствия.

2. ВШМ рассматривать как объект первоочередного анализа надежности. На него приходится около 40,6 % зарегистрированного аварийного времени в анализируемой базе.

3. Ввести регулярный Pareto-анализ. Рейтинг необходимо обновлять ежемесячно и накопительно с начала года.

4. Использовать IRP при формировании ремонтной программы. Это позволит соединить техническую и экономическую критичность.

5. Ввести KPI Kcoord. Для каждого крупного ремонта должны фиксироваться Tplan и Tfact.

6. Экономически оценивать каждый час превышения ремонтного окна. Первоначально достаточно использовать показатель производственного эквивалента: $Q_{loss} = \Delta T \times Q_{hour}$.

7. Ввести MTBF и MTTR по критическому оборудованию. Это позволит оценивать не только длительность отдельных ремонтов, но и изменение надежности между ремонтными циклами.

8. Создать единый классификатор оборудования и отказов. Это устранил проблему дублирования наименований и повысит качество аналитики.

9. Связать ремонтный и инвестиционный бюджеты. Оборудование с высоким IRP и устойчиво высокими экономическими потерями должно рассматриваться не только как объект ремонта, но и как кандидат на модернизацию.

10. Создать цифровую панель «Производство — ремонт — простои — экономика». Рекомендуемые показатели: выпуск → рабочее время → простои → TOP-10 причин → Kcoord → MTBF → MTTR → Cunit → предотвращенный простой → экономический эффект.

Научная новизна исследования заключается в разработке интегрированного организационно-экономического механизма управления ремонтной деятельностью прокатного производства, объединяющего три взаимосвязанных авторских инструмента: ABC/Pareto-модель локализации критических временных потерь; матрицу «техническая критичность — экономический ущерб» с индексом ремонтного приоритета IRP; модель RDEC-LPC, обеспечивающую трансформацию отклонений ремонтного окна в показатели потерянного или сохраненного производственного времени, производственного потенциала и экономического результата.

Заключение. Проведенное исследование позволило количественно обосновать роль управления ремонтами и производственными простоями в повышении производственно-экономической эффективности стана 1700 ЛПЦ-1 АО «Qarmet». За 2023–2025 гг. производство увеличилось с 2 614 640 до 3 033 331 т, то есть на 418 691 т, или 16,01 %. Одновременно текущие простои сократились с 2 813,32 до 1 731,36 ч — на 1 081,96 ч, или 38,45 %.

Коэффициент использования календарного фонда увеличился с 61,10 до 70,61 %, то есть на 9,51 п.п. При этом производительность фактического рабочего часа оставалась относительно стабильной — около 490 т/ч.

Полученный результат позволяет сделать основной вывод исследования: существенным резервом повышения годовой производительности стана 1700 является не только увеличение интенсивности работы оборудования, но и высвобождение производственного времени посредством сокращения простоев и совершенствования координации ремонтов.

Анализ аварийных остановок показал высокую концентрацию потерь. Общая продолжительность зарегистрированных аварийных простоев в анализируемом массиве составляет около 334,9 ч, из которых 135,92 ч, или 40,6 %, приходится на ВШМ. Первые десять позиций оборудования формируют около 80,9 % аварийного времени.

Сценарный расчет показал, что сокращение аварийных простоев на 10 % соответствует примерно 16,4 тыс. т сохраненного производственного потенциала, на 20 % — 32,8 тыс. т, на 30 % — 49,3 тыс. т.

В качестве первого авторского элемента предложена ABC/Pareto-модель, позволяющая выделить ограниченную группу оборудования, определяющую основную часть временных потерь.

Вторым авторским элементом является матрица «техническая критичность — экономический ущерб» и интегральный индекс IRP, позволяющие формировать экономически обоснованный ремонтный приоритет.

Третьим и центральным авторским результатом является модель RDEC-LPC, объединяющая диагностику, Pareto-анализ, оценку критичности, предремонтную готовность,

управление ремонтным окном и постремонтную экономическую оценку. Предложена простая система количественной оценки соблюдения ремонтного окна: $K_{coord} = T_{plan} / T_{fact}$. Она дополняется показателями: $\Delta T = T_{fact} - T_{plan}$ и $\Delta T\% = ((T_{fact} - T_{plan}) / T_{plan}) \times 100 \%$.

Это позволяет непосредственно связать организационное отклонение капитального ремонта с количеством потерянных производственных часов.

Таким образом, предлагаемая концепция меняет логику оценки ремонтной деятельности: ремонт → не только восстановление оборудования; ремонт → сохранение производственного времени; сохраненное время → сохраненный производственный потенциал; сохраненный производственный потенциал → экономический результат. Перспективным направлением дальнейшего исследования является интеграция модели RDEC-LPC с системой инвестиционного планирования ЛПЦ-1. Оборудование, характеризующееся одновременно высокой технической критичностью, значительными простоями и крупным экономическим ущербом, должно рассматриваться не только как объект ремонта, но и как объект приоритетной инвестиционной модернизации.

ЛИТЕРАТУРА

1. ISO 55000:2024. Asset management — Vocabulary, overview and principles. — 2nd ed. — Geneva: International Organization for Standardization, 2024. — 13 p.
2. ISO 55001:2024. Asset management — Asset management system — Requirements. — 2nd ed. — Geneva: International Organization for Standardization, 2024.
3. ГОСТ Р 27.102-2021. Надежность в технике. Надежность объекта. Термины и определения. — Введ. 2022-01-01. — М.: Российский институт стандартизации, 2021.
4. Muchiri P., Pintelon L. Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE): literature review and practical application discussion // *International Journal of Production Research*. — 2008. — Vol. 46, № 13. — P. 3517–3535. — DOI: 10.1080/00207540601142645.
5. Hedman R., Subramaniyan M., Almström P. Analysis of critical factors for automatic measurement of OEE // *Procedia CIRP*. — 2016. — Vol. 57. — P. 128–133.
6. Singh R., Shah D. B., Gohil A. M., Shah M. H. Overall Equipment Effectiveness (OEE) calculation — Automation through hardware & software development // *Procedia Engineering*. — 2013. — Vol. 51. — P. 579–584.
7. Jakubowski J., Wojak-Strzelecka N., Ribeiro R. P., Pashami S., Bobek S., Gama J., Nalepa G. J. Artificial Intelligence Approaches for Predictive Maintenance in the Steel Industry: A Survey. — 2024.
8. Nakajima S. Introduction to TPM: Total Productive Maintenance. — Cambridge, MA: Productivity Press, 1988.
9. Atikno W., Purba H. H. A Systematic Literature Review of Overall Equipment Effectiveness (OEE) Implementation in Manufacturing and Service Industries // *Journal of Industrial and Engineering System*. — 2021. — Vol. 2, № 1. — DOI: 10.31599/jies.v2i1.401.
10. ISO 14224:2016. Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. — Geneva: International Organization for Standardization, 2016.
11. ГОСТ 27.002-2015. Надежность в технике. Термины и определения. — М.: Стандартинформ, 2016.
12. Muchiri P. N., Pintelon L., Gelders L., Martin H. Development of maintenance function performance measurement framework and indicators // *International Journal of Production Economics*. — 2011. — Vol. 131, № 1. — P. 295–302.
13. Jardine A. K. S., Lin D., Banjevic D. A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance // *Mechanical Systems and Signal Processing*. — 2006. — Vol. 20, № 7. — P. 1483–1510.

14. Wireman T. Developing Performance Indicators for Managing Maintenance. — 2nd ed. — New York: Industrial Press, 2005.
15. Внутренние производственные данные ЛПЦ-1 АО «Qarmet»: производство стана 1700, рабочее время, текущие простои, затраты на капитальные ремонты за 2023–2025 гг., аварийные простои оборудования за 2026 г.
16. Гельманова З.С., Валеев Д.А. и др. Проблемы и резервы повышения эффективности организации ремонтов на АО «QARMET» В сборнике трудов XIII Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии и инжиниринг», Темиртау, КарИУ, 2025, pp. 417–419, ISBN: 978-601-82346-7-5
17. Гельманова З.С., Руш В.В. и др. Инновационное развитие ЛПЦ-1 АО «QARMET» через модернизацию производственных мощностей: проект установки комбинированного агрегата поперечной резки В сборнике трудов XIII Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии и инжиниринг», Темиртау, КарИУ, 2025, pp. 419–422, ISBN: 978-601-82346-7-5
18. Гельманова З.С., Батырбек А., Петровская А.С. и др. Эволюция бизнес модели ЛПЦ1 АО «QARMET» в условиях цифровой трансформации 4-й промышленной революции. Монография. Алматы: ADAL KITAP, 2025 -164с.
19. Gelmanova Z.S., Fayez Wazani, A. W., et al. Measures and procedure for implementing production digitalization at JSC “Karmet” International Conference on Electrical and Computer Engineering Research (ICECER) 2024, pp. 1–6. IEEE. – December 4–6, 2024, Gaborone, Botswana. DOI: 10.1109/ICECER62944.2024.10920383.
20. Gelmanova Z.S., Fayez Wazani, A. W., et al. Transformation of warehouse operations at JSC “QARMET” through an intelligent management system Proceedings of the International Conference on Artificial Intelligence, Computer Science, Data Science and Applications (ACDSA) 2025, pp. 45–52. IEEE. – August 7–9, 2025, Antalya, Türkiye. DOI: 10.1109/ACDSA65407.2025.11166469.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.22236429>

УДК 332.1

**ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛПЦ-1 АО «QARMET» НА ОСНОВЕ ПРИОРИТИЗАЦИИ
ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ И ОЦЕНКИ ПРЕДОТВРАЩЕННОГО
ЭКОНОМИЧЕСКОГО УЩЕРБА**

ГЕЛЬМАНОВА ЗОЯ САЛИХОВНА

Профессор, Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

FAYEZ WAZANI ABDUL WALID

Магистр, Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

ИВАЩЕНКО ЛАРИСА АЛЕКСАНДРОВНА

Магистрант, Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

THUKU HARRISON

Магистрант, Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

Аннотация. В условиях капиталоемкого металлургического производства повышение эффективности инвестиционной деятельности определяется не только объемом капитальных вложений, но и качеством выбора объектов модернизации, способностью инвестиционных проектов устранять наиболее значимые производственные ограничения и предотвращать экономические потери. Особое значение данная проблема приобретает для листопрокатного производства, где технологическая взаимозависимость оборудования приводит к мультипликативному эффекту отказов: локальная техническая проблема отдельного агрегата может трансформироваться в продолжительный простой, недопроизводство продукции и существенный экономический ущерб.

Цель исследования состоит в разработке организационно-экономического подхода к приоритизации инвестиционных проектов Листопрокатного цеха № 1 АО «Qarmet» на основе количественной оценки производственных потерь, предотвращенного экономического ущерба и стратегической значимости модернизируемого оборудования.

Информационной базой исследования являются фактические производственные, ремонтные и инвестиционные данные ЛПЦ-1, включая динамику производства стана 1700 за 2023–2025 гг., показатели рабочего времени и простоев, сведения о капитальных ремонтах и инвестиционных проектах, аварийные простои оборудования, а также расчет экономических потерь, связанных с недопоставкой валков.

В исследовании применяются методы сравнительного, структурного и динамического анализа, сценарного моделирования, оценки производственного эквивалента простоев, инвестиционного анализа, ранжирования и многокритериальной оценки инвестиционных альтернатив. Для перехода от технического анализа к инвестиционному решению предлагается авторская модель IPI-LPC (Investment Priority Index for LPC), позволяющая учитывать одновременно производственную критичность объекта, предотвращаемые простои, потенциальный экономический ущерб, ожидаемый производственный эффект и инвестиционную результативность проекта.

Установлено, что выявленные производственные потери могут иметь существенную экономическую стоимость. В частности, совокупная оценка потерь, связанных с проблемой недопоставки валков, по исходным данным составляет 446,04 млн тг, из которых около 306,61 млн тг, или 68,74 %, связано с недопроизводством продукции, а 85,32 млн тг, или 19,13 %, — с прямыми потерями от простоев. Полученный результат подтверждает

необходимость рассматривать надежность обеспечения критическими производственными ресурсами как объект не только операционного, но и инвестиционного управления.

Научная новизна исследования заключается в разработке интегрированного подхода к отбору инвестиционных проектов прокатного производства, основанного на трансформации производственной проблемы в измеримый экономический ущерб и последующем сопоставлении величины предотвращаемых потерь с необходимыми инвестиционными затратами.

Практическая значимость заключается в возможности использования предложенного подхода при формировании инвестиционной программы ЛПЦ-1, ранжировании проектов модернизации, обосновании CAPEX и выборе между ремонтом, модернизацией и заменой критического оборудования.

Ключевые слова: *инвестиционный проект, производственно-экономическая эффективность, ЛПЦ-1, АО «Qarmet», модернизация, CAPEX, производственные потери, простой оборудования, предотвращенный ущерб, инвестиционный приоритет, валковое хозяйство, экономическая эффективность.*

Введение. Современная металлургическая промышленность относится к числу наиболее капиталоемких отраслей экономики. Поддержание конкурентоспособности металлургического предприятия требует постоянного обновления основных производственных фондов, модернизации технологического оборудования, повышения надежности производственных систем и внедрения цифровых технологий. При этом ограниченность инвестиционных ресурсов обуславливает необходимость выбора тех проектов, которые способны обеспечить наибольший производственный и экономический эффект [1,2].

Для действующего металлургического предприятия инвестиционное решение существенно отличается от оценки нового проекта. В условиях функционирующего производства экономический результат модернизации формируется не только за счет создания дополнительной мощности, но и посредством устранения существующих ограничений, сокращения простоев, уменьшения аварийности, повышения качества продукции и предотвращения уже возникающих производственных потерь [3,4].

В связи с этим традиционная схема оценки инвестиционного проекта: CAPEX → реализация проекта → дополнительный денежный поток → окупаемость для модернизации действующего прокатного производства должна быть дополнена второй составляющей: существующая производственная проблема → экономические потери → инвестиционное воздействие → предотвращенный ущерб. Такой подход принципиально изменяет логику инвестиционного анализа. Отсутствие прямого увеличения номинальной мощности после реализации проекта не означает отсутствия инвестиционного эффекта. Если модернизация позволяет предотвращать простои, увеличивать доступность оборудования и сохранять производственный потенциал, данный результат обладает экономической стоимостью.

Для ЛПЦ-1 АО «Qarmet» такой подход представляет особый интерес. Результаты анализа производственных данных показывают наличие одновременно нескольких потенциальных направлений инвестиционного воздействия: техническая модернизация критического оборудования, совершенствование валкового хозяйства, устранение причин аварийных остановок, повышение надежности отдельных агрегатов, цифровизация контроля состояния оборудования [9-11]. Следовательно, возникает задача определения инвестиционного приоритета: какой из проектов должен быть реализован первым и почему?

Для ответа на этот вопрос недостаточно сравнить только стоимость проектов. Более дорогой проект может предотвращать значительно больший экономический ущерб, а относительно дешевый проект — иметь ограниченное влияние на производственную систему. Поэтому инвестиционный проект для ЛПЦ-1 предлагается оценивать как минимум в трех

взаимосвязанных измерениях: техническая необходимость → производственный эффект → экономическая эффективность.

Постановка исследовательской проблемы. Основная проблема состоит в существующем разрыве между техническим обоснованием необходимости модернизации оборудования и экономическим обоснованием инвестиционного приоритета.

Техническая служба может аргументировать необходимость проекта высокой аварийностью, износом оборудования или недостаточной надежностью. Экономическая служба, в свою очередь, оценивает объем требуемых инвестиций, срок окупаемости и ожидаемый финансовый результат.

Однако для принятия комплексного решения необходимо связующее звено:

техническая проблема → производственные последствия → денежная оценка последствий → инвестиционный эффект. Именно эта связь составляет предмет настоящего исследования. Особенно показателен выявленный в исходной базе пример недопоставки валков. Проблема обеспечения критическим производственным ресурсом приводит к простоям и недопроизводству, совокупная оценка которых составляет 446,04 млн тг.

Таким образом, валок перестает рассматриваться исключительно как материально-технический ресурс. Его наличие или отсутствие приобретает инвестиционно-экономическое значение, поскольку влияет на способность производственной системы генерировать результат.

Цель исследования — разработать и апробировать методический подход к повышению производственно-экономической эффективности ЛПЦ-1 АО «Qarmet» посредством приоритизации инвестиционных проектов на основе оценки предотвращаемых производственных потерь и экономического ущерба.

Задачи исследования. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: исследовать экономическую природу инвестиционной модернизации действующего металлургического производства; систематизировать производственные ограничения ЛПЦ-1, потенциально требующие инвестиционного воздействия; оценить структуру экономических потерь на примере проблемы недопоставки валков; установить связь между продолжительностью простоев, недопроизводством и экономическим ущербом;

разработать критерии оценки инвестиционного приоритета; сформировать авторский индекс IPI-LPC; разработать матрицу выбора «ремонтить — модернизировать — заменять»; выполнить сценарную оценку предотвращенного ущерба; предложить механизм включения предотвращенных производственных потерь в оценку эффективности CAPEX; сформировать рекомендации по совершенствованию инвестиционного планирования ЛПЦ-1.

Объект исследования — производственно-инвестиционная деятельность Листопрокатного цеха № 1 АО «Qarmet».

Предмет исследования — организационно-экономические отношения и методы принятия инвестиционных решений, возникающие при выборе проектов модернизации оборудования, направленных на сокращение производственных потерь и повышение эффективности ЛПЦ-1.

Гипотеза исследования. Основная гипотеза формулируется следующим образом: инвестиционная эффективность проектов модернизации действующего прокатного производства определяется не только создаваемым дополнительным выпуском, но и величиной предотвращаемого экономического ущерба; поэтому включение стоимости предотвращенных простоев и недопроизводства в систему инвестиционной приоритизации позволяет повысить обоснованность распределения CAPEX.

Научная новизна исследования. Научная новизна будет состоять не в самом применении известных показателей ROI или срока окупаемости, а в способе формирования инвестиционного решения. Предлагаются три взаимосвязанных авторских элемента.

Первый элемент — индекс IPI-LPC (Investment Priority Index for LPC). Он будет ранжировать инвестиционные проекты не только по финансовым показателям, но и по их способности устранять критические производственные потери.

Второй элемент — модель трансформации производственной потери в инвестиционное решение: техническая проблема → простой → недопроизводство → экономический ущерб → инвестиционное воздействие → предотвращенный ущерб → инвестиционный эффект.

Третий элемент — матрица «ремонттировать — модернизировать — заменять». Она позволит выбирать тип воздействия в зависимости от технической критичности объекта, повторяемости потерь и экономического ущерба.

Таким образом, научная новизна исследования заключается в разработке интегрированной системы приоритизации инвестиционных проектов действующего прокатного производства, объединяющей техническую критичность, производственные потери, предотвращаемый экономический ущерб и инвестиционную результативность.

Практическая значимость. Практическая значимость предложенного подхода состоит в возможности его применения при формировании инвестиционной программы ЛПЦ-1. Для каждого предлагаемого проекта руководство получает ответы не только на вопросы: «Сколько стоит проект?» «За сколько лет он окупится?» но и: «Какую производственную проблему он устраняет?» «Сколько часов простоя он способен предотвратить?» «Какой объем производственного потенциала будет сохранен?» «Какой экономический ущерб будет предотвращен?» «Что произойдет, если проект не реализовать?»

Последний вопрос особенно важен для модернизации действующего производства. В понятной форме: $CNA = Eloss \times N$, где: CNA — накопленная стоимость отказа от инвестиционного решения; Eloss — ожидаемые ежегодные экономические потери; N — число лет сохранения существующей проблемы. Например, если подтвержденные потери 446,04 млн тг будут повторяться ежегодно и не принимать во внимание дисконтирование, то за три года: $CNA = 446,04 \times 3 = 1\,338,12$ млн тг. То есть около 1,34 млрд тг. Это пока иллюстративный сценарий, а не утверждение, что фактические потери обязательно повторятся три года подряд. Но методически он очень полезен: стоимость проекта следует сравнивать не только с будущим доходом, но и со стоимостью бездействия [1-4].

Методология исследования. Исследование предлагается провести в семь последовательных этапов.

Этап 1. Идентификация производственной проблемы. Определяется техническая или организационная причина, способная ограничивать производственную деятельность: отказ → дефицит ресурса → износ → недостаточная мощность → технологическое ограничение.

Этап 2. Количественная оценка временных потерь. Определяется продолжительность простоя: $Tloss = \sum Ti$, где: Tloss — общая продолжительность потерь времени, ч; Ti — отдельный зарегистрированный простой, ч.

Этап 3. Перевод времени в производственный результат. $Qloss = Tloss \times Qhour$, где: Qloss — производственный эквивалент простоя, т; Qhour — средняя производительность, т/ч. Для стана 1700 по данным 2025 г.: $Qhour = 3\,033\,331 / 6\,185,5 = 490,4$ т/ч. Следовательно, один час производственного времени соответствует приблизительно 490,4 т производственного потенциала при прочих равных условиях.

Этап 4. Экономическая оценка потерь. Общая величина ущерба может быть представлена: $Eloss = Edirect + Eoutput + Erelated$, где: Edirect — прямые потери от простоя; Eoutput — потери, связанные с недопроизводством; Erelated — связанные экономические потери.

Этап 5. Оценка предотвращаемого ущерба. $Eprevent = Eloss_before - Eloss_after$, где: Eprevent — предотвращенный экономический ущерб; Eloss_before — ожидаемые потери без реализации проекта; Eloss_after — остаточные потери после реализации проекта.

Этап 6. Инвестиционная оценка. Простой показатель отдачи: $ROI = (Eprevent - CAPEX) / CAPEX \times 100 \%$. Однако для многолетних проектов ROI обязательно дополним NPV,

дисконтированным сроком окупаемости и сценарным анализом, поскольку простое отношение эффекта к CAPEX не учитывает временную стоимость денег.

Этап 7. Определение инвестиционного приоритета. На последнем этапе рассчитывается авторский индекс IPI-LPC. $IPI = 0,25C + 0,25E + 0,20D + 0,15S + 0,15F$, где: C — техническая критичность объекта; E — предотвращаемый экономический ущерб; D — влияние проекта на сокращение простоев; S — стратегическая значимость проекта; F — финансовая эффективность. Каждый показатель нормируется от 0 до 1.

Экономическая оценка производственных потерь как основание инвестиционного решения. Для обоснования инвестиционных решений в действующем прокатном производстве недостаточно определить только техническую необходимость модернизации оборудования. Ключевым является установление экономической стоимости существующей производственной проблемы. В качестве практического кейса рассмотрены данные ЛПЦ-1, характеризующие последствия недопоставки валков [12]. Согласно исходной расчетной базе, совокупные потери составили 446,04 млн тг. В их составе выделяются прямые потери от простоев, потери вследствие недопроизводства продукции и прочие связанные потери.

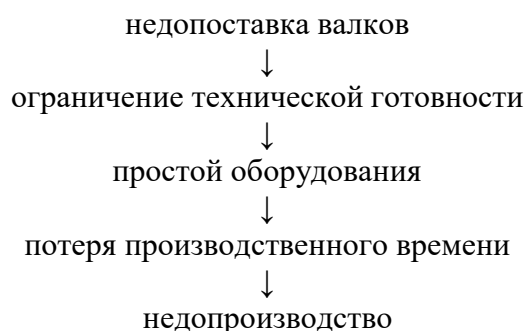
Таблица 1 — Структура экономических потерь, связанных с недопоставкой валков

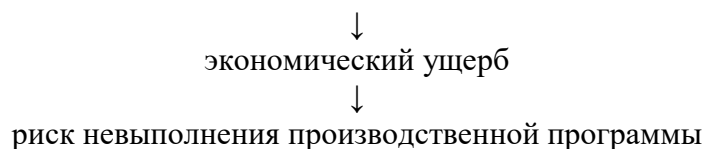
Вид экономических потерь	Сумма, млн тг	Доля, %
Недопроизводство продукции	306,61	68,74
Прямые потери от простоев	85,32	19,13
Прочие и связанные потери	54,11	12,13
Итого	446,04	100,00

Величина прочих и связанных потерь определяется: $E_{related} = E_{total} - E_{output} - E_{direct}$. Подставим значения: $E_{related} = 446,04 - 306,61 - 85,32 = 54,11$ млн тг. Их удельный вес: $D_{related} = 54,11 / 446,04 \times 100 \% = 12,13 \%$. Наибольшая составляющая экономического ущерба — недопроизводство продукции: $D_{output} = 306,61 / 446,04 \times 100 \% = 68,74 \%$. Прямые потери от простоев: $D_{direct} = 85,32 / 446,04 \times 100 \% = 19,13 \%$. Таким образом, почти 69 % совокупного экономического ущерба связано не непосредственно с расходами в период остановки, а с потерянной возможностью произвести продукцию.

Авторский вывод к таблице 1. Структура потерь показывает, что экономические последствия технической или логистической проблемы значительно шире прямых затрат от простоя. Поэтому при обосновании инвестиционных проектов ЛПЦ-1 необходимо учитывать не только стоимость ремонта и обслуживания, но и стоимость утраченного производственного потенциала.

Производственно-экономическая интерпретация проблемы валкового хозяйства. Полученные результаты позволяют рассматривать обеспечение валками не только как элемент материально-технического снабжения. Если нарушение обеспечения критическим ресурсом приводит к простоям технологического оборудования, оно трансформируется в ограничение производственной мощности. Последовательность возникновения ущерба имеет следующий вид:





Следовательно, экономическое решение должно быть направлено не только на устранение последствий, но и на ликвидацию первопричины возникновения потерь.

В данном случае потенциальными направлениями инвестиционного воздействия могут являться модернизация системы валкового хозяйства, повышение надежности снабжения, создание экономически обоснованного страхового запаса, восстановление или расширение собственных возможностей подготовки валков, цифровой мониторинг их жизненного цикла и другие мероприятия. Однако выбор конкретного варианта требует отдельного технико-экономического обоснования. На данном этапе исследования устанавливается прежде всего верхняя экономическая граница проблемы — 446,04 млн тг фактически рассчитанных потерь в анализируемом массиве.

Сценарная оценка предотвращенного экономического ущерба. Инвестиционный проект не обязательно полностью устраняет существующие потери. Поэтому для оценки потенциального результата целесообразно использовать несколько сценариев. Предлагаются три варианта: консервативный — предотвращение 25 % потерь; базовый — предотвращение 50 %; целевой — предотвращение 75 %. Предотвращенный ущерб определяется: $E_{prevent} = E_{total} \times R_{prevent}$, где: $E_{prevent}$ — предотвращенный экономический ущерб, млн тг; E_{total} — существующий экономический ущерб, млн тг; $R_{prevent}$ — доля потерь, предотвращаемых проектом. Сценарий 1 — предотвращение 25 %. $E_{prevent25} = 446,04 \times 0,25 = 111,51$ млн тг. Сценарий 2 — предотвращение 50 %. $E_{prevent50} = 446,04 \times 0,50 = 223,02$ млн тг. Сценарий 3 — предотвращение 75 %. $E_{prevent75} = 446,04 \times 0,75 = 334,53$ млн тг.[12].

Таблица 2 — Сценарная оценка предотвращенного экономического ущерба

Сценарий	Доля предотвращенных потерь, %	Предотвращенный ущерб, млн тг	Остаточные потери, млн тг
Консервативный	25	111,51	334,53
Базовый	50	223,02	223,02
Целевой	75	334,53	111,51

Остаточные потери рассчитываются: $E_{remain} = E_{total} - E_{prevent}$. Например, для целевого сценария: $E_{remain75} = 446,04 - 334,53 = 111,51$ млн тг.

Авторский вывод к таблице 2. Даже частичное устранение причины потерь способно формировать значительный экономический результат. При предотвращении только четверти выявленного ущерба потенциальный эффект составляет 111,51 млн тг, при базовом сценарии — 223,02 млн тг, а при целевом — 334,53 млн тг. Именно эти показатели могут использоваться как один из денежных потоков при последующем инвестиционном анализе проекта.

Сценарная структура предотвращенного ущерба. Для большей глубины исследования предлагаем не ограничиваться общей суммой. Рассчитаем, какие составляющие ущерба сокращаются при каждом сценарии.

Таблица 3 — Структура потенциально предотвращаемых потерь, млн тг

Вид потерь	Исходные потери	Сценарий 25 %	Сценарий 50 %	Сценарий 75 %
Недопроизводство	306,61	76,65	153,31	229,96

Прямые потери от простоев	85,32	21,33	42,66	63,99
Связанные потери	54,11	13,53	27,06	40,58
Итого	446,04	111,51	223,02	334,53

Например, в базовом сценарии предотвращение 50 % потерь означает:

$E_{output50} = 306,61 \times 0,50 = 153,31$ млн тг; $E_{direct50} = 85,32 \times 0,50 = 42,66$ млн тг; $E_{related50} = 54,11 \times 0,50 = 27,06$ млн тг. Суммарно: $E_{prevent50} = 153,31 + 42,66 + 27,06 \approx 223,02$ млн тг. Небольшое расхождение при сложении округленных значений объясняется округлением до двух знаков после запятой.

Авторский вывод к таблице 3. Основная экономическая ценность потенциального инвестиционного решения формируется за счет предотвращения недопроизводства. Следовательно, при выборе проекта необходимо оценивать прежде всего его способность обеспечивать устойчивость производственного процесса, а не только снижать непосредственные расходы на обслуживание.

Стоимость бездействия как дополнительный критерий инвестиционного решения. Традиционный инвестиционный анализ отвечает на вопрос: «Что предприятие получит, если реализует проект?» Для модернизации действующего производства необходимо дополнительно ответить: «Что предприятие может потерять, если проект не будет реализован?»

Для этого вводится показатель CNA — Cost of No Action, или стоимость бездействия. В простейшем варианте: $CNA = E_{loss} \times N$ где: CNA — накопленная стоимость бездействия, млн тг; E_{loss} — годовая величина повторяющихся потерь, млн тг; N — число лет. Если использовать 446,04 млн тг как сценарную годовую величину повторяющихся потерь, получаем: за 1 год: $CNA_1 = 446,04$ млн тг; за 2 года: $CNA_2 = 446,04 \times 2 = 892,08$ млн тг; за 3 года: $CNA_3 = 446,04 \times 3 = 1\,338,12$ млн тг; за 5 лет: $CNA_5 = 446,04 \times 5 = 2\,230,20$ млн тг.

Таблица 4 — Сценарная стоимость бездействия.

Период	Накопленные потери без вмешательства, млн тг
1 год	446,04
2 года	892,08
3 года	1 338,12
5 лет	2 230,20

Здесь необходимо сделать важную методологическую оговорку: таблица 4 не является прогнозом фактических будущих убытков АО «Qarmet». Она показывает сценарий при условии ежегодного повторения текущей величины потерь и пока не учитывает дисконтирование, инфляцию, изменение объемов производства и вероятность повторения события. Именно поэтому этот расчет используется как индикатор инвестиционного риска, а не как окончательный прогноз денежного потока.

Авторский вывод к таблице 4. Чем дольше сохраняется источник систематических производственных потерь, тем выше экономическая цена отсрочки инвестиционного решения. Поэтому при ранжировании CAPEX-проектов необходимо оценивать не только срок окупаемости проекта, но и потенциальную стоимость его откладывания.

От стоимости бездействия к экономически допустимому CAPEX. Здесь появляется новый важный для статьи показатель. Если инвестиционный проект способен ежегодно предотвращать часть ущерба, можно определить ориентировочную границу экономически оправданных инвестиций. Например, при базовом сценарии предотвращенный годовой ущерб составляет: $E_{prevent} = 223,02$ млн тг. Если предприятие устанавливает простой целевой срок окупаемости не более трех лет, предельный недисконтированный инвестиционный бюджет

может быть ориентировочно определен: $CAPEX_{max} = E_{prevent} \times PP_{target}$. где: $CAPEX_{max}$ — предельная ориентировочная величина инвестиций; PP_{target} — целевой простой срок окупаемости, лет. При трехлетнем горизонте: $CAPEX_{max} = 223,02 \times 3 = 669,06$ млн тг. Для сценария 75 %: $CAPEX_{max} = 334,53 \times 3 = 1\,003,59$ млн тг.

Таблица 5 — Ориентировочная инвестиционная граница при трехлетнем простом сроке окупаемости

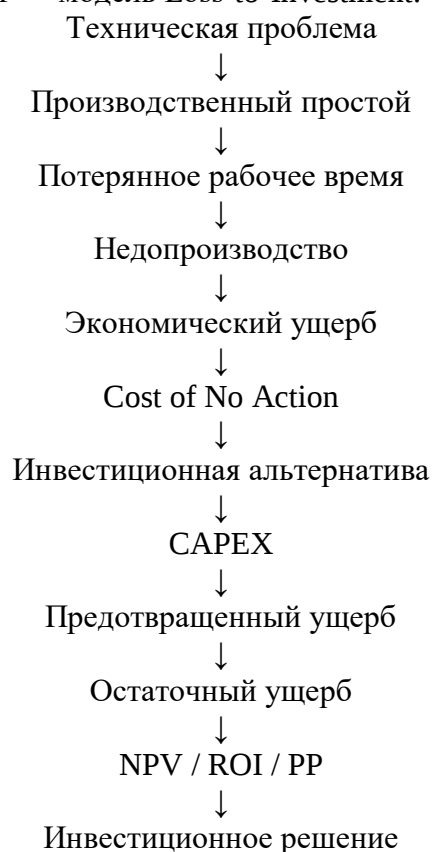
Сценарий	Годовой предотвращенный ущерб, млн тг	Ориентировочный $CAPEX_{max}$, млн тг
25 %	111,51	334,53
50 %	223,02	669,06
75 %	334,53	1 003,59

Этот результат уже позволяет сформулировать управленческую логику:

если проект стоимостью 600 млн тг действительно способен устойчиво предотвращать 223 млн тг потерь ежегодно, его простой срок окупаемости составит: $PP = CAPEX / E_{prevent}$. $PP = 600 / 223,02 = 2,69$ года. Однако 600 млн тг здесь является исключительно расчетным примером, а не стоимостью конкретного проекта ЛПЦ-1.

Переход к инвестиционной оценке проектов ЛПЦ-1. Полученные результаты позволяют сформировать принципиально иной алгоритм инвестиционного анализа. Обычный подход: проект → $CAPEX$ → ожидаемый доход → срок окупаемости. Предлагаемый подход: производственная проблема → фактические потери → стоимость бездействия → вариант инвестиционного воздействия → доля предотвращаемого ущерба → остаточный риск → $CAPEX$ → денежный поток → $NPV / PP / ROI$ → инвестиционный приоритет [5]. Таким образом, исходной точкой инвестиционного анализа становится не заявка на приобретение оборудования, а доказанная производственно-экономическая проблема.

Первый авторский результат — модель Loss-to-Investment. Ее структура:



Ключевая идея модели состоит в том, что производственная потеря становится исходной экономической переменной инвестиционного проекта. В математически понятной форме: $E_{prevent} = E_{loss} \times R_{prevent}$. затем: $CF_{project} = E_{prevent} - OPEX_{add}$. и далее уже: $NPV =$ дисконтированная сумма $CF_{project} - CAPEX$.

Промежуточный результат исследования. На этом этапе уже сформирована важная доказательная цепочка: 446,04 млн тг существующих потерь $\rightarrow$ 68,74 % приходится на недопроизводство $\rightarrow$ при устранении 50 % проблемы предотвращенный ущерб $\approx$ 223,02 млн тг $\rightarrow$ при устранении 75 % $\approx$ 334,53 млн тг $\rightarrow$ при сохранении проблемы три года сценарная стоимость бездействия достигает 1,338 млрд тг $\rightarrow$ следовательно, инвестиционный проект необходимо оценивать не только по стоимости реализации, но и по стоимости сохранения существующей проблемы.

Ранжирование инвестиционных проектов ЛПЦ-1. Методика предварительного ранжирования. Используем четыре критерия: $IP_{pre} = 0,30C + 0,30D + 0,25E + 0,15S$ где: C — техническая критичность объекта; D — потенциальное влияние проекта на сокращение простоев;

E — экономическая значимость предотвращаемых потерь;

S — стратегическая значимость для устойчивости производства. Каждый показатель оценивается от 1 до 5 баллов. Затем: IP_{pre} = взвешенная сумма баллов/5. В результате индекс находится в диапазоне от 0,20 до 1,00. После получения фактических CAPEX добавим пятый показатель — финансовую эффективность: $IP = 0,25C + 0,25E + 0,20D + 0,15S + 0,15F$. Именно эта формула станет окончательной [13].

Таблица 6 — Предварительное ранжирование проектов ЛПЦ-1

Место	Инвестиционный проект	C	D	E	S	IP_{pre}	Приоритет
1	Восстановление парка прокатных валков ЛПЦ-1	5	5	5	5	1,00	Критический
2	Капитальный ремонт стана 1700	5	5	5	5	1,00	Критический
3	Капитальный ремонт стана 1700, 2-й этап	5	5	5	5	1,00	Критический
4	Капитальный ремонт электродвигателя вертикальной клетки	5	4	4	5	0,88	Очень высокий
5	Капитальный ремонт якоря электродвигателя главного привода клетки №10	5	4	4	5	0,88	Очень высокий
6	Методическая печь №3	5	4	4	5	0,88	Очень высокий
7	Реконструкция ячейки №8 подстанции	5	4	4	5	0,88	Очень высокий
8	Изготовление и замена подкрановых балок главного здания	4	3	3	4	0,69	Высокий
9	«ЛПЦ-1 Стан 1700 г.п.»	—	—	—	—	—	Требуется уточнения содержания
10	S/25-I-018, S/25-042	—	—	—	—	—	Требуется расшифровки
11	Капитальный ремонт столовой №10	1	1	1	1	0,20	Непроизводительный

Почему первое место занимает валковое хозяйство? Здесь у нас есть то, чего пока нет по большинству остальных проектов, — прямая количественная доказательная база экономического ущерба. Потери вследствие недопоставки валков составляют: $E_{loss} = 446,04$ млн тг. В том числе потери от недопроизводства — 306,61 млн тг, или 68,74 %. Поэтому для данного проекта выполняется вся доказательная цепочка: производственная проблема → простой → недопроизводство → 446,04 млн тг ущерба → инвестиционный проект → предотвращенный ущерб. Именно поэтому проект «Восстановление парка прокатных валков ЛПЦ-1» предлагаем использовать как эталонный кейс апробации модели IPI-LPC.

Почему капитальный ремонт стана 1700 также относится к критическому приоритету. Стан 1700 является центральным производственным объектом рассматриваемой системы. В 2025 г. его производство составило 3 033 331 т, а фактическая производительность рабочего часа — около 490,37 т/ч. Следовательно, один дополнительный час простоя технологического комплекса имеет значительный производственный эквивалент: $Q_{loss} = 1 \times 490,4 = 490,4$ т. Для 10 часов: $Q_{loss} = 10 \times 490,4 = 4\,904$ т. Для 100 часов: $Q_{loss} = 100 \times 490,4 = 49\,040$ т. Поэтому капитальный ремонт стана 1700 нельзя оценивать только по стоимости самого ремонта. Его инвестиционно-экономическая значимость определяется также величиной потенциально предотвращаемого простоя.

Особенно важно, что анализируемые затраты на капитальные ремонты увеличились с 1,781 млрд тг в 2024 г. до 7,775 млрд тг в 2025 г. Это дополнительно подтверждает необходимость перехода от простой регистрации CAPEX к оценке результативности капитальных вложений.

Вертикальная клеть и клеть №10. Эти проекты получают высокий приоритет не только потому, что относятся к основному технологическому оборудованию. В массиве аварийных простоев вертикальная клеть формирует около 15,17 ч, а клеть №10 — около 13,0 ч зарегистрированного аварийного времени. Производственный эквивалент простоя вертикальной клетки: $Q_{loss} = 15,17 \times 490,4 \approx 7\,439$ т. Для клетки №10: $Q_{loss} = 13,0 \times 490,4 \approx 6\,375$ т.

Эти значения нельзя автоматически трактовать как фактическое недопроизводство — это потенциальный производственный эквивалент зарегистрированного времени простоя. Но они позволяют сравнивать значимость объектов в единой системе координат. Отсюда следует важный вывод: проекты ремонта электродвигателя вертикальной клетки и главного привода клетки №10 имеют не только техническую, но и измеримую производственно-экономическую мотивацию.

Формирование инвестиционных групп. На основании проведенного ранжирования предлагаем разделить портфель проектов ЛПЦ-1 на четыре группы.

Группа I — критические производственные инвестиции. Сюда относятся: восстановление парка прокатных валков; капитальный ремонт стана 1700; второй этап капитального ремонта стана 1700. Их особенность — непосредственное влияние на способность ЛПЦ-1 обеспечивать основной производственный процесс. Для таких проектов решение должно приниматься по принципу: «не реализовать?» → сначала рассчитать стоимость бездействия.

Группа II — инвестиции в надежность критических узлов. Сюда относятся: электродвигатель вертикальной клетки; главный привод клетки №10; методическая печь №3; реконструкция ячейки подстанции. Основной экономический эффект этих проектов формируется через: снижение риска отказа → сокращение аварийных часов → повышение доступности → предотвращенный ущерб. Группа III — инфраструктурно-производственные инвестиции. Замена подкрановых балок главного здания. Данный проект может не давать прямого прироста выпуска, однако обеспечивает надежность производственной инфраструктуры, безопасность ремонтных операций и устойчивость технологического процесса. Поэтому оценивать его только по классическому ROI некорректно. Группа IV — непроизводственные проекты. Капитальный ремонт столовой №10. Проект может иметь

социальную, санитарную и инфраструктурную значимость, но в рамках данной статьи, посвященной повышению производственно-экономической эффективности ЛПЦ-1, его нельзя ставить в один инвестиционный рейтинг с модернизацией стана. Это важное методологическое положение: социальные и производственные CAPEX должны оцениваться разными системами критериев.

Авторская матрица инвестиционного приоритета IPI-LPC. Предлагается матрица с двумя основными осями: вертикальная ось — производственная критичность; горизонтальная ось — предотвращаемый экономический ущерб. Получаем четыре инвестиционные зоны:

	Низкий предотвращаемый ущерб	Высокий предотвращаемый ущерб
Высокая производственная критичность	Зона II — обязательная надежность	Зона I — инвестиционный приоритет
Низкая производственная критичность	Зона IV — отложенный/социальный CAPEX	Зона III — экономически привлекательный проект

Зона I — инвестиционный приоритет. Сюда прежде всего относится восстановление парка прокатных валков, поскольку для проблемы уже доказана высокая стоимость потерь. Также сюда потенциально относятся комплексные проекты капитального ремонта стана 1700. Зона II — обязательная надежность.

Сюда могут относиться критические электрические, энергетические и механические элементы, отказ которых способен остановить процесс, даже если фактическая история ущерба пока относительно невелика. Зона III — экономическая возможность. Проекты меньшей технологической критичности, но с высоким доказанным экономическим эффектом. Зона IV — отложенный или отдельный CAPEX. Проекты, не имеющие прямого влияния на основной производственный поток, либо требующие оценки по другой системе критериев.

Очень важное уточнение модели IPI-LPC. После анализа исходного перечня нами предложено усовершенствовать первоначальную формулу.

Ранее мы записали: $IPI = 0,25C + 0,25E + 0,20D + 0,15S + 0,15F$. Но для реального инвестиционного портфеля этого недостаточно. Необходимо учитывать еще стоимость бездействия. Поэтому окончательная формула: $IPI = 0,20C + 0,20E + 0,15D + 0,15S + 0,15F + 0,15N$ где: C — техническая/производственная критичность; E — предотвращаемый экономический ущерб; D — влияние на сокращение простоев; S — стратегическая значимость; F — финансовая эффективность; N — Cost of No Action, то есть стоимость бездействия. Проверяем сумму весов: $0,20 + 0,20 + 0,15 + 0,15 + 0,15 + 0,15 = 1,00$.

Шкала окончательного инвестиционного приоритета. Предлагаем закрепить следующую интерпретацию:

IPI	Инвестиционный приоритет	Решение
0,80–1,00	Критический	Первоочередное ТЭО и реализация
0,65–0,79	Высокий	Включение в ближайший инвестиционный цикл
0,50–0,64	Средний	Дополнительное ТЭО / сценарный анализ
0,35–0,49	Низкий	Возможна отсрочка
<0,35	Отдельная оценка	Не конкурирует напрямую с производственными CAPEX

Основной авторский вывод по ранжированию. Полученный рейтинг показывает важную закономерность: инвестиционный приоритет ЛПЦ-1 не должен определяться исключительно стоимостью проекта. На первом этапе приоритет следует устанавливать по доказанному влиянию проекта на устойчивость производственного процесса и предотвращение потерь. На

втором — после получения стоимости каждого проекта — в модель добавляются F, NPV, IRR и дисконтированный срок окупаемости.

Особенно сильный результат мы получили по проекту восстановления парка валков: здесь уже существует доказанная экономическая база — 446,043 млн тг совокупных потерь, причем почти 69 % связано с недопроизводством. Поэтому именно этот проект предлагаем использовать для полного числового примера IPI-LPC.

Авторская матрица «Ремонтировать — модернизировать — заменять». Одной из ключевых задач инвестиционного планирования действующего металлургического производства является выбор характера технического воздействия на оборудование. Высокая аварийность сама по себе еще не означает необходимость полной замены агрегата. В отдельных случаях экономически оправдан капитальный ремонт, в других — модернизация наиболее проблемного узла, а при систематическом воспроизводстве потерь рациональным решением становится полная замена оборудования. В связи с этим предлагается авторская модель RMZ-LPC (Repair–Modernize–Replace for LPC) — «ремонтировать — модернизировать — заменять». Основной принцип модели: техническое состояние + повторяемость отказов + экономические потери + стоимость восстановления + остаточный ресурс → тип инвестиционного решения. Модель предназначена для использования после проведения Pareto-анализа и расчета инвестиционного индекса IPI-LPC.

Система критериев RMZ-LPC. Для каждого критического объекта предлагается оценивать шесть показателей: K1 — частота отказов; K2 — продолжительность аварийных простоев; K3 — стоимость экономических потерь; K4 — стоимость ремонта относительно стоимости нового оборудования; K5 — остаточный технический ресурс; K6 — повторяемость отказов после капитального ремонта [3-5]. Таким образом, решение не основывается только на возрасте оборудования.

Это особенно важно для металлургического производства: физически старое оборудование может оставаться экономически эффективным после качественного капитального ремонта, тогда как относительно новый агрегат с конструктивными или системными проблемами может требовать модернизации.

Коэффициент ремонтной целесообразности. Первым расчетным показателем предлагается использовать отношение стоимости предполагаемого ремонта к стоимости полной замены оборудования: $K_{\text{repair}} = C_{\text{repair}} / C_{\text{replace}}$ где: K_{repair} — коэффициент ремонтной нагрузки; C_{repair} — стоимость предполагаемого ремонта, тг; C_{replace} — стоимость приобретения, монтажа и ввода в эксплуатацию нового оборудования, тг. Интерпретация предлагается следующая: $K_{\text{repair}} < 0,30$ — ремонт обычно экономически предпочтителен; $K_{\text{repair}} = 0,30–0,60$ — необходимо сравнивать ремонт и модернизацию; $K_{\text{repair}} > 0,60$ — целесообразно рассматривать полную замену. Например, если капитальный ремонт требует 180 млн тг, а замена оборудования — 600 млн тг: $K_{\text{repair}} = 180 / 600 = 0,30$. В данном случае ремонт находится на границе зоны, после которой необходимо рассматривать вариант модернизации. Следует отметить, что предложенные значения являются авторскими ориентировочными порогами, а не нормативными требованиями.

Коэффициент остаточного ресурса. Второй показатель характеризует техническую жизнеспособность оборудования: $K_{\text{life}} = R_{\text{remain}} / R_{\text{norm}}$ где: K_{life} — коэффициент остаточного ресурса; R_{remain} — расчетный остаточный ресурс; R_{norm} — нормативный ресурс оборудования.

Интерпретация: $K_{\text{life}} > 0,50$ — значительный остаточный ресурс; $K_{\text{life}} = 0,25–0,50$ — ограниченный остаточный ресурс; $K_{\text{life}} < 0,25$ — оборудование приближается к пределу экономически эффективной эксплуатации. При высоком остаточном ресурсе предпочтение при прочих равных условиях отдается ремонту. При низком остаточном ресурсе возрастают основания для замены.

Коэффициент повторяемости отказов. Особое значение имеет результат предыдущих ремонтов. Предлагается рассчитывать: $K_{\text{repeat}} = N_{\text{repeat}} / N_{\text{total}} \times 100 \%$ где: K_{repeat} — доля

повторных отказов, %; N_{repeat} — число повторных отказов по одинаковой или связанной причине; N_{total} — общее число зарегистрированных отказов объекта. Например: если из 10 отказов 6 возникли повторно вследствие одной и той же технической причины: $K_{repeat} = 6 / 10 \times 100 \% = 60 \%$. Высокая повторяемость отказов свидетельствует о том, что традиционный ремонт устраняет последствия, но не ликвидирует корневую причину. В такой ситуации целесообразно переходить от ремонта к модернизации.

Экономическая интенсивность потерь. Для сопоставления различных объектов вводится показатель: $K_{loss} = E_{loss} / C_{replace}$ где: K_{loss} — отношение ежегодных экономических потерь к стоимости замены оборудования; E_{loss} — экономические потери вследствие отказов оборудования за анализируемый период; $C_{replace}$ — стоимость полной замены оборудования.

Например, если ежегодные потери составляют 250 млн тг, а стоимость замены оборудования — 1 млрд тг: $K_{loss} = 250 / 1\,000 = 0,25$. Следовательно, ежегодно предприятие теряет сумму, эквивалентную 25 % стоимости нового оборудования. Если подобная ситуация сохраняется несколько лет, экономические основания для замены существенно усиливаются.

Стоимость бездействия. В модель RMZ-LPC непосредственно включается уже предложенный показатель CNA: $CNA = E_{loss} \times N$ где: CNA — накопленная стоимость бездействия; E_{loss} — среднегодовые потери; N — количество лет сохранения существующей проблемы. При принятии решения действует следующий принцип: если CNA становится сопоставима или превышает стоимость модернизации/замены, отсрочка проекта теряет экономическую целесообразность. В наиболее простой форме: если $CNA \geq CAPEX$, проект требует приоритетного технико-экономического обоснования.

Матрица принятия решения.

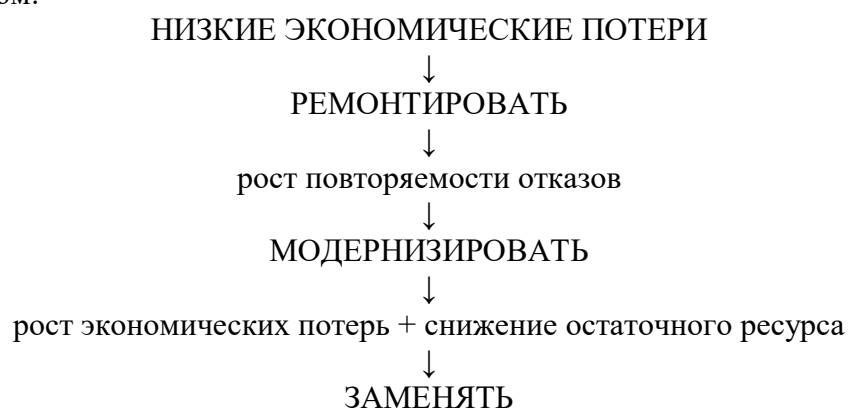
Таблица 7 — Авторская матрица RMZ-LPC «ремонтировать — модернизировать — заменять»

Состояние оборудования	Экономические потери	Повторные отказы	Остаточный ресурс	Основное решение
Удовлетворительное	Низкие	Низкая частота	Высокий	ремонтировать
Удовлетворительное/ограниченное	Средние	Повторяются	Средний	модернизировать
Ограниченное	Высокие	Систематические	Средний/низкий	модернизировать
Неудовлетворительное	Высокие	Систематические	Низкий	заменять
Критическое	Очень высокие	После капитальных ремонтов сохраняются	Очень низкий	заменять приоритетно

Три зоны инвестиционного решения. Зона R — «Ремонтировать». Ремонт является приоритетным решением, если: $K_{repair} < 0,30$; остаточный ресурс оборудования остается высоким; повторные отказы отсутствуют или имеют единичный характер; экономический ущерб относительно невелик; ремонт восстанавливает требуемые эксплуатационные характеристики. Логика: локальный дефект → ремонт → восстановление ресурса → продолжение эксплуатации. Здесь капитальная замена может приводить к неоправданному отвлечению инвестиционного капитала. Зона M — «Модернизировать». Модернизация становится рациональной, если: $K_{repair} = 0,30–0,60$; наблюдаются повторные отказы; ремонт восстанавливает оборудование только временно; существует технологически более эффективное решение; основная конструкция оборудования сохраняет достаточный

остаточный ресурс. Логика: повторяющаяся проблема → ремонт не устраняет первопричину → модернизация проблемного узла → повышение надежности. Модернизация занимает промежуточное положение между повторяющимися капитальными ремонтами и дорогостоящей полной заменой оборудования. Зона Z — «Заменять». Полная замена рассматривается в качестве приоритетного варианта, если: $K_{repair} > 0,60$; остаточный ресурс низкий; экономический ущерб высок; повторные отказы возникают после капитальных ремонтов; оборудование формирует значительные простои; стоимость бездействия приближается к стоимости нового оборудования; модернизация не устраняет основное технологическое ограничение. Логика: высокая аварийность + высокая стоимость ремонта + низкий ресурс + крупный ущерб → замена оборудования.

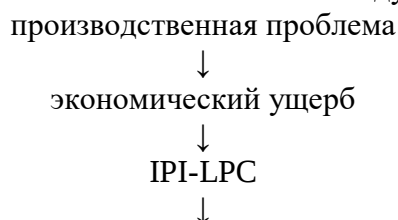
Графическая логика матрицы RMZ-LPC. Авторскую матрицу предлагается представить следующим образом:

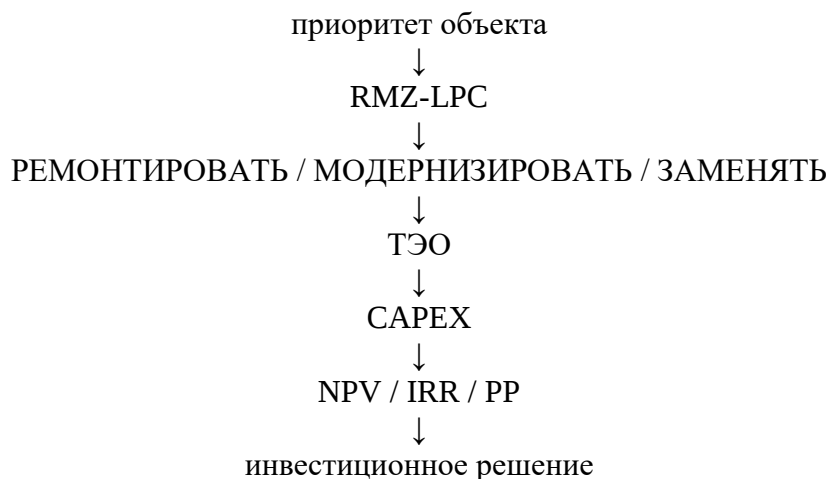


При этом переход из одной зоны в другую происходит не только вследствие физического старения оборудования. Главным триггером является изменение совокупной стоимости владения и потерь.

Дополнительный авторский показатель — коэффициент инвестиционного перехода. Для количественной поддержки решения предлагается интегральный показатель: $KIT = 0,25R + 0,25L + 0,20F + 0,15A + 0,15N$. где: KIT — коэффициент инвестиционного перехода; R — нормированная стоимость ремонта относительно замены; L — нормированная величина экономических потерь; F — частота/повторяемость отказов; A — показатель технического старения или истощения ресурса; N — нормированная стоимость бездействия. Все значения приводятся к диапазону 0–1. Предлагаемая интерпретация: $KIT < 0,40$ — ремонтировать; $KIT = 0,40–0,70$ — модернизировать; $KIT > 0,70$ — рассматривать замену. Пример. Предположим: $R = 0,80$; $L = 0,90$; $F = 0,80$; $A = 0,70$; $N = 0,90$. Тогда: $KIT = 0,25 \times 0,80 + 0,25 \times 0,90 + 0,20 \times 0,80 + 0,15 \times 0,70 + 0,15 \times 0,90$. $KIT = 0,20 + 0,225 + 0,16 + 0,105 + 0,135$. $KIT = 0,825$. Поскольку: $KIT = 0,825 > 0,70$, оборудование попадает в зону «рассматривать замену». Следует подчеркнуть, что данный индекс предназначен для предварительного инвестиционного скрининга. Окончательное решение должно приниматься после технического обследования и полноценного ТЭО.

Связь RMZ-LPC с индексом IPI-LPC. Две авторские модели выполняют разные функции. IPI-LPC отвечает на вопрос: Какой инвестиционный проект является более приоритетным? RMZ-LPC отвечает на вопрос: Какой тип технического воздействия наиболее рационален для выбранного объекта? Их совместное использование имеет следующую логику:





Таким образом, IPI-LPC формирует очередность проектов, а RMZ-LPC — характер инвестиционного воздействия.

Применение к валковому хозяйству ЛПЦ-1. Кейс валкового хозяйства особенно показателен для практической апробации предложенной методологии.

Совокупные выявленные потери составляют: $E_{loss} = 446,04$ млн тг. При этом основная часть — 306,61 млн тг, или 68,74 %, — связана с недопроизводством продукции. Следовательно, проблема обладает высокой экономической значимостью. Однако только на основании величины 446,04 млн тг нельзя автоматически сделать вывод о необходимости полной замены или масштабной реконструкции валкового хозяйства. Сначала необходимо определить: C_{repair} — стоимость восстановления существующей системы; C_{modern} — стоимость модернизации; $C_{replace}$ — стоимость создания/замены соответствующей инфраструктуры; R_{remain} — остаточный ресурс; $E_{prevent}$ — ожидаемую долю предотвращаемого ущерба для каждого варианта. После этого сравниваются три сценария: Вариант R — ремонт/восстановление. $ER = E_{preventR} - C_{repair}$. Вариант M — модернизация. $EM = E_{preventM} - C_{modern}$. Вариант Z — замена. $EZ = E_{preventZ} - C_{replace}$. В многолетнем горизонте вместо простой разницы необходимо использовать NPV. Тем самым решение принимается не по принципу «самый дешевый вариант», а по принципу «наибольший предотвращаемый ущерб при экономически оправданном жизненном цикле».

Авторский вывод по модели RMZ-LPC. Разработанная матрица позволяет устранить распространенное методологическое противоречие, при котором капитальный ремонт автоматически рассматривается как основной способ продления эксплуатации оборудования, а полная замена — как крайняя техническая мера. В предлагаемой системе характер воздействия определяется через совокупную производственно-экономическую оценку. Если ремонт является относительно дешевым, восстанавливает достаточный ресурс и прекращает повторные отказы, оптимальным решением остается ремонт. Если оборудование сохраняет базовую работоспособность, но отдельные узлы становятся системными источниками потерь, рациональным решением становится модернизация. Если же затраты на повторяющиеся ремонты, аварийные простои и стоимость бездействия становятся сопоставимыми со стоимостью нового оборудования, а остаточный ресурс сокращается, формируется экономическое основание для замены. Таким образом, предложенная модель RMZ-LPC обеспечивает переход: от технического вопроса «можно ли еще отремонтировать?» к экономико-управленческому вопросу: «какой вариант обеспечивает минимальную совокупную стоимость потерь и владения оборудованием в течение жизненного цикла?» Именно это положение рассматривается как третий авторский результат исследования.

Обсуждение результатов. Полученные результаты позволяют рассматривать инвестиционную деятельность ЛПЦ-1 АО «Qarmet» не только как процесс обновления основных производственных фондов, но и как инструмент управления производственно-

экономическими потерями. Такой подход принципиально важен для действующего металлургического производства, где значительная часть инвестиционного эффекта может формироваться не посредством создания новой мощности, а за счет повышения надежности существующей технологической системы, сокращения простоев и предотвращения недопроизводства [1-3].

Проведенный анализ показал, что традиционная логика оценки капитальных вложений, основанная преимущественно на сопоставлении CAPEX и дополнительного денежного потока, не в полной мере отражает экономическую природу проектов технического перевооружения и модернизации действующего производства. Для части проектов основным результатом является не прямое увеличение выпуска, а сохранение уже существующего производственного потенциала. В этой связи предлагаемый подход расширяет объект инвестиционной оценки: традиционный подход:

CAPEX → дополнительный результат → денежный поток → окупаемость; предлагаемый подход: производственная проблема → потери → стоимость бездействия → инвестиционное воздействие → предотвращенный ущерб → остаточный риск → экономическая эффективность. Таким образом, экономическая ценность проекта определяется не только тем, сколько дополнительной продукции он способен обеспечить, но и тем, какие существующие или ожидаемые потери он позволяет предотвратить.

Производственные потери как инвестиционный сигнал. Одним из ключевых результатов исследования является подтверждение возможности использования фактических производственных потерь в качестве исходного сигнала для формирования инвестиционного решения. Проведенный анализ проблемы валкового хозяйства показал, что совокупная величина выявленных потерь составляет 446,04 млн тг, из которых 306,61 млн тг, или 68,74 %, связано с недопроизводством продукции.

Полученная структура имеет важное экономическое значение. Основная часть ущерба возникает не непосредственно вследствие затрат на устранение технической проблемы, а вследствие потери возможности использовать производственную систему по назначению. Именно поэтому при инвестиционном анализе целесообразно разделять как минимум три категории последствий: прямые потери → потери от недопроизводства → связанные экономические потери. Если учитывать только первую составляющую, экономическая значимость проекта может быть существенно недооценена.

Вместе с тем величина 446,04 млн тг сама по себе еще не доказывает необходимость конкретного технического решения. Она доказывает другое: проблема обладает достаточной экономической значимостью для проведения инвестиционного анализа. Это разграничение представляется принципиальным. Сначала должна быть доказана стоимость проблемы, затем рассмотрены технические альтернативы ее устранения и только после этого принято инвестиционное решение.

Предотвращенный ущерб как результат инвестиционного проекта. Второй значимый результат связан с введением в инвестиционный анализ показателя предотвращенного экономического ущерба. Сценарные расчеты показали, что при предотвращении 25 % выявленных потерь потенциальный экономический эффект составляет: $E_{prevent25} = 111,51$ млн тг. При предотвращении 50 %: $E_{prevent50} = 223,02$ млн тг. При предотвращении 75 %: $E_{prevent75} = 334,53$ млн тг. Эти результаты показывают, что инвестиционный проект не обязательно должен полностью ликвидировать производственную проблему, чтобы быть экономически значимым. Даже частичное снижение систематических потерь способно создавать существенный эффект.

Отсюда возникает важное положение для инвестиционного планирования: результативность проекта следует оценивать относительно базового сценария «без проекта». То есть: $E_{prevent} = Loss_{before} - Loss_{after}$. Такой подход позволяет избежать методологической ошибки, когда проект модернизации признается недостаточно привлекательным только потому, что он не создает очевидного дополнительного объема производства. Если проект

сохраняет существующий производственный потенциал, предотвращенный ущерб представляет собой экономический результат, который необходимо учитывать в инвестиционной модели.

Стоимость бездействия и проблема отсрочки CAPEX. Особое значение имеет предложенный показатель Co of No o (CNA) — стоимость бездействия. При условном ежегодном повторении выявленной величины потерь их недисконтированная сумма за три года может составить: $CNA_3 = 446,04 \times 3 = 1\,338,12$ млн тг. За пять лет: $CNA_5 = 446,04 \times 5 = 2\,230,20$ млн тг. Эти величины не следует интерпретировать как прогноз фактического будущего ущерба предприятия. Они характеризуют сценарную цену сохранения проблемы при условии повторяемости потерь. Тем не менее такой расчет меняет саму постановку инвестиционного вопроса. При классическом подходе инвестиционный комитет спрашивает: «Можем ли мы позволить себе реализовать данный проект?» Предлагаемый подход добавляет второй вопрос:

«Можем ли мы позволить себе не реализовывать проект?» Именно это становится особенно значимым для критического оборудования, когда отсрочка CAPEX способна сопровождаться продолжением аварийных простоев и недопроизводства. Следовательно, отказ от инвестиционного решения также имеет экономическую стоимость и должен рассматриваться как одна из альтернатив инвестиционного анализа.

Результаты ранжирования инвестиционных проектов. Анализ инвестиционного перечня ЛПЦ-1 показал необходимость дифференциации проектов по характеру их влияния на производственный результат. В исходной базе представлены проекты, связанные с капитальным ремонтом стана 1700, восстановлением парка прокатных валков, ремонтом электродвигателя вертикальной клетки, главным приводом клетки №10, методической печью №3, энергетической инфраструктурой и другими объектами. Предложенное предварительное ранжирование основано прежде всего на производственной критичности, влиянии на простои, экономической значимости и стратегической роли проекта. Такое двухэтапное ранжирование представляется более обоснованным: Этап 1 — производственно-экономический скрининг; Этап 2 — полноценное финансовое ТЭО. Это позволяет не исключить на ранней стадии критически важный проект только потому, что по нему еще не сформирован полный набор финансовых показателей.

Обсуждение авторского индекса IPI-LPC. Предложенный индекс IPI-LPC предназначен для устранения однокритериального подхода к распределению инвестиционных ресурсов. В окончательном варианте:

$IPI = 0,20C + 0,20E + 0,15D + 0,15S + 0,15F + 0,15N$ где: C — производственная критичность; E — предотвращаемый экономический ущерб; D — влияние на сокращение простоев; S — стратегическая значимость; F — финансовая эффективность; N — стоимость бездействия. Преимущество данного индекса состоит в том, что он не противопоставляет техническую и финансовую эффективность. Напротив, обе группы показателей интегрируются в единую систему принятия решений.

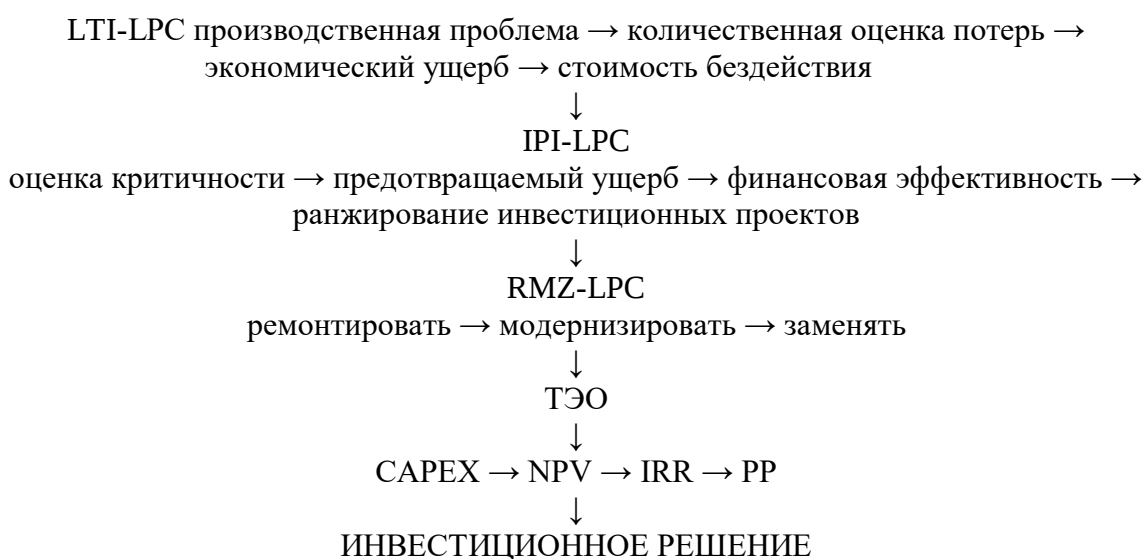
Однако веса 0,20; 0,20; 0,15... следует рассматривать как авторскую исходную конфигурацию, а не универсальные нормативные значения. При практическом внедрении они должны быть верифицированы экспертами предприятия и при необходимости скорректированы. Это методологически важное ограничение повышает, а не снижает достоверность предлагаемого подхода: модель не претендует на универсальность весовых коэффициентов, а предлагает структуру принятия решения, которую можно адаптировать к инвестиционной политике конкретного предприятия. Обсуждение модели RMZ-LPC. Третий авторский элемент — модель RMZ-LPC «ремонтировать — модернизировать — заменять» — решает иную задачу.

Если IPI-LPC отвечает на вопрос: «Какой проект является более приоритетным?» то RMZ-LPC отвечает: «Какой характер технического воздействия является наиболее рациональным?» Это различие имеет принципиальное значение.

Высокая критичность оборудования еще не означает необходимости его замены. Например, при наличии значительного остаточного ресурса и локализованного характера дефекта капитальный ремонт может иметь значительно более высокую экономическую эффективность.

В то же время систематическое повторение одних и тех же отказов после ремонта может свидетельствовать о том, что традиционное ремонтное воздействие перестает устранять первопричину проблемы. Тогда рациональным становится переход к модернизации. Наконец, сочетание низкого остаточного ресурса, высокой стоимости ремонта, повторных отказов и значительного экономического ущерба формирует основания для рассмотрения полной замены.

Таким образом, модель обеспечивает переход от логики: «оборудование отказало → оборудование ремонтируется» к логике: «оборудование создает потери → сравниваются альтернативы → выбирается экономически рациональный способ устранения потерь». Взаимосвязь трех авторских элементов. Наиболее существенный результат исследования состоит не в каждой модели отдельно, а в возможности их последовательного применения. Предлагаемая система выглядит следующим образом:

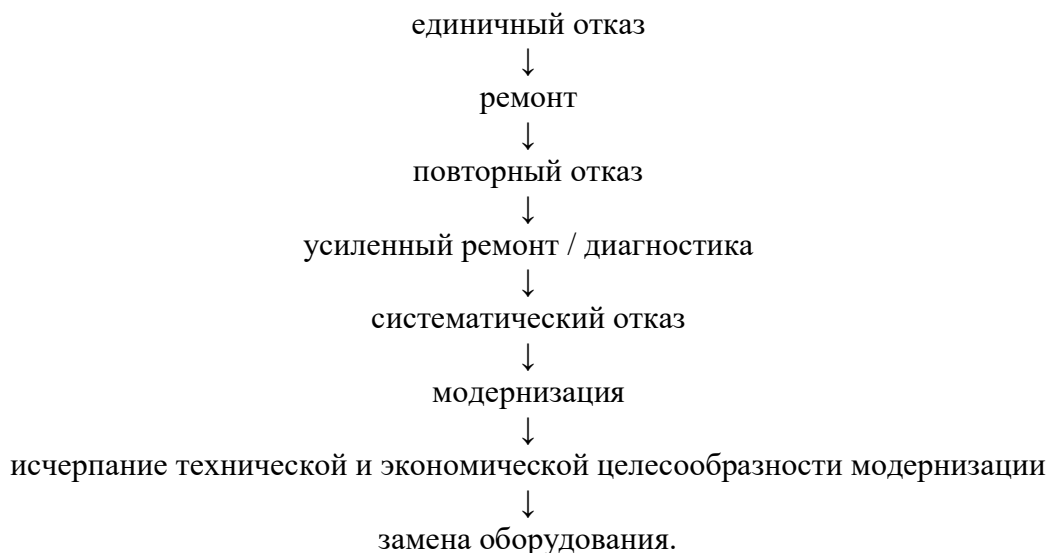


Иными словами, три авторских инструмента отвечают на три последовательных управленческих вопроса:

Авторский инструмент	Основной вопрос	Результат
LTI-LPC	Почему вообще необходимо инвестиционное вмешательство?	Стоимость проблемы и бездействия
IPI-LPC	Какой проект реализовывать раньше?	Инвестиционный рейтинг
RMZ-LPC	Что именно делать с объектом?	Ремонт / модернизация / замена

Авторский вывод. Совместное применение трех инструментов формирует целостную систему перехода от производственной проблемы к инвестиционному решению, что можно рассматривать как основной методический результат исследования. Связь производственного и инвестиционного контуров управления. Результаты исследования также показывают, что ремонтная и инвестиционная деятельность не должны рассматриваться как независимые управленческие процессы.

При систематическом возникновении отказов ремонтный процесс постепенно приобретает инвестиционный характер. Можно выделить следующую эволюцию:



Следовательно, данные ремонтной службы должны становиться одним из информационных источников инвестиционной программы. Особенно значимыми являются показатели: $T_{down} \rightarrow MTBF \rightarrow MTTR \rightarrow K_{repeat} \rightarrow E_{loss} \rightarrow CNA$. Если они демонстрируют устойчивое ухудшение, оборудование должно автоматически переходить из ремонтного контура в контур инвестиционного рассмотрения [5,6].

Практическая интерпретация для инвестиционного комитета. Предлагаемый подход позволяет изменить содержание инвестиционной заявки. Вместо традиционного обоснования: «оборудование физически изношено, требуется выделить средства на замену» предлагается следующая доказательная структура: Какая производственная проблема существует? Сколько часов простоя она сформировала? Какому производственному потенциалу соответствуют эти часы? 4. Каков экономический ущерб? Какова стоимость бездействия? Какие существуют альтернативы: ремонт, модернизация или замена? Сколько стоит каждая альтернатива? Какую долю ущерба она предотвращает? Каков остаточный риск? Каковы NPV, IRR и срок окупаемости?

Каково значение IPI-LPC? Такой формат превращает инвестиционную заявку из технического запроса на финансирование в экономически доказанное управленческое решение.

Границы интерпретации полученных результатов. Для научной корректности необходимо разграничивать фактические и сценарные результаты.

Фактической основой исследования являются производственные данные ЛПЦ-1 и рассчитанная по исходной базе величина экономических потерь. В то же время показатели предотвращения 25 %, 50 % и 75 %, трех- и пятилетняя стоимость бездействия, а также пороговые значения моделей IPI-LPC и RMZ-LPC являются авторскими сценариями. Они предназначены для проверки модели и демонстрации механизма принятия решений, но не должны интерпретироваться как утвержденные показатели инвестиционной программы АО «Qarmet».

Окончательная инвестиционная оценка конкретных проектов требует включения: фактического CAPEX; дополнительного OPEX; срока реализации; остаточного срока эксплуатации; реальной вероятности повторения потерь; ставки дисконтирования; налоговых эффектов; остаточной стоимости оборудования; прогноза производственной загрузки. После получения этих данных модель может быть дополнена расчетами NPV, IRR и дисконтированного срока окупаемости.

Результаты проведенного исследования подтверждают исходную гипотезу о том, что эффективность инвестиционных проектов действующего прокатного производства

целесообразно оценивать не только через создаваемый дополнительный выпуск, но и через предотвращаемый экономический ущерб.

Ключевой методологический переход заключается в следующем: не «сколько стоит новое оборудование?» а «сколько предприятию стоит существующая проблема и какой вариант ее устранения создает наибольшую экономическую ценность?» Предлагаемый подход объединяет технические, производственные и финансовые параметры инвестиционного решения и позволяет сформировать последовательную систему:

ПОТЕРЯ → СТОИМОСТЬ БЕЗДЕЙСТВИЯ → ИНВЕСТИЦИОННЫЙ ПРИОРИТЕТ → ВЫБОР ТЕХНИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ → CAPEX → ПРЕДОТВРАЩЕННЫЙ УЩЕРБ → ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РЕЗУЛЬТАТ.

Практические рекомендации. Проведенное исследование показывает, что повышение производственно-экономической эффективности ЛПЦ-1 требует интеграции производственных, ремонтных и инвестиционных решений в единую систему управления. Инвестиционная программа должна формироваться не только исходя из технической потребности в ремонте или замене оборудования, но и с учетом фактических производственных потерь, стоимости бездействия и величины предотвращаемого экономического ущерба. На основании полученных результатов предлагаются следующие практические рекомендации [1,2,14].

Внедрение двухэтапной системы отбора инвестиционных проектов. Первый этап предлагается проводить в форме производственно-экономического скрининга. Его задача — определить, какие производственные проблемы действительно требуют инвестиционного вмешательства. Для каждого объекта анализируются: аварийные простои → частота отказов → повторяемость отказов → недопроизводство → экономический ущерб → стоимость бездействия.

На втором этапе проекты, прошедшие первичный отбор, направляются на полноценное технико-экономическое обоснование с расчетом CAPEX, OPEX, NPV, IRR и срока окупаемости. Таким образом: производственная проблема → скрининг → инвестиционный приоритет → ТЭО → инвестиционное решение. Такой подход позволяет сократить риск включения в инвестиционный портфель проектов, имеющих техническое обоснование, но недостаточно доказанный производственно-экономический эффект.

Ввести инвестиционный паспорт проекта ЛПЦ-1. Для унификации процедуры предлагается разработать «Инвестиционный паспорт производственного проекта ЛПЦ-1».

Таблица 8 — Предлагаемая структура инвестиционного паспорта

Блок	Показатели
1. Производственная проблема	Наименование оборудования, описание ограничения
2. Техническое состояние	Износ, остаточный ресурс, критические узлы
3. Надежность	Число отказов, MTBF, MTTR, повторные отказы
4. Простои	Количество часов за период
5. Производственные последствия	Потенциально потерянный выпуск, т
6. Экономические последствия	Прямые и связанные потери, недопроизводство
7. Стоимость бездействия	CNA за 1, 3 и 5 лет
8. Альтернативы	Ремонт / модернизация / замена
9. Инвестиции	CAPEX
10. Эксплуатационные затраты	OPEX до и после проекта
11. Предотвращаемый ущерб	млн тг/год
12. Финансовая эффективность	NPV, IRR, PP
13. Приоритет	IPI-LPC
14. Решение RMZ-LPC	Ремонтировать / модернизировать / заменять
15. Итог	Реализовать / доработать / отложить

Главное преимущество такого паспорта — возможность представить техническую и экономическую аргументацию в одном документе.

Включить показатель Cost of No Action в инвестиционные заявки. Для критических производственных проектов рекомендуется рассчитывать стоимость бездействия: $CNA = E_{loss} \times N$. Однако для реальных инвестиционных решений расчет следует проводить с учетом вероятности повторения потерь и дисконтирования. В практическом варианте: $CNA_{adj} = E_{loss} \times P \times N$, где: P — оценочная вероятность повторения события. Например, если выявленные потери составляют 446,04 млн тг, но вероятность их повторения оценивается экспертами и статистикой в 60 %, ожидаемые годовые потери составят: $E_{loss_expected} = 446,04 \times 0,60 = 267,62$ млн тг. Такой подход более консервативен, чем механическое распространение фактических потерь на последующие годы. Для инвестиционного комитета рекомендуется показывать два сценария: CNA_{max} — при полном повторении выявленного ущерба; $CNA_{expected}$ — с учетом вероятности повторения [12].

Использовать предотвращенный ущерб в составе денежного потока проекта. Для проектов модернизации действующего оборудования рекомендуется учитывать не только дополнительный выпуск, но и предотвращаемые потери. Экономический эффект проекта: $E_{project} = E_{prevent} + E_{add} + E_{save} - OPEX_{add}$, где: $E_{prevent}$ — предотвращенный ущерб; E_{add} — эффект дополнительного производства; E_{save} — экономия эксплуатационных расходов; $OPEX_{add}$ — дополнительные эксплуатационные расходы после реализации проекта. Такой подход позволяет избежать двойного счета: если предотвращенный ущерб уже включает определенный эффект недопроизводства, этот же объем нельзя повторно учитывать как дополнительный выпуск. Это положение следует закрепить как одно из правил инвестиционной методики.

Внедрить IPI-LPC для ранжирования инвестиционного портфеля. После подготовки инвестиционных паспортов проекты рекомендуется ранжировать: $IPI = 0,20C + 0,20E + 0,15D + 0,15S + 0,15F + 0,15N$. На первом этапе возможно использование шкалы: $IPI \geq 0,80$ — критический инвестиционный приоритет; $IPI = 0,65-0,79$ — высокий; $IPI = 0,50-0,64$ — средний; $IPI = 0,35-0,49$ — низкий; $IPI < 0,35$ — проект требует отдельного обоснования. При этом предлагаемые веса и границы являются авторскими исходными параметрами. Перед внедрением их рекомендуется проверить на исторических проектах ЛПЦ-1 и откалибровать экспертной группой предприятия.

Разделить производственные и социально-инфраструктурные CAPEX. Проведенное ранжирование показало, что в одном перечне могут находиться проекты принципиально различной природы. Например, капитальный ремонт основного технологического оборудования и ремонт социально-бытового объекта нельзя корректно сравнивать только по одному показателю IPI-LPC. Поэтому рекомендуется сформировать как минимум два инвестиционных портфеля: портфель А — производственно-технологические CAPEX; портфель В — социальные и инфраструктурные CAPEX. Для портфеля А основными критериями являются надежность, простой, выпуск, экономический ущерб, безопасность производственного процесса и финансовый результат. Для портфеля В должны использоваться социальные, санитарные, инфраструктурные и иные соответствующие критерии.

Применять RMZ-LPC перед формированием технического задания проекта. После определения приоритетного объекта рекомендуется не переходить автоматически к его замене. Сначала проводится оценка: $K_{repair} = C_{repair} / C_{replace}$ и анализируются: остаточный ресурс → повторяемость отказов → экономические потери → стоимость бездействия. После этого объект относится к одной из трех зон: R — ремонтировать; M — модернизировать; Z — заменять. Таким образом, техническое задание на инвестиционный проект формируется после выбора экономически рационального характера воздействия, а не наоборот.

Связать ремонтную статистику с инвестиционной программой. Рекомендуется сформировать цифровой информационный контур: отказ → простой → ремонт → затраты →

повторный отказ → экономические потери → инвестиционный сигнал. Для каждого критического объекта целесообразно вести динамику: MTBF; MTTR; Tdown; Krepeat; Eloss; CNA; IPI. При достижении установленных порогов объект автоматически включается в перечень кандидатов на инвестиционное рассмотрение. Это позволит перейти от преимущественно реактивной модели: «произошел отказ — выполнили ремонт» к предупредительной: «ухудшается совокупность показателей — рассматриваем инвестиционное решение до формирования крупного ущерба».

Сформировать KPI результативности инвестиционных проектов.

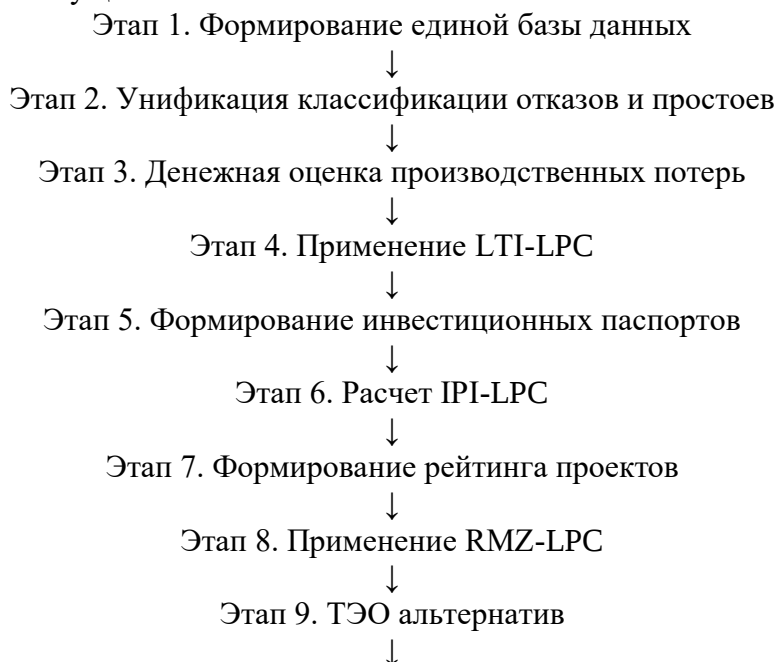
После реализации проекта необходимо контролировать не только освоение CAPEX и соблюдение сроков. Предлагается использовать следующие KPI [7,8].

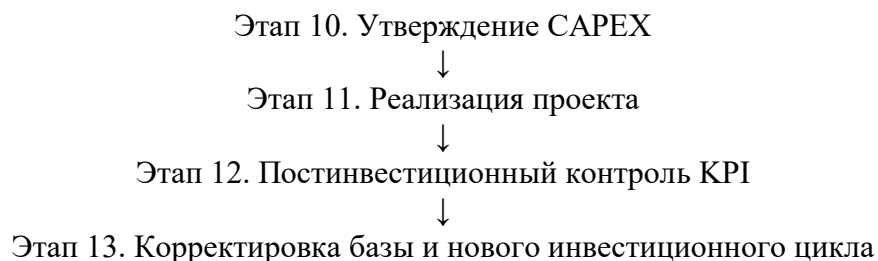
Таблица 9 — KPI постинвестиционной оценки

KPI	Экономический смысл
Снижение аварийного простоя, %	Технический эффект
Изменение MTBF	Повышение надежности
Изменение MTTR	Ремонтопригодность
Снижение повторных отказов, %	Устранение первопричин
Сохраненное производственное время, ч	Производственный эффект
Сохраненный производственный потенциал, т	Производственный результат
Фактически предотвращенный ущерб, млн тг	Экономический эффект
CAPEX, млн тг	Объем инвестиций
NPV	Созданная стоимость
IRR, %	Доходность проекта
PP, лет	Окупаемость
Отклонение фактического эффекта от ТЭО, %	Качество инвестиционного планирования

Особенно важен последний показатель. Инвестиционный проект следует оценивать не только в момент его утверждения, но и через 6–12 месяцев после ввода объекта в эксплуатацию [15].

Предлагаемая дорожная карта внедрения. Практическое внедрение разработанного подхода целесообразно осуществлять поэтапно.





Таким образом формируется замкнутый контур инвестиционного управления, в котором фактические результаты реализованных проектов используются при принятии последующих решений.

Заключение. Проведенное исследование позволило разработать организационно-экономический подход к повышению производственно-экономической эффективности ЛПЦ-1 АО «Qarmet» посредством приоритизации инвестиционных проектов на основе оценки производственных потерь, стоимости бездействия и предотвращаемого экономического ущерба [1-4]. Установлено, что применительно к действующему металлургическому производству инвестиционный эффект не должен ограничиваться оценкой дополнительного выпуска продукции. Существенная часть эффекта проектов модернизации может формироваться посредством сокращения аварийных простоев, предотвращения недопроизводства, повышения технической доступности оборудования и сохранения существующего производственного потенциала.

Анализ исходных данных ЛПЦ-1 показал существенную экономическую значимость проблемы валкового хозяйства. Совокупная величина рассматриваемых потерь составила 446,04 млн тг, при этом 306,61 млн тг, или 68,74 %, связано с недопроизводством продукции. Это подтверждает, что экономические последствия производственных ограничений могут значительно превышать непосредственные расходы, связанные с устранением технической проблемы [12,16-20]. Сценарный анализ показал, что предотвращение 25 % рассматриваемых потерь соответствует потенциальному эффекту 111,51 млн тг, 50 % — 223,02 млн тг, а 75 % — 334,53 млн тг. Полученные величины подтверждают целесообразность включения предотвращаемого ущерба в экономическое обоснование проектов модернизации [3-5]. В исследовании дополнительно введено понятие стоимости бездействия — Cost of No Action. Его использование позволяет оценивать не только стоимость реализации инвестиционного проекта, но и потенциальную экономическую цену его отсрочки. Научный результат исследования представлен системой из трех взаимосвязанных авторских элементов. Первый — LTI-LPC (Loss-to-Investment Model) — обеспечивает трансформацию производственной проблемы в инвестиционное обоснование: проблема → простой → недопроизводство → ущерб → стоимость бездействия → инвестиционное воздействие.

Второй — IPI-LPC (Investment Priority Index) — предназначен для многокритериального ранжирования производственных инвестиционных проектов с учетом критичности, предотвращаемого ущерба, влияния на простои, стратегической и финансовой значимости и стоимости бездействия.

Третий — RMZ-LPC (Repair–Modernize–Replace) — формализует выбор характера технического воздействия: ремонтировать → модернизировать → заменять. Интеграция трех инструментов формирует единый алгоритм:

LTI-LPC → IPI-LPC → RMZ-LPC → ТЭО → CAPEX → NPV / IRR / PP → инвестиционное решение → постинвестиционный контроль.

В этом состоит основная научная новизна исследования: инвестиционный проект рассматривается не как исходная точка анализа, а как результат последовательной трансформации доказанной производственной проблемы в экономически обоснованное инвестиционное решение.

Практическая значимость работы состоит в возможности использования разработанного подхода при формировании инвестиционного портфеля ЛПЦ-1, подготовке инвестиционных заявок, ранжировании CAPEX, сравнении альтернатив ремонта, модернизации и замены оборудования, а также при постинвестиционной оценке достигнутых результатов. Для практического внедрения предложено использовать инвестиционный паспорт проекта, показатель стоимости бездействия, индекс IPI-LPC, матрицу RMZ-LPC и систему постинвестиционных KPI.

В результате инвестиционная политика ЛПЦ-1 может быть переориентирована с принципа: «финансировать технически необходимый проект» на принцип: «инвестировать в устранение доказанных источников максимальных производственно-экономических потерь». Итоговый авторский вывод/ Полученные результаты позволяют сформулировать центральное положение исследования: Экономическая эффективность модернизации действующего прокатного производства определяется не только величиной создаваемого дополнительного результата, но и стоимостью производственных потерь, которые предприятие способно предотвратить благодаря своевременному инвестиционному решению.

Поэтому повышение производственно-экономической эффективности ЛПЦ-1 целесообразно обеспечивать посредством интеграции ремонтной статистики, анализа простоев, оценки экономического ущерба и инвестиционного планирования в единый контур принятия решений.

ЛИТЕРАТУРА

1. ISO 55000:2024. Asset management — Vocabulary, overview and principles. — Geneva: International Organization for Standardization, 2024.
2. ISO 55001:2024. Asset management — Asset management system — Requirements. — Geneva: International Organization for Standardization, 2024.
3. IEC 60300-3-3:2017. Dependability management — Part 3-3: Application guide — Life cycle costing. — Geneva: International Electrotechnical Commission, 2017.
4. ISO 15686-5:2017. Buildings and constructed assets — Service life planning — Part 5: Life-cycle costing. — Geneva: International Organization for Standardization, 2017.
5. Sokolov M. V. NPV, IRR, PI, PP, and DPP: a unified view // arXiv. — 2023. — arXiv:2302.02875.
6. ISO 14224:2016. Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. — 3rd ed. — Geneva : International Organization for Standardization, 2016.
7. ISO 22400-1:2014. Automation systems and integration — Key performance indicators (KPIs) for manufacturing operations management — Part 1: Overview, concepts and terminology. — Geneva: International Organization for Standardization, 2014.
8. Brundage M. P., Bernstein W. Z., Morris K. C., Horst J. A. KPIs for Manufacturing Operations Management: driving the ISO 22400 standard towards practical applicability // IFAC-PapersOnLine. — 2018. — Vol. 51, no. 11. — P. 7–12. — DOI: 10.1016/j.ifacol.2018.08.226.
9. Benhanifia A. Systematic review of predictive maintenance practices in the manufacturing sector // Intelligent Systems with Applications. — 2025. — Vol. 26. — Art. 200501. — DOI: 10.1016/j.iswa.2025.200501.
10. Huang C., Bu S., Lee H. H., Chan C. H., Kong S. W., Yung W. K. C. Prognostics and health management for predictive maintenance: A review // Journal of Manufacturing Systems. — 2024. — Vol. 75. — P. 78–101.
11. Predictive maintenance in Industry 4.0: A systematic multi-sector mapping // CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology. — 2024. — Vol. 50. — P. 80–103. — DOI: 10.1016/j.cirpj.2024.02.003.

12. АО «Qarmet». Производственные, ремонтные и инвестиционные данные Листопрокатного цеха № 1 за 2023–2026 гг: внутренняя электронная база данных / расчеты авторов. — Темиртау, 2026. — Неопубликованный материал.
13. Optimal Maintenance Strategy Selection for Oil and Gas Industry Equipment Using a Combined Analytical Hierarchy Process–Technique for Order of Preference by Similarity to an Ideal Solution: A Case Study in the Oil and Gas Industry // *Processes*. — 2025. — Vol. 13, no. 5. — Art. 1389. — DOI: 10.3390/pr13051389.
14. ISO/TS 55010:2024. Asset management — Guidance on the alignment of financial and non-financial functions in asset management. — Geneva: International Organization for Standardization, 2024.
15. Предпринимательский кодекс Республики Казахстан: Кодекс Республики Казахстан от 29 октября 2015 года № 375-V ЗРК : с изм. и доп. по состоянию на 2026 г. // Информационно-правовая система нормативных правовых актов Республики Казахстан «Әділет».
16. Гельманова З.С., Валеев Д.А. и др. Проблемы и резервы повышения эффективности организации ремонтов на АО «QARMET» В сборнике трудов XIII Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии и инжиниринг», Темиртау, КарИУ, 2025, pp. 417–419, ISBN: 978-601-82346-7-5
17. Гельманова З.С., Руш В.В. и др. Инновационное развитие ЛПЦ-1 АО «QARMET» через модернизацию производственных мощностей: проект установки комбинированного агрегата поперечной резки В сборнике трудов XIII Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии и инжиниринг», Темиртау, КарИУ, 2025, pp. 419–422, ISBN: 978-601-82346-7-5
18. Гельманова З.С., Батырбек А., Петровская А.С. и др. Эволюция бизнес модели ЛПЦ1 АО «QARMET» в условиях цифровой трансформации 4-й промышленной революции. Монография. Алматы: ADAL KITAP, 2025 -164с.
19. Gelmanova Z.S., Fayez Wazani, A. W., et al. Measures and procedure for implementing production digitalization at JSC “Karmet” International Conference on Electrical and Computer Engineering Research (ICECER) 2024, pp. 1–6. IEEE. – December 4–6, 2024, Gaborone, Botswana. DOI: 10.1109/ICECER62944.2024.10920383.
20. Gelmanova Z.S., Fayez Wazani, A. W., et al. Transformation of warehouse operations at JSC “QARMET” through an intelligent management system Proceedings of the International Conference on Artificial Intelligence, Computer Science, Data Science and Applications (ACDSA) 2025, pp. 45–52. IEEE. – August 7–9, 2025, Antalya, Türkiye. DOI: 10.1109/ACDSA65407.2025.11166469.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.22236498>

КОРПОРАТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ЖЁСТКОЙ ДЕНЕЖНО-КРЕДИТНОЙ ПОЛИТИКИ США 1980-х

СОЛНЦЕВ ПАВЕЛ ВЛАДИМИРОВИЧ

Студент Самарского государственного экономического университета

Научный руководитель – **Г.И. ЯКОВЛЕВ**

Самара, Российская Федерация

Аннотация: в статье рассматриваются управленческие решения, принимаемые руководством крупных компаний США в период ужесточения денежно-кредитной политики в начале 1980-х годов для анализа возможности их применения в современных экономических условиях.

Ключевые слова: денежно-кредитная политика, ставка, инфляция, корпоративные решения, экономика, капитализация, кредит, налоги.

В 1980-м году в США после десятилетия высокой инфляции (в 1974 и 1979 инфляция составляла свыше 12%), новый председатель правления Федеральной резервной системы Пол Волкер поднимает ключевую ставку до 20,4%.

Крупные американские компании, привыкшие кредитоваться по однозначной ставке, стали принимать самые различные меры обеспечения финансовой устойчивости (таб. 1).

Таблица 1

Меры обеспечения финансовой устойчивости предприятий в условиях жесткой монетарной политики

№	Меры	Содержание и пример	Эффективность
1	Реструктуризация долгов.	Обращение к кредиторам с планом погашения долга на более долгий срок и по сниженной ставке. Пример: Производитель сельхозтехники International Harvester обратилась к своим кредиторам преобразовать краткосрочные долги на сумму 3,4 млрд долларов в новый долговой пакет объёмом 4,9 млрд долларов. Это давало более длинные сроки и структурированные выплаты.	К июню 1981 года около 95 % банков, на долю которых приходился объём рефинансирования, выражали готовность поддержать пакет мер компании International Harvester. Однако, забастовки рабочих, неэффективное управление, усиление конкуренции и эмбарго на поставки зерна в СССР сделали своё дело, и в 1985 году компания прекратила своё существование.
2	Налоговый лизинг (tax lease)	Одна компания покупает у другой имущество, а потом сдаёт это имущество ей же в лизинг. Пример: В ноябре 1981 года компания IBM покупает у Ford Motor Company оборудование, которое потом сдаёт его в лизинг этой же компании (Ford).	Право на налоговые льготы переходило к IBM, которая могла использовать амортизационные отчисления и инвестиционные налоговые кредиты (investment tax credits) для снижения своей налоговой базы. Ford получал живые деньги и продолжал

			использовать свои производственные мощности.
3	Отказ от выплаты дивидендов	Руководство компаний принимало решение об отказе от выплаты дивидендов. Пример: Ford Motor Company в 1981-м объявила, что отказывается от выплаты дивидендов за первый квартал. Для Ford это было впервые с момента выхода на биржу в 1956 году. Также о сокращении выплат объявили такие компании как McDonnell Douglas Corporation (аэрокосмическая и оборонная отрасль), Maytag Corporation (производитель бытовой техники), Goodyear Tire and Rubber Company (производство и продажа автомобильных шин).	Отказ от выплат позволил Ford пройти через сложный период, заложить основу для восстановления. Компания смогла провести необходимые изменения в структуре затрат и укрепить ликвидность. В результате после паузы дивиденды возобновили: уже в 1983 году выплаты вернулись, а к 1986 году квартальная выплата превысила уровень, который был до сокращения в конце 1970-х. То есть отказ от дивидендов в трудный момент сработал как инструмент финансовой стабилизации — и в долгосрочной перспективе поддержал устойчивость бизнеса.
4	Сокращение инвестиций и капитальных затрат	Когда заёмные деньги стоят слишком дорого, компании откладывали масштабные проекты, такие как строительство заводов, закупку нового оборудования, масштабные маркетинговые кампании. Пример: в автомобильной отрасли (General Motors, Ford, Chrysler) замедлились инвестиции в новые модели и производственные линии.	Для General Motors экономия и рост выручки составили более 2,1 миллиарда долларов. Компания Chrysler к 1984 году, уже после выхода из кризиса, компания показала рекордную прибыль — около \$2,4 млрд.
5	Оптимизация расходов и сокращение штата	Компании урезали бюджеты на разные статьи: маркетинг, исследования, обучение сотрудников. Нередко шли на увольнения. Пример: в General Electric с 1980 по 1985 сокращено около 112 000 человек, компанию Deere & Company с 1980 по 1983 покинуло около 40% почасовых рабочих и 15% штатных.	Положительный эффект: сокращение издержек помогло стабилизировать положение компании и избежать более тяжёлого кризиса. Отрицательный эффект: волна увольнений сильно ударила по работникам и местным эконоикам. Кроме того, такие резкие меры иногда приводили к потере ценного опыта и навыков, которые потом было сложно восстановить.
6	Попытки воспользоваться	Администрация президента США принимала свои шаги	Снижение ставки и ускоренное списание активов напрямую

государственными мерами	(например, Закон о налогах на восстановление экономики 1981 года), которые включали снижение корпоративных налогов и введение системы ускоренного возмещения затрат (ACRS). Некоторые компании адаптировали свои инвестиционные планы, чтобы активнее использовать новые налоговые льготы.	уменьшили налоговые выплаты. У компаний высвободились средства, которые многие направили на инвестиции, например: на модернизацию производства, закупку нового оборудования или развитие технологий. В технологической отрасли это ускорило инновации: компании вроде Apple и Microsoft активнее вкладывались в исследования и разработки, пользуясь ускоренным списанием затрат.
-------------------------	--	---

Быстрому восстановлению экономики после кризисных 1970-х также поспособствовал технологический прогресс, который, в отличие от СССР, стал возможен в США благодаря более мягкому законодательству о возможности использования частным бизнесом достижений науки. Например, Патентный закон Бэй–Доула способствовал расширению возможностей использования университетами и промышленностью изобретений, созданных на федеральные средства¹.

В условиях, когда капитализация некоторых мелких компаний резко снижалась, у крупных инвесторов возникла идея выкупать подешевевшие компании за счёт заёмных средств, а затем оптимизировать: продать непрофильные активы, сократить издержки, улучшить управление, и в итоге продать дороже или вывести на IPO. Такие сделки получили название LBO (leveraged buyout — выкуп с привлечением заёмных средств).

Так, например, одним из первопроходцев таких сделок стал консорциум во главе с Kohlberg Kravis Roberts & Co. (KKR), который выкупил производителя промышленных насосов Houdaille Industries. У Houdaille было много дочерних предприятий и непрофильных активов — их можно было продать, чтобы быстро гасить долг, привлечённый для выкупа. Это была ключевая логика KKR: «покупаем на кредит, режем лишнее, обслуживаем долг выручкой». В отличие от «финансовых акул» того времени, менеджмент Houdaille был осторожен в отношении долгов из-за памяти о Великой депрессии. KKR как раз умела убеждать, что контролируемый долг — это инструмент, а не угроза. Из примерно 370 млн. долларов сделки около 355 млн. составили заёмные средства.

KKR предложила акционерам Houdaille около 40 долларов за акцию — примерно вдвое выше рыночной цены (до сделки акции торговались около 15 долларов). В течение нескольких лет инвесторы KKR получали доход: по некоторым оценкам, среднегодовая доходность для них превышала 33%. В итоге, когда оставшиеся активы компании в 1986 году были проданы (в том числе через формирование IDEX Corporation), партнёры KKR смогли реализовать прибыль.

Таким образом, сделки LBO фактически уничтожали мелкие консервативные компании. Печальный опыт проведения таких сделок за счёт выпуска высокодоходных («мусорных») облигаций вряд ли возможен сегодня не только из-за жёсткого регулирования рынка ценных бумаг центральными банками, но и в том числе благодаря тому, что крупные институциональные фонды как правило не приобретают облигации с рейтингом ниже A-, а физические лица порой не способны привлечь необходимый объём денежных средств.

Что же оставалось делать руководству компаниям, которые становились мишенью таких сделок? Они принимали порой самые нестандартные решения (таб.2).

Таблица 2

Меры по противодействию враждебному поглощению

№	Стратегия	Содержание	Эффективность
1	«Ядовитая пилюля» (poison pill)	Совет директоров компании-мишени принимал план, который делал поглощение невыгодным для агрессора. Например, если кто-то скупал определённый процент акций (скажем, 15–20%), другие акционеры получали право выкупить дополнительные акции со скидкой.	Такая мера резко размывала долю захватчика и взвинчивала цену. Например, компания General Oil применила такую тактику, чтобы сорвать попытку враждебного поглощения со стороны Т. Буна Пикенса. В 1985 году Верховный суд Делавэра подтвердил законность «ядовитой пилюли» (дело Moran v. Household International, Inc.)
2	«Золотые парашюты» (golden parachutes)	Компании-мишени заключали с ключевыми топ-менеджерами контракты, предусматривавшие крупные компенсационные выплаты в случае смены контроля. Это делало поглощение дороже. В середине 1980-х около трети из 250 крупнейших компаний США внедрились такие схемы.	Когда консорциум во главе с ККР пытался выкупить компанию RJR Nabisco, у руководителя Росса Джонсона был «золотой парашют» стоимостью более 50 миллионов долларов, что сделало сделку непривлекательной.
3	Изменения в уставе (charter amendments)	Компании вносили в устав положения, усложняющие поглощение. Например, вводили требование квалифицированного большинства голосов для одобрения сделки или разделяли совет директоров так, чтобы его состав обновлялся постепенно.	Таким инструментом воспользовалась компания Asarco (медная горнодобывающая компания). Это помогло значительно затян timer процесс поглощения компании, поскольку приобретателю пришлось оспаривать в суде все ограничительные меры.
4	Поиск «белого рыцаря» (white knight).	Компания, которой угрожало враждебное поглощение, находила более предпочтительного партнёра и договаривалась с ним о спасении.	Компания Gulf Oil заключила сделку с Chevron, что избежать поглощения со стороны компании Mesa Petroleum. Такая сделка действительно помогла избежать враждебного поглощения.

Также менеджмент компании-мишени мог оспаривать условия предложения или действия потенциального покупателя в суде, затягивая процесс, чтобы тем временем искать другие меры защиты.

Несмотря на рецессию в экономике, ФРС удалось сбить инфляцию до 1,1% в 1986 году. Очевидно, что не все компании пережили этот период. Однако, те, которые сумели договориться о реструктуризации долга, о льготах и защитных мерах от агрессивного поглощения, кто смог договориться с профсоюзами, избавиться от всего лишнего, сосредоточиться только на извлечении максимального денежного потока, смогли выжить.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что не все инструменты управления стоимостью предприятия, которые использовались в США в 1980-х, возможно применить в современных условиях из-за различий в законодательстве, в системе налогообложения, различного уровня влияния государства на крупный частный бизнес, разного уровня развитости систем кредитования. Однако, сокращение расходов, оптимизация внутренней структуры, интенсивное повышение эффективности производства, в том числе за счёт технологического прогресса, являются универсальными управленческими решениями и могут применяться руководством компаний всех стран с рыночной экономикой в период высокой ключевой ставки.

ЛИТЕРАТУРА

1. HARVESTER SAYS IT HAS DEBT ACCORD // URL: <https://www.nytimes.com/1981/12/23/business/harvester-says-it-has-debt-accord.html>
2. FORD ПРОДАСТ НАЛОГИЧЕСКИЕ КРЕДИТЫ КОМПАНИИ IBM. // URL: <https://www.nytimes.com/1981/11/06/business/ford-to-sell-tax-credits-to-ibm.html>
3. FORD OMITS QUARTERLY DIVIDEND // URL: <https://www.nytimes.com/1982/01/15/business/ford-omits-quarterly-dividend.html>
4. General Motors Increases Its Production Throughput // URL: https://www.researchgate.net/publication/220250032_General_Motors_Increases_Its_Production_Throughput
5. Government gives Chrysler \$1.5 billion loan – 1980 // URL: <https://www.theburningplatform.com/2023/05/10/this-day-in-history-government-gives-chrysler-1-5-billion-loan-1980-2/>
6. How Reagan's 1981 ERTA Tax Cuts Sparked an Innovation Boom // URL: <https://kurums.com/erta-economic-recovery-tax-act-lessons/>
7. Панкова, Л. В. "Инновационные рывки" в США: стратегические предпосылки и дивиденды / Л. В. Панкова // Вестник Московского университета. Серия 25: Международные отношения и мировая политика. – 2016. – Т. 8, № 3. – С. 3-28. – EDN XTBSCV.
8. Moran v. Household Intern., Inc. // URL: <https://law.justia.com/cases/delaware/supreme-court/1985/500-a-2d-1346-1.html>
9. Asarco Inc. v. Court, 611 F. Supp. 468 (D.N.J. 1985) // URL: <https://law.justia.com/cases/federal/district-courts/FSupp/611/468/2003805/>
10. F.T.C. Approves Chevron-Gulf Deal // URL: <https://www.nytimes.com/1984/10/25/business/ftc-approves-chevron-gulf-deal.html>

<https://doi.org/10.5281/zenodo.22236556>

УДК 332.1

МНОГОМЕРНАЯ МОДЕЛЬ ЗРЕЛОСТИ ГЕОТЕРМАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ OLKARIA, MENENGAI И BARINGO–SILALI В КЕНИИ

ГЕЛЬМАНОВА ЗОЯ САЛИХОВНА

Профессор, Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

FAYEZ WAZANI ABDUL WALID

Магистр, Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

THUKU HARRISON

Магистрант, Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

Аннотация. Кения является одним из мировых лидеров по развитию геотермальной энергетики и наиболее значимым примером её коммерческого освоения в Африке. По состоянию на декабрь 2025 года установленная геотермальная мощность Кении составляла 943,7 МВт, а геотермальная генерация обеспечивала 40,06% электроэнергии, поступавшей в национальную энергосистему в июле–декабре 2025 года. В июне 2026 года Geothermal Development Company сообщила о преодолении страной рубежа в 1 ГВт установленной геотермальной мощности. Однако количественное увеличение установленной мощности не полностью отражает степень зрелости геотермального развития. Различные геотермальные территории Кении находятся на разных уровнях ресурсной изученности, технологического освоения, институционального развития, инвестиционной привлекательности и социально-экономической интеграции.

Цель статьи — предложить многомерную модель зрелости геотермального развития и апробировать её на трёх территориях Кении: Olkaria, Menengai и Baringo–Silali. В отличие от линейной модели стадий, предполагающей последовательное движение от разведки к генерации, предлагаемая модель рассматривает геотермальное развитие как нелинейный процесс, в котором одновременно взаимодействуют несколько измерений. Olkaria рассматривается как пример высокой ресурсной и технологической зрелости; Menengai — как пример институционально-инвестиционной трансформации и расширения прямого использования; Baringo–Silali — как формирующаяся геотермальная территория, где особенно важна возможность связать развитие энергетики с региональной экономикой.

Предлагается перейти от оценки геотермальных проектов преимущественно по показателю установленной мощности к оценке их интегрированной социально-экономической ценности. Центральный тезис заключается в том, что геотермальный ресурс становится фактором устойчивого развития не автоматически: необходим определённый уровень зрелости институтов, технологий, финансирования и механизмов включения местной экономики.

Ключевые слова: геотермальная энергетика, Кения, Olkaria, Menengai, Baringo–Silali, геотермальное развитие, энергетический переход, устойчивое развитие, прямое использование, инвестиции, региональное развитие, технологическая зрелость.

Современный энергетический переход предполагает не только увеличение доли возобновляемых источников энергии, но и поиск таких энергетических технологий, которые способны одновременно обеспечивать энергетическую безопасность, снижение выбросов, промышленное развитие и повышение качества жизни населения.

Для стран Африки эта задача приобретает особое значение. Энергетический переход здесь происходит в условиях сохраняющегося дефицита энергетической инфраструктуры,

быстрого роста населения, необходимости индустриализации и ограниченных финансовых ресурсов.

Кения представляет собой уникальный пример. С одной стороны, страна располагает значительными ресурсами солнечной, ветровой, гидро- и геотермальной энергии. С другой — именно геотермальная энергетика стала одним из ключевых элементов национальной электроэнергетической системы.

По данным Energy and Petroleum Regulatory Authority, на декабрь 2025 года установленная геотермальная мощность составляла 943,7 МВт. При этом геотермальная энергия обеспечивала 40,06% электроэнергии, произведённой для национальной системы в июле–декабре 2025 года. Таким образом, геотермальная энергетика уже стала не просто одним из возобновляемых источников энергии, а структурным элементом энергетической системы Кении [1]. При этом государство оценивает совокупный геотермальный потенциал страны в диапазоне примерно 7 000–10 000 МВт.

Возникает принципиальный вопрос: Почему столь значительный ресурсный потенциал не следует автоматически рассматривать как эквивалентный потенциал экономического развития? Ответ, предлагаемый в данной статье, заключается в необходимости различать ресурсный потенциал и зрелость системы его освоения. Наличие геотермального ресурса является необходимым, но недостаточным условием развития.

Для превращения подземного тепла в устойчивую экономическую ценность необходимы: научные знания; разведка; бурение; инфраструктура; финансовые механизмы; государственные институты; частный капитал; технологии; человеческий капитал; социальное участие; механизмы распределения выгод. Следовательно, геотермальное развитие следует рассматривать не как линейную цепочку от скважины к электростанции, а как многомерную систему.

В традиционном представлении развитие геотермального проекта может быть описано последовательностью: разведка → бурение → подтверждение ресурса → строительство электростанции → генерация. Такой подход удобен для управления отдельным проектом [12].

Однако для анализа национального и регионального развития он недостаточен. Причина состоит в том, что разные компоненты системы могут развиваться с разной скоростью. Например, геологическая изученность территории может быть высокой, но отсутствовать частный капитал. Или, напротив, территория может обладать привлекательным ресурсом, но испытывать недостаток инфраструктуры. Также возможно наличие электростанции при слабой интеграции геотермального ресурса в местную экономику. Под зрелостью будем понимать: способность геотермальной территории превращать природный ресурс в устойчивую систему энергетической, экономической, технологической и социальной ценности. Это определение позволяет выйти за пределы традиционной оценки в мегаваттах.

Исследования Кении показывают, что крупные геотермальные проекты могут способствовать развитию дорог, воды, бизнеса и занятости, но одновременно вызывать изменения землепользования, рост стоимости земли и другие социально-экономические трансформации [13,14].

Исследование политической экологии геотермального развития в Кении также подчёркивает двойственность таких проектов: они способны создавать инфраструктуру и новые возможности, но могут сопровождаться потерей земли и средств существования [10]. Поэтому социальная зрелость означает не отсутствие конфликтов, а способность институциональной системы: учитывать интересы → распределять выгоды → компенсировать потери → создавать возможности для местного населения [13,14].

Olkaria: высокая технологическая и ресурсная зрелость. Olkaria является наиболее зрелым геотермальным районом Кении. Именно здесь сформировалась основная национальная школа геотермальной энергетики. Научная литература характеризует Olkaria как главный производственный геотермальный район Кении; современная установленная мощность комплекса приблизилась к 1 ГВт.

В случае Olkaria основные вопросы уже не связаны с доказательством принципиальной возможности геотермальной генерации. Они относятся к: управлению резервуаром; оптимизации добычи пара; модернизации; продлению срока эксплуатации; повышению эффективности; экологическому мониторингу; развитию новых форм использования тепла. Именно поэтому Olkaria может рассматриваться как территория с высокой:

ресурсной зрелостью + технологической зрелостью + институциональной зрелостью. Однако это не означает, что её социально-экономическая зрелость автоматически максимальна. Это принципиально важное положение предлагаемой модели.

Menengai: институциональная и экономическая трансформация. Menengai представляет другой профиль [9]. По данным GDC, ресурсный потенциал Menengai оценивается примерно в 1 600 МВт. На сегодняшний день развитие проекта осуществляется через сочетание государственного освоения парового ресурса и участия независимых производителей электроэнергии. Это делает Menengai особенно интересным для анализа институциональной зрелости. Здесь возникает разделение функций: GDC → развитие геотермального ресурса и IPP → производство электроэнергии [2-7,10].

В первой фазе независимые производители получили возможность развивать проекты на базе пара, предоставляемого GDC. Один из блоков начал работать в 2023 году, второй был синхронизирован с национальной сетью в марте 2026 года, а для третьего GDC указывала ожидаемую дату коммерческой эксплуатации в апреле 2026 года. Это показывает, что зрелость геотермальной системы может возрасти не только через технологическое развитие, но и через институциональные инновации.

Menengai как пример перехода к многофункциональному использованию.

Menengai особенно важен для предлагаемой модели потому, что здесь уже реализованы проекты direct use. GDC создала пять демонстрационных направлений: теплицы; аквакультура; пастеризация молока; прачечная; сушка зерна. Это означает, что геотермальная энергия начинает рассматриваться как тепловой ресурс для местной экономики, а не только как сырьё для электростанции. Особенно интересна идея GDC о создании промышленного парка около геотермального поля, где предприятия могли бы использовать тепло непосредственно. Таким образом, Menengai демонстрирует переход: от geothermal power к geothermal economy.

Baringo–Silali: низкая ресурсная зрелость, но высокий потенциал территориального развития. Baringo–Silali представляет третий профиль.

GDC рассматривает Baringo–Silali как проект, включающий три перспективы: Paка + Korosi + Silali. Оценочный потенциал всей зоны составляет около 3 000 МВт, а первая фаза предполагает развитие 300 МВт — по 100 МВт для каждого из трёх участков [2-7]. Однако эти показатели следует трактовать как потенциал и плановые цели, а не как уже установленную мощность. В настоящее время продолжаются разведочные и оценочные работы. GDC сообщает об успешном бурении разведочных и оценочных скважин в Paка и Korosi. Следовательно, Baringo–Silali имеет более низкую ресурсную и технологическую зрелость, чем Olkaria. Но именно здесь возникает важнейший парадокс предлагаемой модели: низкая текущая зрелость не означает низкую стратегическую ценность. Напротив, Baringo–Silali может обладать очень высокой потенциальной социально-экономической ценностью, если энергетическое развитие будет с самого начала связано с региональной экономикой.

Сравнительный профиль трёх территорий. Предлагаемая модель позволяет отказаться от простой классификации «старая — новая» и представить территории через их профили.

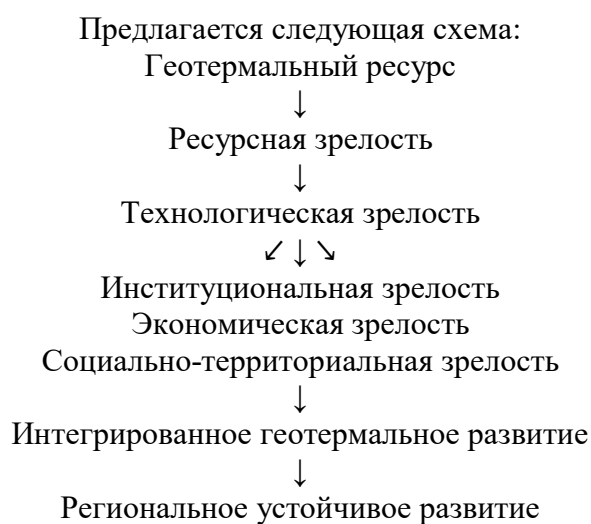
Измерение	Olkaria	Menengai	Baringo–Silali
-----------	---------	----------	----------------

Ресурсная зрелость	очень высокая	высокая	формирующаяся
Технологическая зрелость	очень высокая	высокая	низкая–средняя
Институциональная зрелость	очень высокая	очень высокая	средняя
Инвестиционная зрелость	высокая	высокая	формирующаяся
Direct use	развивающийся	развитый демонстрационный уровень	перспективный
Социально-территориальная интеграция	высокая, но неоднозначная	высокая, с заметными трансформациями	формирующаяся
Потенциал нового развития	средний	высокий	очень высокий

Эта таблица не является количественным индексом в строгом смысле. Она представляет собой концептуальную матрицу, которую в дальнейшем можно превратить в формализованный индекс на основе объективных показателей.

Полученные результаты позволяют сделать важный теоретический вывод.

Нельзя утверждать: Olkaria → Menengai → Baringo–Silali как последовательные стадии одного и того же процесса. Во-первых, эти территории не являются одинаковыми проектами. Во-вторых, их геологические, пространственные и социальные условия различаются. В-третьих, отдельные измерения могут развиваться несинхронно. Например: технологическая зрелость может быть высокой, а социальная интеграция — низкой. Или: ресурсная зрелость может быть высокой, но инвестиционная зрелость — недостаточной[8-10]. Поэтому предлагаемая модель предполагает многомерную, а не линейную траекторию развития[11]. Концептуальная модель:



При этом связи являются двусторонними. Например, развитие промышленности может стимулировать инвестиции в энергетическую инфраструктуру. Рост местной экономики может повышать социальную поддержку проекта. Развитие институтов может снижать инвестиционный риск. А новые технологии direct use могут создавать спрос на геотермальный ресурс вне электроэнергетики. Следовательно, система развивается не линейно, а через

взаимное усиление нескольких измерений. Наиболее важный концептуальный переход предлагаемой статьи заключается в изменении объекта исследования.

Традиционно объектом является: геотермальная электростанция. Предлагаемая концепция расширяет объект до: геотермальной территории развития. В таком случае мы анализируем не только: МВт; скважины; стоимость электроэнергии; коэффициент использования мощности. Также рассматриваем: предприятия; рабочие места; инфраструктуру; сельское хозяйство; воду; туризм; образование; местные цепочки поставок; участие населения. Именно здесь энергетическая политика соединяется с региональной экономикой.

Direct use(прямое использование геотермального тепла) как индикатор более высокой зрелости. Особое место в модели занимает direct use. Причина заключается в том, что производство электроэнергии представляет собой лишь один способ извлечения экономической ценности из геотермального ресурса. Если температура ресурса позволяет, тепло может использоваться непосредственно. Исследования по Кении показывают значительный спектр таких возможностей. В Menengai уже существует демонстрационная практика. В Baringo–Silali потенциал direct use может быть особенно важен для сельской и периферийной экономики.

В 2026 году GDC также инициировала закупочную процедуру для создания direct-use applications из геотермального рассола в Menengai или Baringo–Silali, что свидетельствует о продолжающемся переходе к более широкому использованию ресурса. Следовательно, direct use может рассматриваться как один из индикаторов перехода от энергетического проекта к энергетической экосистеме.

Ещё один важный элемент предлагаемой концепции связан с социальной политикой. Традиционный подход к социальным последствиям крупных энергетических проектов часто концентрируется на: компенсации; переселении; экологическом воздействии; CSR.[13,14]. Однако более перспективный подход заключается в вопросе: Как местные сообщества могут стать экономическими участниками геотермального развития? Например: геотермальное тепло → теплица → местный предприниматель → производство → рынок → занятость. Или: геотермальное тепло → аквакультура → местное предприятие → продовольствие → доход населения. В этом случае местное население становится не только получателем компенсации или CSR-помощи, но участником цепочки создания стоимости. Это особенно важно для Baringo–Silali.

Предлагаемая модель позволяет поставить ещё более широкий вопрос.

Можно ли рассматривать геотермальную энергетику как инструмент промышленной политики Кении? Ответ потенциально положительный. Геотермальная энергия может обеспечивать: Электроэнергию для промышленности. Тепло для производственных процессов. Инфраструктуру для развития территорий. Спрос на инженерные услуги и оборудование. Человеческий капитал через обучение специалистов. Инвестиции через международные финансовые институты и частный капитал. Таким образом, геотермальный сектор потенциально способен создавать локальную цепочку создания стоимости.

Предлагаемая модель позволяет сформулировать различные стратегии для трёх территорий. Для Olkaria Основной акцент: оптимизация + модернизация + повышение эффективности + direct use. Для Menengai Основной акцент: IPP + direct use + промышленный парк + локальная цепочка создания стоимости. Для Baringo–Silali. Основной акцент: снижение ресурсного риска + инфраструктура + инвестиции + местное предпринимательство + direct use + региональное развитие. Таким образом, одна национальная геотермальная стратегия может включать разные инструменты для территорий с разным профилем зрелости.

Для оценки перспектив развития геотермальной энергетики недостаточно учитывать только величину доступных ресурсов или установленный энергетический потенциал. Практика показывает, что успешность геотермальных проектов определяется совокупностью взаимосвязанных факторов: качеством геологоразведочной базы, институциональными

условиями, доступностью финансирования, технологической готовностью, экологической устойчивостью и наличием квалифицированного человеческого капитала [12]. Поэтому дальнейший анализ целесообразно перевести от оценки отдельных показателей к комплексной многомерной оценке зрелости геотермального развития.

В рамках исследования предлагается авторская модель, позволяющая рассматривать развитие геотермальной энергетики как результат сбалансированного формирования нескольких взаимодополняющих компонентов. Такой подход дает возможность не только определить текущее состояние отрасли, но и выявить направления, по которым существуют наиболее существенные разрывы между фактическим и целевым уровнем развития.

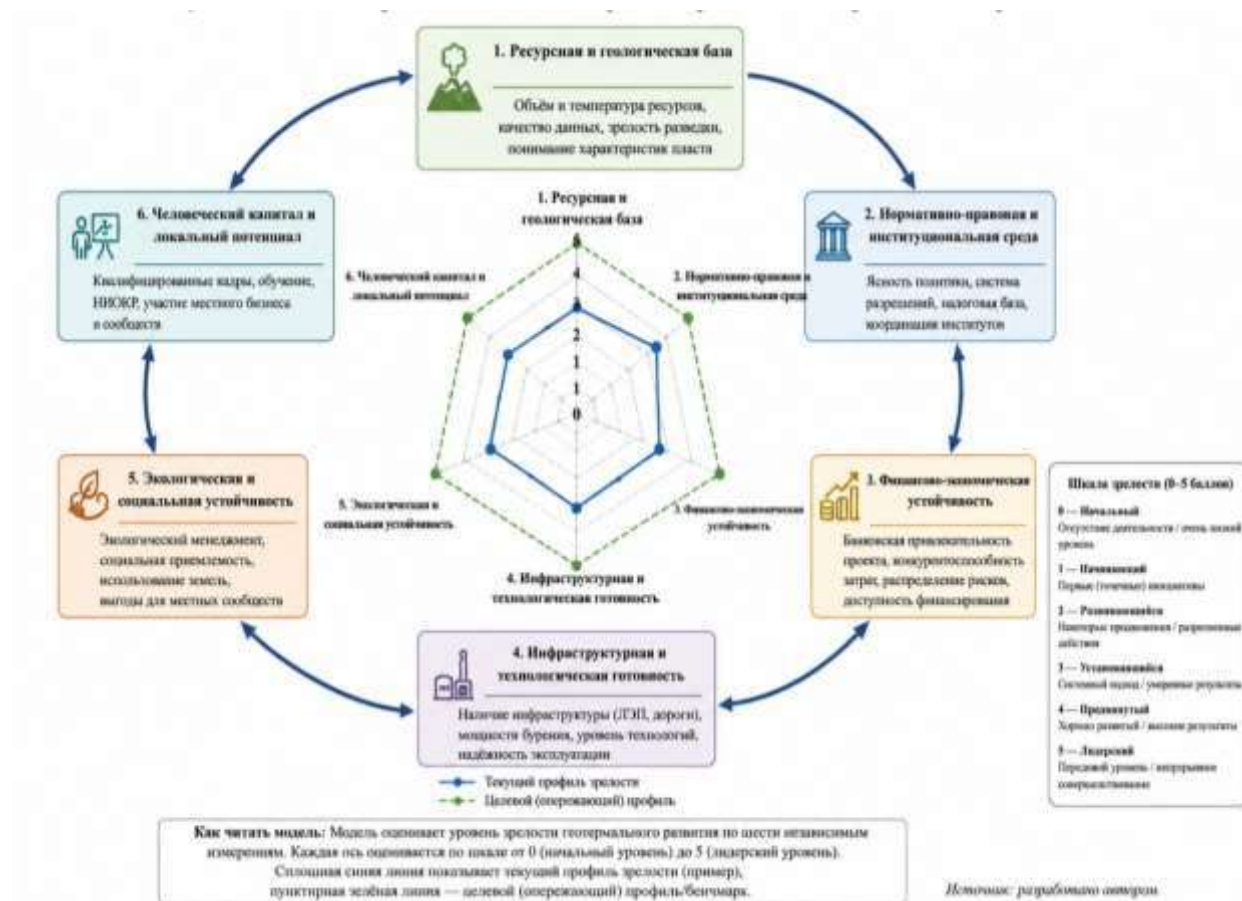


Рисунок 1 — Многомерная модель оценки зрелости развития геотермальной энергетики

Представленная на рисунке 1 модель включает шесть ключевых измерений зрелости геотермального развития, каждое из которых оценивается по шкале от 0 до 5 баллов.

Первое измерение — ресурсная и геологическая база. Оно характеризует степень изученности геотермальных ресурсов, наличие достоверной информации об объеме и температуре ресурсов, качество геологических данных, глубину разведки и уровень понимания характеристик геотермального пласта. Именно этот блок формирует исходную природно-ресурсную основу для принятия инвестиционных и технологических решений.

Второе измерение — нормативно-правовая и институциональная среда. Оно отражает ясность государственной политики, качество разрешительных процедур, устойчивость нормативной базы, налоговые условия, распределение полномочий и степень координации между государственными институтами. Даже высокий ресурсный потенциал не обеспечивает

реализацию проектов при наличии административной неопределенности или институциональных барьеров.

Третье измерение — финансово-экономическая устойчивость. В рамках данного направления оцениваются банковская привлекательность проектов, конкурентоспособность затрат, доступность источников финансирования, механизм распределения рисков и способность проектов обеспечивать приемлемую инвестиционную доходность. Этот компонент особенно важен для геотермальной энергетики в связи с высокой капиталоемкостью начальных стадий и значительными рисками геологоразведочных работ.

Четвертое измерение — инфраструктурная и технологическая готовность. Оно охватывает наличие необходимой энергетической и транспортной инфраструктуры, состояние электрических сетей и дорог, доступность буровых технологий и оборудования, технологическую надежность объектов и возможности их последующей эксплуатации. Высокая технологическая готовность сокращает сроки реализации проектов и снижает операционные риски.

Пятое измерение — экологическая и социальная устойчивость. Данный блок показывает, насколько геотермальное развитие учитывает требования экологического менеджмента, особенности землепользования, социальную приемлемость проектов, интересы местного населения и распределение социально-экономических выгод. Включение данного критерия позволяет рассматривать геотермальную энергетику не только как энергетический, но и как инструмент устойчивого регионального развития.

Шестое измерение — человеческий капитал и локальный потенциал. Здесь оцениваются обеспеченность квалифицированными специалистами, возможности профессиональной подготовки и переподготовки, развитие научно-исследовательской деятельности, участие университетов, локального бизнеса и местных сообществ. Этот компонент определяет способность страны не только вводить новые мощности, но и самостоятельно обеспечивать их технологическое сопровождение и дальнейшее развитие.

Особенностью модели является сопоставление текущего и целевого профилей зрелости. Сплошная синяя линия на радиальной диаграмме характеризует фактическое состояние рассматриваемой системы, тогда как пунктирная зеленая линия отражает целевой, или опережающий, уровень развития. Расстояние между двумя профилями позволяет интерпретировать величину существующего «разрыва зрелости».

Шкала от 0 до 5 баллов обеспечивает единый подход к оценке всех шести направлений. Значение 0 баллов соответствует практически отсутствующему уровню развития, 1 балл — начальной стадии, 2 балла — развивающемуся состоянию, 3 балла — установившемуся уровню, 4 балла — продвинутому уровню и 5 баллов — лидерской стадии зрелости.

С методологической точки зрения наиболее важным является не достижение максимального значения по одному из направлений, а сбалансированность всей конфигурации модели. Например, высокий геотермальный ресурсный потенциал при недостаточной финансовой устойчивости или слабой институциональной среде не обеспечивает автоматического перехода к масштабному освоению ресурсов. Аналогично наличие финансирования не компенсирует дефицит геологических данных, кадров или инфраструктуры.

Таким образом, рисунок 1 позволяет перейти от традиционной оценки геотермальной энергетики преимущественно через ресурсные и производственные показатели к системной оценке зрелости отрасли. Предложенная модель может использоваться как диагностический инструмент для определения наиболее проблемных зон, ранжирования направлений государственной и инвестиционной поддержки, а также формирования дорожной карты перехода от текущего состояния к целевому уровню развития геотермальной энергетики.

Для последующего анализа особый интерес представляет не только абсолютная оценка каждого измерения, но и величина разрыва между текущим и целевым профилями. Именно поэтому на следующем этапе исследования целесообразно количественно определить

значения по каждому из шести направлений, рассчитать интегральный индекс зрелости и установить приоритетность факторов, требующих первоочередного воздействия.

Количественная оценка зрелости геотермального развития Кении.

Представленная на рисунке 1 многомерная модель позволяет перейти от концептуального описания факторов развития геотермальной энергетики к их количественной оценке. Для этого каждому из шести измерений присваивается значение по шкале от 0 до 5 баллов, где 0 характеризует начальное отсутствие соответствующих условий, а 5 — лидерский уровень зрелости. В качестве следующего этапа исследования проведено сопоставление текущего состояния геотермального сектора Кении с целевым профилем. При этом целевой уровень рассматривается не как прогноз конкретного года, а как нормативный ориентир опережающего развития, достижение которого обеспечивает сбалансированность всей системы.

Таблица 1— Оценка текущего и целевого уровней зрелости геотермальной энергетики Кении

№	Измерение зрелости	Текущий уровень, балл	Целевой уровень, балл	Разрыв зрелости Δ	Степень достижения цели, %
1	Ресурсная и геологическая база	3,2	5,0	1,8	64,0
2	Нормативно-правовая и институциональная среда	3,3	4,5	1,2	73,3
3	Финансово-экономическая устойчивость	3,0	4,5	1,5	66,7
4	Инфраструктурная и технологическая готовность	3,1	4,5	1,4	68,9
5	Экологическая и социальная устойчивость	3,2	4,5	1,3	71,1
6	Человеческий капитал и локальный потенциал	3,0	4,5	1,5	66,7
Итого / среднее значение		3,13	4,58	1,45	68,4

Как следует из таблицы 1, профиль геотермальной энергетики Кении является достаточно развитым, однако еще не достигает целевого уровня по всем рассматриваемым направлениям. Средняя текущая оценка составляет 3,13 балла из 5 возможных, тогда как целевой профиль соответствует 4,58 балла.

Для обобщения полученных результатов предлагается использовать интегральный индекс зрелости геотермального развития (ИЗГР):

$$\text{ИЗГР} = (X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6) / (6 \times 5),$$

где: X_1 — ресурсная и геологическая база; X_2 — нормативно-правовая и институциональная среда; X_3 — финансово-экономическая устойчивость; X_4 — инфраструктурная и технологическая готовность; X_5 — экологическая и социальная устойчивость; X_6 — человеческий капитал и локальный потенциал; 5 — максимально возможная оценка одного измерения.

Подставим полученные значения: $\text{ИЗГР} = (3,2 + 3,3 + 3,0 + 3,1 + 3,2 + 3,0) / (6 \times 5)$. Суммарная оценка составляет: $3,2 + 3,3 + 3,0 + 3,1 + 3,2 + 3,0 = 18,8$ балла. Следовательно: $\text{ИЗГР} = 18,8 / 30 = 0,627$. Или в процентном выражении: $\text{ИЗГР} = 62,7\%$. Полученное значение означает, что совокупный уровень зрелости геотермального развития Кении составляет

приблизительно 62,7 % от теоретически максимально возможного уровня. Для целевого профиля аналогичный расчет имеет вид:

$$\text{ИЗГР}_{\text{цел}} = (5,0 + 4,5 + 4,5 + 4,5 + 4,5 + 4,5) / 30 = 27,5 / 30 = 0,917$$
, или: $\text{ИЗГР}_{\text{цел}} = 91,7$ %. Таким образом, интегральный разрыв между текущим и целевым состоянием составляет: $\Delta \text{ИЗГР} = 0,917 - 0,627 = 0,290$, то есть 29,0 процентного пункта. Данный результат имеет принципиальное значение для интерпретации модели. Кения уже располагает сформированной основой геотермального развития, однако дальнейшее продвижение требует не столько изолированного наращивания отдельных показателей, сколько устранения дисбалансов между шестью компонентами системы.

Наибольший абсолютный разрыв выявлен по ресурсной и геологической базе — 1,8 балла. На первый взгляд этот результат может показаться парадоксальным для страны, обладающей значительным опытом геотермальной генерации. Однако речь идет не о недостатке самого природного ресурса, а о необходимости дальнейшего расширения разведки, повышения полноты и качества геологических данных и освоения новых перспективных территорий. Именно недостаточная полнота и согласованность геотермальных данных также отмечается в стратегических документах Кении.

Вторую группу приоритетов формируют финансово-экономическая устойчивость и человеческий капитал и локальный потенциал, для которых разрыв составляет по 1,5 балла. Высокая капиталоемкость разведки и бурения остается одним из существенных ограничений геотермальных проектов, тогда как развитие национальных компетенций, локального содержания, исследований и подготовки кадров непосредственно включено в стратегические направления дальнейшего развития сектора.

Относительно более высокий уровень демонстрирует нормативно-правовая и институциональная среда — 3,3 балла. Это объясняется наличием в Кении сформированной системы лицензирования и регулирования геотермальных ресурсов. В частности, Energy Act устанавливает порядок предоставления лицензий на геотермальные ресурсы и регулирует распределение соответствующих платежей и роялти.

При этом полученный интегральный показатель не следует трактовать как официальный национальный рейтинг. ИЗГР является авторским аналитическим индексом, разработанным в рамках настоящего исследования для сопоставления разнородных факторов в единой системе координат. Его основная научная функция состоит не столько в фиксации одного итогового числа, сколько в выявлении структурных разрывов и определении направлений, способных обеспечить наибольший эффект при переходе к следующему уровню зрелости.

Проведенный расчет позволяет сделать более широкий вывод: дальнейшее развитие геотермальной энергетики Кении определяется уже не только вопросом «каким объемом геотермальных ресурсов располагает страна?», но и вопросом «насколько эффективно национальная экономическая и институциональная система способна преобразовать этот ресурс в устойчивую энергетическую, инвестиционную и социальную ценность?» Именно в этом заключается основное содержание предложенной многомерной модели.

Если традиционный ресурсный подход концентрируется преимущественно на геологических характеристиках и потенциальной мощности, то разработанный подход переносит акцент на системную готовность страны к масштабированию геотермальной энергетики. Поэтому высокий природный потенциал рассматривается как необходимое, но уже недостаточное условие развития.

Расчет ИЗГР показывает, что Кения находится в зоне сформированной, но еще не полностью сбалансированной зрелости. Значение 0,627 свидетельствует о наличии значительного накопленного потенциала, тогда как разрыв в 29,0 процентного пункта до целевого профиля определяет пространство для дальнейших институциональных, финансовых, технологических и кадровых преобразований.

Следовательно, стратегический приоритет должен состоять не просто в увеличении установленной геотермальной мощности. Более значимой задачей становится сокращение

разрыва зрелости между ресурсным потенциалом и способностью экономики эффективно его осваивать.

В практическом отношении это предполагает одновременное продвижение по нескольким направлениям: расширение и цифровизацию геологоразведочной базы; снижение инвестиционных рисков ранних стадий проектов; развитие механизмов государственно-частного партнерства и смешанного финансирования; укрепление инфраструктуры; развитие национальных инженерных и исследовательских компетенций; повышение локализации цепочек создания стоимости; а также сохранение экологической и социальной устойчивости проектов.

Такое понимание согласуется с современным направлением развития геотермального сектора Кении, где наряду с увеличением мощности особое значение придается финансированию, институциональному развитию, инфраструктуре, локальным компетенциям и привлечению заинтересованных сторон.

Таким образом, проведенное исследование последовательно прошло путь от анализа ресурсного и экономического потенциала геотермальной энергетики — к выявлению факторов ее развития, построению многомерной модели зрелости и количественной оценке текущего и целевого состояний. Предложенный интегральный индекс позволил объединить шесть разнородных направлений в единую аналитическую конструкцию и показать, что перспективы геотермальной энергетики Кении определяются не отдельным преимуществом, а качеством взаимодействия ресурсных, институциональных, финансовых, технологических, экологических и кадровых факторов. Тем самым результаты исследования создают основу для перехода от вопроса о наличии геотермального потенциала к вопросу об эффективности его преобразования в долгосрочный фактор зеленого экономического развития страны.

Проведенное исследование показало, что геотермальная энергетика Кении выходит за рамки отдельного сегмента возобновляемой энергетики и постепенно приобретает значение стратегического фактора энергетической устойчивости, зеленой индустриализации и долгосрочного экономического развития страны. Кения уже занимает лидирующие позиции в Африке по развитию геотермальной генерации: в 2026 г. страна достигла рубежа около 1000 МВт геотермальных мощностей, при этом официальный ресурсный потенциал оценивается до 10 000 МВт более чем в 20 перспективных районах.

По результатам исследования сформулированы следующие основные научные выводы.

1. Установлено, что геотермальная энергетика выполняет для Кении функцию системообразующего элемента зеленой энергетической трансформации. Ее значение определяется не только объемом производства электроэнергии, но и способностью обеспечивать относительно стабильную базовую генерацию, менее зависимую от климатической изменчивости. В 2023/2024 финансовом году на геотермальные источники приходилось 44,55 % общей выработки электроэнергии страны, что подтверждает их особое положение в национальном энергобалансе.

2. Доказано, что наличие значительного природно-ресурсного потенциала является необходимым, но недостаточным условием масштабирования геотермальной энергетики. Предельные возможности дальнейшего развития определяются способностью государства и бизнеса трансформировать природный ресурс в экономически эффективные энергетические проекты. Поэтому предложено рассматривать геотермальный потенциал через совокупность ресурсных, институциональных, финансовых, инфраструктурно-технологических, экологических и кадровых факторов. Такой подход переводит исследование от традиционной оценки запасов к оценке системной готовности страны к их экономическому освоению.

3. Разработана авторская многомерная модель оценки зрелости геотермального развития, включающая шесть взаимосвязанных измерений: ресурсную и геологическую базу; нормативно-правовую и институциональную среду; финансово-экономическую устойчивость; инфраструктурную и технологическую готовность; экологическую и социальную устойчивость; человеческий капитал и локальный потенциал. Научная ценность

модели состоит в возможности одновременно оценивать текущее состояние системы, задавать целевой профиль и количественно определять разрывы между ними. Выбранные направления согласуются с актуальными приоритетами проекта Национальной геотермальной стратегии Кении 2026–2036, в которой особое внимание уделено финансированию, инфраструктуре, институциональному развитию, локальному содержанию, исследованиям и формированию профессиональных компетенций.

4. Предложен авторский интегральный индекс зрелости геотермального развития (ИЗГР), позволяющий преобразовать многокритериальную характеристику сектора в единый количественный показатель. Расчет по разработанной методике показал значение ИЗГР = 0,627, или 62,7 % от максимально возможного уровня, тогда как целевой профиль соответствует 0,917, или 91,7 %. Интегральный разрыв составляет 0,290, или 29,0 процентного пункта. Полученный результат позволяет характеризовать современное состояние геотермальной энергетики Кении как сформированную, но структурно не полностью сбалансированную систему, обладающую существенным потенциалом перехода на более высокий уровень зрелости.

5. Выявлено, что основным резервом дальнейшего развития является сокращение не ресурсного, а системного разрыва зрелости. Наибольший разрыв в предложенной модели приходится на ресурсно-геологическую базу — 1,8 балла, что связано прежде всего с необходимостью расширения разведки, картирования, повышения качества данных и освоения новых перспективных зон. Существенные резервы выявлены также в финансово-экономической сфере и развитии человеческого капитала — по 1,5 балла. Следовательно, дальнейшее увеличение геотермальной генерации должно сопровождаться развитием механизмов снижения инвестиционных рисков, совершенствованием геоинформационной базы, подготовкой национальных специалистов и укреплением исследовательских компетенций. Необходимость обновления карт ресурсов, развития геопортала и регионального центра компетенций уже отражена в деятельности энергетических органов Кении.

6. Обосновано, что следующий этап развития геотермальной энергетики должен быть связан с переходом от модели «геотермальная энергия — производство электроэнергии» к более широкой модели «геотермальные ресурсы — зеленая индустриализация — региональное развитие». Экономический эффект может формироваться не только посредством генерации электроэнергии, но и через прямое использование геотермального тепла, развитие промышленности вблизи ресурсных зон, создание локальных цепочек поставок, новых рабочих мест, научно-инженерных компетенций и технологических сервисов. Проект национальной стратегии, в частности, предусматривает развитие специальных экономических зон вблизи геотермальных ресурсов и усиление локального содержания геотермальных проектов.

7. Установлено, что человеческий капитал должен рассматриваться как самостоятельный фактор конкурентоспособности геотермального сектора. Долгосрочное лидерство Кении невозможно обеспечить исключительно импортом технологий и оборудования. Необходим переход к формированию собственной экосистемы компетенций, объединяющей университеты, исследовательские центры, энергетические компании, государственные институты и частный бизнес. В перспективе это создает возможность превращения Кении из преимущественно производителя геотермальной электроэнергии в региональный центр геотермальных знаний, технологий, подготовки кадров и инженерного консалтинга для стран Африки. Такая задача непосредственно закрепляется среди направлений проекта Национальной геотермальной стратегии.

8. Определено, что инвестиционная политика должна смещаться от финансирования отдельных генерирующих объектов к формированию целостной геотермальной инвестиционной экосистемы. Ее элементами должны стать государственно-частное партнерство, механизмы распределения рисков геологоразведки и бурения, смешанное

финансирование, гарантии, участие международных институтов развития и частных инвесторов. Это особенно существенно на ранних стадиях проектов, когда геологическая неопределенность увеличивает стоимость капитала и сдерживает частные инвестиции.

9. Обоснована необходимость сбалансированного развития всех шести измерений зрелости. Максимизация одного параметра не обеспечивает устойчивости всей системы: наличие значительных ресурсов без финансирования не приводит к их освоению; инвестиции без достоверной геологической информации повышают риски; инфраструктура без квалифицированного персонала ограничивает эксплуатационную эффективность; а рост мощности без экологической и социальной приемлемости способен сформировать новые ограничения. Следовательно, стратегической целью должно выступать не максимальное значение отдельного показателя, а сбалансированная конфигурация геотермальной зрелости.

10. На основании проведенного исследования сформулирован итоговый научный тезис: конкурентное преимущество Кении в геотермальной энергетике определяется не только масштабом располагаемого природного ресурса, а способностью национальной системы преобразовать геотермальный потенциал в устойчивую экономическую ценность. Именно скорость сокращения выявленного разрыва зрелости может стать одним из критериев результативности государственной энергетической политики и инвестиционной стратегии.

Таким образом, предложенные многомерная модель оценки зрелости и интегральный индекс ИЗГР расширяют методический инструментарий исследования геотермальной энергетики. Их применение позволяет перейти от констатации ресурсного потенциала к количественной диагностике системной готовности, выявлению «узких мест», определению приоритетов инвестирования и мониторингу движения от текущего к целевому состоянию.

Практическое значение полученных результатов состоит в возможности использования разработанного инструментария при формировании национальных и региональных программ развития геотермальной энергетики, обосновании инвестиционных решений и разработке дорожных карт зеленой энергетической трансформации.

В более широком контексте опыт Кении показывает, что геотермальная энергетика способна стать не только источником низкоуглеродной электроэнергии, но и платформой зеленой индустриализации, объединяющей энергетику, инвестиции, технологии, образование, научные исследования и региональное развитие.

Следовательно, стратегическая задача следующего этапа заключается уже не просто в том, чтобы производить больше геотермальной энергии, а в том, чтобы превратить геотермальный ресурс в устойчивый источник национальной конкурентоспособности и долгосрочного зеленого экономического роста Кении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Energy and Petroleum Regulatory Authority (EPRA). (2026). Biannual Energy & Petroleum Statistics Report, Financial Year 2025/2026. Nairobi: EPRA.
2. Geothermal Development Company (GDC). (2025). GDC 2025 Booklet. Nairobi: GDC.
3. Geothermal Development Company (GDC). Baringo–Silali Geothermal Project. Nairobi: GDC.
4. Geothermal Development Company (GDC). Menengai Geothermal Project. Nairobi: GDC.
5. Geothermal Development Company (GDC). Direct Use. Nairobi: GDC.
6. Geothermal Development Company (GDC). FAQs: Geothermal Development in Kenya. Nairobi: GDC.
7. Kenya Electricity Generating Company PLC (KenGen). Geothermal Power Generation. Nairobi: KenGen.
8. Greiner, C., et al. (2025). Kenya: The Most Successful Geothermal Development in Africa. In: Geothermal Power Generation, Second Edition. Woodhead Publishing.
9. Owuor, S., Wamukota, C., Klagge, B., & Greiner, C. (2025). Unintended socio-economic transformations associated with large-scale renewable energy projects: the case of Menengai Geothermal Project in Kenya. Review of Regional Research.
10. The political ecology of geothermal development: Green sacrifice zones or energy landscapes of value? (2023). Energy Research & Social Science, 99, 103063.
11. Ng'ethe, J., & Jalilinasrabad, S. (2023). GIS-based multi-criteria decision making under Silica Saturation Index (SSI) for selecting the best direct use scenarios for geothermal resources in Central and Southern Rift Valley, Kenya. Geothermics.
12. Geothermie-Großprojekte im ländlich-peripheren Kenia: Chancen und Herausforderungen zwischen Stromerzeugung für den nationalen Markt und regionaler Entwicklung durch direct use. (2022). Standort.
13. Ricker, F. N. (2022). Geothermal Development in Kenya: Gender Based Socio-Cultural and Socio-Economic Implications. PhD Dissertation, University of South Florida.
14. Oduor, S., & Kiptanui, S. Baringo–Silali Geothermal Resources Development Project, Kenya: Social-Economic and Employment Impacts. Geothermal Development Company.

СОДЕРЖАНИЕ CONTENT

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ ECONOMICAL SCIENCES

ГЕЛЬМАНОВА ЗОЯ САЛИХОВНА, САУЛЬСКИЙ ЮРИЙ НИКОЛАЕВИЧ, FAYEZ WAZANI ABDUL WALID, THUKU HARRISON [ТЕМИРТАУ, КАЗАХСТАН] ПОРОГ КАДРОВОЙ ГОТОВНОСТИ: ИНЖЕНЕРНАЯ МОДЕЛЬ СИНХРОНИЗАЦИИ ДОПУСКА РАБОТНИКА К ТРУДУ.....3

ГЕЛЬМАНОВА ЗОЯ САЛИХОВНА, САУЛЬСКИЙ ЮРИЙ НИКОЛАЕВИЧ, FAYEZ WAZANI ABDUL WALID, THUKU HARRISON [ТЕМИРТАУ, КАЗАХСТАН] КВАЛИФИКАЦИОННОЕ ВЫВЕТРИВАНИЕ: ИНЖЕНЕРНАЯ МОДЕЛЬ СОХРАНЕНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ГОТОВНОСТИ РАБОТНИКА.....15

ГЕЛЬМАНОВА ЗОЯ САЛИХОВНА, САУЛЬСКИЙ ЮРИЙ НИКОЛАЕВИЧ, САУЛЬСКАЯ ОЛЬГА АНАТОЛЬЕВНА, FAYEZ WAZANI ABDUL WALID, THUKU HARRISON [ТЕМИРТАУ, КАЗАХСТАН] КАРТА ОШИБОК ОБУЧАЮЩЕГОСЯ КАК ДИНАМИЧЕСКИЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ ПРОФИЛЬ: МОДЕЛЬ ДИАГНОСТИКИ И ИНДИВИДУАЛИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ТРАЕКТОРИИ.....27

ГЕЛЬМАНОВА ЗОЯ САЛИХОВНА, САУЛЬСКИЙ ЮРИЙ НИКОЛАЕВИЧ, САУЛЬСКАЯ ОЛЬГА АНАТОЛЬЕВНА, FAYEZ WAZANI ABDUL WALID, THUKU HARRISON [ТЕМИРТАУ, КАЗАХСТАН] ИНЖЕНЕРИЯ ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ ОПОРЫ: МОДЕЛЬ УПРАВЛЯЕМОГО СНЯТИЯ ПОМОЩИ И ПЕРЕДАЧИ УЧЕБНОГО ДЕЙСТВИЯ ОБУЧАЮЩЕМУСЯ.....35

ГЕЛЬМАНОВА ЗОЯ САЛИХОВНА, САУЛЬСКИЙ ЮРИЙ НИКОЛАЕВИЧ, САУЛЬСКАЯ ОЛЬГА АНАТОЛЬЕВНА, FAYEZ WAZANI ABDUL WALID, THUKU HARRISON [ТЕМИРТАУ, КАЗАХСТАН] ИНЖЕНЕРИЯ КОГНИТИВНОГО АВТОРСТВА В ОБРАЗОВАНИИ: МОДЕЛЬ СОХРАНЕНИЯ ЭПИСТЕМИЧЕСКОЙ АВТОНОМИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ ПРИ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЕ С ИСКУССТВЕННЫМ ИНТЕЛЛЕКТОМ.....44

ГЕЛЬМАНОВА ЗОЯ САЛИХОВНА, САУЛЬСКИЙ ЮРИЙ НИКОЛАЕВИЧ, САУЛЬСКАЯ ОЛЬГА АНАТОЛЬЕВНА, FAYEZ WAZANI ABDUL WALID, THUKU HARRISON [ТЕМИРТАУ, КАЗАХСТАН] СОХРАНЕНИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА.....54

ГЕЛЬМАНОВА ЗОЯ САЛИХОВНА, САУЛЬСКИЙ ЮРИЙ НИКОЛАЕВИЧ, САУЛЬСКАЯ ОЛЬГА АНАТОЛЬЕВНА, FAYEZ WAZANI ABDUL WALID, THUKU HARRISON [ТЕМИРТАУ, КАЗАХСТАН] ИНЖЕНЕРИЯ ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ: МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ КАЛИБРОВАННОГО ДОВЕРИЯ К ИСКУССТВЕННОМУ ИНТЕЛЛЕКТУ В УСЛОВИЯХ КОНКУРИРУЮЩИХ МАШИННЫХ РЕШЕНИЙ.....65

GELMANOVA ZOYA SALIKHOVNA, FAYEZ WAZANI ABDUL WALID, THUKU HARRISON [TEMIRTAU, KAZAKHSTAN] INCLUSIVE ECONOMIC GROWTH: NEW OPPORTUNITIES FOR KENYA'S DEVELOPMENT.....74

GELMANOVA ZOYA SALIKHOVNA, FAYEZ WAZANI ABDUL WALID, THUKU HARRISON [TEMIRTAU, KAZAKHSTAN] GEOTHERMAL ENERGY AT THE CORE OF KENYA'S GREEN TRANSFORMATION: AN INTEGRATED MODEL FOR RENEWABLE ENERGY AND A LOW-CARBON ECONOMY.....80

ГЕЛЬМАНОВА ЗОЯ САЛИХОВНА, FAYEZ WAZANI ABDUL WALID, ИВАЩЕНКО ЛАРИСА АЛЕКСАНДРОВНА, THUKU HARRISON [ТЕМИРТАУ, КАЗАХСТАН] ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТАНА 1700 ЛПЦ-1 АО «QARMET»



НА ОСНОВЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КООРДИНАЦИИ РЕМОНТОВ И СНИЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОСТОЕВ.....	86
---	----

ГЕЛЬМАНОВА ЗОЯ САЛИХОВНА, FAYEZ WAZANI ABDUL WALID, ИВАЩЕНКО ЛАРИСА АЛЕКСАНДРОВНА, THUKU HARRISON [ТЕМИРТАУ, КАЗАХСТАН] ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛПЦ-1 АО «QARMET» НА ОСНОВЕ ПРИОРИТИЗАЦИИ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ И ОЦЕНКИ ПРЕДОТВРАЩЕННОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО УЩЕРБА.....	102
---	------------

СОЛНЦЕВ ПАВЕЛ ВЛАДИМИРОВИЧ, Г.И. ЯКОВЛЕВ [САМАРА, РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ] КОРПОРАТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ЖЁСТКОЙ ДЕНЕЖНО-КРЕДИТНОЙ ПОЛИТИКИ США 1980-Х.....	127
--	------------

ГЕЛЬМАНОВА ЗОЯ САЛИХОВНА, FAYEZ WAZANI ABDUL WALID, THUKU HARRISON [ТЕМИРТАУ, КАЗАХСТАН] МНОГОМЕРНАЯ МОДЕЛЬ ЗРЕЛОСТИ ГЕОТЕРМАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ OLKARIA, MENENGAI И BARINGO–SILALI В КЕНИИ.....	132
---	------------



"IN THE WORLD OF SCIENCE AND EDUCATION"

Контакт

els.education23@mail.ru

Наш сайт

irc-els.com