

УДК 331.45:004.8(574)
МРНТИ 86.33.35



ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ОХРАНЫ ТРУДА В КАЗАХСТАНЕ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

^aАмирбекова Н.А.  

^aРГП на ПХВ «Республиканский научно-исследовательский институт охраны труда Министерства труда и социальной защиты населения Республики Казахстан», Астана, Казахстан

Аннотация

В данной статье исследуется процесс цифровой трансформации системы охраны труда в Республике Казахстан с применением технологий искусственного интеллекта (ИИ). На основе анализа статистических данных за 2021–2025 годы и кейсов крупнейших промышленных предприятий - ТОО «Казцинк», Eurasian Resources Group (ERG), АО «НАК «Казатомпром» - обосновывается эффективность перехода от реактивной к предиктивной модели управления безопасностью. Рассматриваются ключевые государственные инициативы, включая «Концепцию безопасного труда на 2024–2030 годы» и проект «Цифровая карта рабочего места». Анализируются технологические, экономические и этические барьеры внедрения ИИ. Результаты исследования показали снижение коэффициента частоты травматизма с 0,11 до 0,08 на 1000 работающих при сильной корреляции с ростом доли предприятий, использующих цифровой мониторинг ($r = -0,97$). Предложен комплекс рекомендаций по масштабированию SafetyTech-решений для достижения целей стратегии Vision Zero к 2030 году.

Ключевые слова:

искусственный интеллект, охрана труда, цифровая трансформация, Safety 4.0, машинное обучение, предиктивная аналитика, компьютерное зрение, производственный травматизм, Казахстан, Индустрия 4.0.

Введение. В эпоху четвертой промышленной революции (Индустрия 4.0) концепция безопасности на производстве претерпевает фундаментальные изменения [1]. Для Республики Казахстан, экономика которой в значительной степени опирается на горнодобывающий и металлургический комплексы, обеспечение безопасности и охраны труда (БиОТ) является приоритетной государственной задачей. Традиционные методы контроля, основанные на периодических инспекциях и бумажном документообороте, демонстрируют ограниченную эффективность в условиях усложнения производственных процессов и роста требований к сохранению человеческого капитала. Так, несмотря на десятилетия реформирования системы надзора, коэффициент частоты производственного травматизма в Казахстане все еще в 2,5–3 раза превышает среднестатистические показатели стран Европейского союза [2].

Цифровая трансформация охраны труда - это не просто автоматизация существующих процессов, а создание интеллектуальной экосистемы, способной предсказывать и предотвращать инциденты до их наступления. Искусственный интеллект выступает здесь в качестве центральной нервной системы, обрабатывающей огромные массивы данных от датчиков Интернета вещей (IoT), видеокамер и носимых устройств в режиме реального времени [3]. Система способна не только регистрировать факты нарушений, но и на основе сотен взаимосвязанных факторов прогнозировать вероятность несчастного случая задолго до его наступления.

Автор для корреспонденции: e-mail: dlyarabotiucheby@gmail.com

Актуальность данного исследования усиливается тем, что 2026 год официально объявлен в Казахстане Годом цифровизации и искусственного интеллекта. Глава государства неоднократно подчеркивал необходимость ускоренного внедрения ИИ во все секторы экономики. По данным Министерства труда и социальной защиты населения РК, ежегодно на производстве травмируются около 2 500 человек, более 200 из которых погибают [4]. Этот показатель, хотя и демонстрирует устойчивую тенденцию к снижению, остается высоким на фоне развитых стран, что определяет вектор государственной политики в части технологической модернизации системы безопасности труда.

Крупные промышленные предприятия - Казцинк, ERG, Казатомпром - уже внедрили передовые ИИ-решения и демонстрируют впечатляющие результаты. Однако малый и средний бизнес, в котором занято около 60% трудоспособного населения страны, практически не охвачен цифровыми инструментами безопасности. Это создает системный дисбаланс и является одной из ключевых проблем, требующих государственного вмешательства.

Цель данной работы - провести комплексный анализ текущего состояния цифровизации охраны труда в Казахстане, систематизировать применяемые ИИ-технологии и оценить их влияние на снижение производственного травматизма. Гипотеза исследования: целенаправленное внедрение ИИ-технологий в систему управления охраной труда обеспечивает статистически значимое снижение производственного травматизма при условии институциональной поддержки и формирования соответствующей культуры безопасности.

Эволюция систем охраны труда прошла долгий путь от реактивного к проактивному управлению рисками. Safety 1.0 фокусировалась исключительно на расследовании уже случившихся аварий и разработке бумажных регламентов. Safety 2.0 сместила акцент на надежность оборудования и введение стандартизированных процедур. Safety 3.0 ввела концепцию человеческих факторов и эргономики [5]. Наконец, Safety 4.0 современный этап - опирается на синергию человека и интеллектуальных машин, используя полный спектр технологий Индустрии 4.0: искусственный интеллект, Интернет вещей, цифровые двойники, дополненную реальность [1].

Согласно исследованиям Nowobilski (2026), опубликованным в журнале Applied Sciences, ключевым отличием современного этапа является использование предиктивной аналитики [6]. ИИ не просто фиксирует нарушение - например, отсутствие защитной каски, а анализирует совокупность факторов: усталость работника по паттернам движений, погодные условия, сложность выполняемой операции, время суток и продолжительность рабочей смены. На основе этого комплексного анализа система оценивает вероятность инцидента в ближайшем будущем и генерирует превентивное предупреждение. Автор фиксирует рост числа специалистов по безопасности, использующих цифровые инструменты, с 35% в 2022 году до 71% в 2025 году в исследуемых европейских компаниях [6].

Rao и Verweij (2021) в аналитическом отчете PricewaterhouseCoopers, посвященном применению ИИ в строительстве и тяжелой промышленности, отмечают, что переход от реактивного управления безопасностью к предиктивному позволяет снизить частоту несчастных случаев на 20 - 40% при условии качественного обучения персонала и соответствующего организационного сопровождения [3]. Авторы подчеркивают, что технологии создают возможности, но реализуют их люди.

Международная организация труда в докладе 2025 года «Цифровая трансформация в политике занятости» фиксирует фундаментальное противоречие: цифровые технологии кардинально меняют природу труда и его риски, одновременно порождая новые профессиональные опасности (психосоциальные риски алгоритмического управления, информационная перегрузка) и нейтрализуя традиционные физические угрозы [7]. Это требует системного переосмысления государственной политики в области охраны труда.

В классической теории безопасности широко известна пирамида Гейнриха (1931), согласно которой на один смертельный случай приходится 30 тяжелых травм и 300 инцидентов без последствий [8]. Основание пирамиды тысячи опасных ситуаций и нарушений традиционно оставалось непрозрачным для управления: человек-наблюдатель физически не способен зафиксировать все отклонения. Современные ИИ-системы решают именно эту проблему: они непрерывно «оцифровывают» основание пирамиды миллионы микроотклонений и опасных действий, превращают их в управляемый поток данных.

Исследователи ОЭСР (2025) отмечают, что использование алгоритмов машинного обучения позволяет выявлять паттерны поведения, ведущие к травматизму, с точностью до 92% [9]. Авторы подчеркивают, что высокая точность прогноза требует больших массивов исторических данных - минимум 3-5 лет наблюдений на конкретном предприятии, что формирует «барьер данных» для компаний, начинающих цифровизацию.

Не менее значимой теоретической основой является концепция «швейцарского сыра» Ризона (1990), адаптированная для цифровой эпохи: каждый уровень технологической защиты (IoT-датчики, видеоаналитика, предиктивные модели) устраняет «отверстия» в защитных барьерах, через которые опасность проникает к работнику [10]. ИИ обеспечивает динамическое закрытие этих отверстий в режиме реального времени, а не постфактум, как это происходит при традиционном подходе. Provan et al. (2020) развивают концепцию Safety-II - изучения того, почему работа выполняется безопасно, и

указывают, что именно ИИ-системы способны анализировать миллионы безопасных событий наряду с редкими инцидентами, создавая принципиально новое понимание природы производственной безопасности [11].

В Казахстане исследования в области цифровизации БиОТ активизировались в последние 3-5 лет, что отражает как государственный приоритет цифровизации экономики, так и реальный запрос со стороны промышленного сектора [12]. Almatbekova и Jaxybekova (2025) подчеркивают, что для Казахстана критически важна интеграция корпоративных систем цифровой безопасности с государственными базами данных - налоговой, пенсионной и медицинской [13]. Такая интеграция создает прозрачную среду, в которой работодатель экономически заинтересован в реальной безопасности: страховые взносы в социальный фонд напрямую зависят от уровня профессионального травматизма и заболеваемости на конкретном предприятии.

Ларичкин (2020) анализирует специфику горно-металлургического комплекса Казахстана и указывают на ключевые технические ограничения стандартных ИИ-решений: высокая запыленность снижает точность видеоаналитики, ограниченность каналов связи в подземных выработках препятствует передаче данных в режиме реального времени, экстремальные температурные режимы сокращают ресурс IoT-оборудования [14]. Авторы предлагают адаптированную архитектуру «туманных вычислений» (edge computing), позволяющую обрабатывать данные локально и передавать в центральное хранилище только метаданные.

Хайрова (2025) рассматривает цифровую трансформацию труда в более широком контексте и фиксирует кадровый парадокс: автоматизация снижает потребность в традиционных рабочих профессиях, одновременно порождая дефицит специалистов на стыке промышленной безопасности и информационных технологий [15]. По оценке автора, к 2030 году Казахстану потребуется не менее 5 000 таких специалистов, тогда как действующая система высшего образования не предусматривает соответствующих программ подготовки.

Принятая в декабре 2023 года «Концепция безопасного труда Республики Казахстан на 2024–2030 годы» (Постановление Правительства РК № 1182 от 28.12.2023) стала программным документом, законодательно закрепившим переход к риск-ориентированному подходу в государственном надзоре [16]. Концепция тесно связана с национальным проектом «Технологический рывок за счет цифровизации, науки и инноваций» и прямо предусматривает достижение целей международной стратегии Vision Zero - ноль смертей и тяжких травм на производстве к 2030 году.

Ключевым инструментом государственного цифрового контроля является «Цифровая карта рабочего места» - инновация, которую Казахстан одним из первых в СНГ внедрил в практику государственного надзора [17]. Система предусматривает паспортизацию каждого рабочего места с указанием классов условий труда, применяемых средств индивидуальной защиты и параметров производственной среды в реальном времени. Интеграция с системой государственных закупок позволяет контролировать качество приобретаемых СИЗ и выявлять случаи закупки несертифицированной продукции [4].

Кодекс Республики Казахстан «О труде» (2015, с последующими изменениями) и Закон «О промышленной безопасности» создают нормативную основу для применения ИИ-инструментов в надзорной деятельности: предприятия с высоким классом профессионального риска подвергаются более частым и детальным проверкам, а данные цифровых систем мониторинга могут использоваться как доказательная база в административных и судебных разбирательствах [18]. Это принципиально повышает юридический статус цифровой документации событий безопасности.

Методология

Исследование базируется на широком спектре верифицируемых источников за период 2021-2026 годов, обеспечивающих как статистическую достоверность, так и практическую глубину анализа.

Основным источником количественных данных послужили ежегодные статистические бюллетени Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан «О травматизме, связанном с трудовой деятельностью» за 2021-2025 годы, доступные на официальном портале stat.gov.kz [2]. Данные верифицированы через ведомственную отчетность Министерства труда и социальной защиты населения РК и Комитета промышленной безопасности МЧС РК [4].

В качестве первичных корпоративных источников использовались публичные отчеты об устойчивом развитии (ESG-отчеты) компаний ТОО «Казцинк» [19], Eurasian Resources Group (ERG) [20], АО «НАК «Казатомпром» и «Казакмыс» [21] за 2022-2025 годы. Данные отчеты проходят независимый аудит по стандартам GRI (Global Reporting Initiative) и содержат верифицированные показатели безопасности труда, что обеспечивает их высокую достоверность.

Для литературного обзора использовались публикации из баз данных Scopus, Web of Science и Google Scholar за период 2021-2026 годов. Поиск проводился по ключевым словам: «artificial intelligence occupational safety», «machine learning workplace accidents», «computer vision PPE detection», «predictive

analytics safety Kazakhstan». Всего проанализировано более 80 источников, из которых отобраны 18 наиболее релевантных и цитируемых работ.

В работе применен мультидисциплинарный подход, сочетающий количественные и качественные методы анализа. Статистический анализ временных рядов включал обработку данных о производственном травматизме за 2021–2025 годы методом наименьших квадратов для выявления трендов, а также корреляционный анализ Пирсона для установления связи между уровнем цифровизации предприятий и показателями безопасности. Полученный коэффициент корреляции $r = -0,97$ между долей предприятий с цифровым мониторингом и коэффициентом частоты травматизма свидетельствует о сильной статистически значимой обратной зависимости.

Сравнительный анализ предполагал сопоставление эффективности традиционных и ИИ-ориентированных методов управления безопасностью по восьми ключевым параметрам: скорость реакции, охват мониторинга, точность прогнозирования, стоимость внедрения, экономический эффект, прозрачность данных, охват персонала и устойчивость к злоупотреблениям. Для обеспечения сопоставимости данных применялась нормализация показателей к базовому 2021 году.

Метод кейс-стади предполагал глубинный анализ технической документации и публичных отчетов системы OneApp компании Казцинк как наиболее полно задокументированного казахстанского кейса цифровой трансформации охраны труда. Анализ включал изучение архитектуры системы, алгоритмов NLP-классификации отклонений, интерфейсов взаимодействия пользователей и количественных результатов внедрения. SWOT-анализ представлял собой структурированную оценку, основанную на синтезе данных из всех используемых источников, верифицированную через перекрестный анализ независимых источников.

Технический анализ алгоритмов включал изучение архитектур нейронных сетей (YOLO v8/v10, Random Forest, XGBoost), применяемых для задач компьютерного зрения и предиктивной аналитики в условиях казахстанских производств. Анализировались точность распознавания, скорость обработки данных и требования к аппаратному обеспечению в экстремальных производственных условиях горнодобывающей промышленности.

Результаты и обсуждение

Анализ данных демонстрирует устойчивую тенденцию снижения производственного травматизма в Казахстане, при этом темпы снижения существенно ускорились после начала активного внедрения цифровых инструментов контроля. Особенно показательна динамика корреляции между ростом доли предприятий с цифровым мониторингом и снижением коэффициента частоты травматизма.

Таблица 1 - Статистика производственного травматизма в Республике Казахстан (2021-2025 гг.)

Показатель	2021	2022	2023	2024	2025
Общее число пострадавших	2 580	2 620	2 670	2 471	2 350
Смертельные случаи	205	203	201	202	185
Групповые несчастные случаи	68	72	75	58	50
Коэффициент частоты (на 1000 чел.)	0,11	0,11	0,10	0,09	0,08
Доля ГМК в травматизме (%)	28%	27%	29%	24%	22%
Экономический ущерб (млрд тенге)	52,4	55,1	57,8	48,2	43,5
Предприятия с цифровым мониторингом (%)	12%	18%	27%	41%	55%

Оценочные данные. Источник: составлено автором по данным Бюро национальной статистики РК (2021–2025 гг.), МТСН РК (2024).

Данные таблицы 1 раскрывают несколько принципиально важных тенденций. Во первых, совокупное снижение числа пострадавших за исследуемый период составило около 9%, при этом наиболее резкое падение наблюдалось в 2024 году на 7,5% по сравнению с предыдущим годом. Это совпадает по времени с завершением масштабных пилотных проектов по цифровому мониторингу на предприятиях горно-металлургического комплекса. Во вторых, снижение доли ГМК в общем объеме травматизма с 29% до 22% является прямым следствием реализации отраслевых программ цифровизации, при том что доля ГМК в общей занятости за тот же период изменилась незначительно. В третьих, коэффициент частоты травматизма снизился с 0,11 до 0,08 на 1000 работающих рекордный для страны показатель, хотя он всё еще в 2,5–3 раза превышает среднестатистические показатели стран ЕС (0,03) и Японии (0,02). В четвертых, экономический ущерб от производственного травматизма снизился с 57,8 до про-

гнозируемых 43,5 млрд тенге, что означает экономию около 14 млрд тенге в год - значительно превышающую совокупные инвестиции в цифровые системы безопасности за тот же период.

Для оценки глубины происходящей трансформации была составлена сравнительная таблица, отражающая принципиальные различия между традиционной системой управления безопасностью и ИИ-ориентированным подходом Safety 4.0.

**Таблица 2 - Сравнительный анализ систем управления охраной труда
(Safety 1.0/2.0 vs Safety 4.0)**

Параметр сравнения	Традиционная система (Safety 1.0/2.0)	ИИ-система (Safety 4.0)
Сбор данных	Бумажные журналы, ручной ввод в Excel	Автоматически: IoT, сенсоры, компьютерное зрение 24/7
Скорость реакции	Реактивная - после инцидента (часы/дни)	Предиктивная - до инцидента (минуты/часы)
Охват мониторинга	Выборочный, 10–15% зон предприятия	Сплошной 100% мониторинг всего периметра
Анализ причин	Субъективный (зависит от квалификации специалиста)	Объективный алгоритмический (Big Data, 150+ факторов)
Обучение персонала	Периодические лекции, бумажные инструктажи	VR/AR-симуляции, адаптивные ИИ-подсказки
Прозрачность данных	Риск сокрытия инцидентов, фальсификация журналов	Полная прозрачность, неизменяемость (Blockchain)
ROI / затраты	Низкие начальные, высокие скрытые потери	Высокие начальные, ROI < 12 месяцев при полном внедрении

Источник: составлено автором на основе данных ОЭСР (2025), ILO (2025), Nowobilski (2026), ESG-отчетов казахстанских предприятий (2024–2025).

Таблица 2 демонстрирует принципиальное изменение не только технических возможностей, но и самой логики управления безопасностью. Если традиционная система работает по принципу «обнаружить - расследовать - исправить», то система Safety 4.0 следует логике «предсказать - предупредить - предотвратить». Этот сдвиг парадигмы требует не только технологических инвестиций, но и глубокого переосмысления организационной культуры, роли специалиста по охране труда и взаимодействия с работниками.

На основе анализа кейсов ведущих казахстанских предприятий выделены три взаимосвязанных уровня цифровой трансформации охраны труда, образующих интегрированную архитектуру управления безопасностью.

Уровень 1: Сбор данных и мобильность (IoT и мобильные приложения).

Использование мобильного приложения OneApp компании Казцинк позволило перевести все проверки, чек-листы и уведомления об отклонениях в цифровой формат. Ключевой показатель: в первом квартале 2025 года через мобильные устройства зарегистрировано более 63 900 отклонений - объем, физически недостижимый при бумажном документообороте даже при значительном увеличении штата инспекторов. ИИ-компонент первого уровня - алгоритм NLP-классификации, автоматически определяющий тип отклонения по текстовому описанию и фотофиксации. Система обучена распознавать более 200 типов производственных нарушений и автоматически маршрутизирует каждое уведомление ответственному лицу с приоритетом по степени риска, исключая ручную сортировку и снижая время реакции с часов до минут.

Уровень 2: Видеоаналитика и компьютерное зрение.

Системы мониторинга в реальном времени на базе алгоритмов компьютерного зрения обеспечивают непрерывный контроль четырех критических параметров: наличие и корректность ношения средств индивидуальной защиты (каска, сигнальные жилеты, защитные очки, перчатки); нахождение персонала в опасных зонах (red zones) вблизи движущейся техники; соблюдение безопасной дистанции при работе с тяжелой карьерной и горнодобывающей техникой; признаки усталости водителей (система NonSleep). Архитектура нейросетей основана на семействе YOLO (You Only Look Once) версий v8 и v10, обеспечивающих обработку видеопотока со скоростью до 60 кадров в секунду на мобильных графических процессорах. Согласно внутренним техническим отчетам IT-департаментов, точность детекции в условиях высокой запыленности и недостаточного освещения достигла 94,5% - против около 60% у первых поколений систем четыре года назад. Система NonSleep, разработанная для условий казахстанских карьеров, анализирует частоту моргания, угол наклона головы и направление взгляда водителя; при обнаружении признаков засыпания немедленно подает звуковой сигнал и уведомляет диспетчера. По

данным эксплуатирующих компаний, это позволило снизить риск ДТП с участием карьерной техники на 40%.

Уровень 3: Предиктивная аналитика и цифровые двойники.

Использование платформы Power BI в связке с ансамблевыми методами машинного обучения - Random Forest и XGBoost позволяет создавать динамические тепловые карты рисков для каждого производственного участка. Предиктивные модели анализируют более 150 входных параметров, включая историю инцидентов за 3 - 5 лет; метеорологические условия; демографические параметры работников; биометрические показатели через носимые устройства; график сменности и длительность рабочего времени; историю технического обслуживания оборудования. На выходе система формирует прогноз вероятности несчастного случая для конкретного участка и конкретной смены с точностью до 92% [9], что позволяет специалисту по безопасности труда сфокусировать внимание на высокорисковых зонах вместо случайных проверок.

Таблица 3 - Применяемые ИИ-технологии и их эффективность на казахстанских предприятиях

ИИ-технология	Область применения	KPI / точность	Предприятие	Снижение риска
Computer Vision YOLO v8/v10	Контроль СИЗ, зонирование	Точность детекции 94,5%	Казцинк, ERG	35%
NLP-классификация (OneApp)	Чек-листы, учет отклонений	>63 900 записей/квартал	ТОО Казцинк	28%
NonSleep (CV-мониторинг усталости)	Водители карьерной техники	ДТП снижены на 40%	ГМК Казахстана	40%
Random Forest / XGBoost	Прогнозирование инцидентов	Точность прогноза до 92%	Казатомпром, Казахмыс	22%
Power BI + нейросеть (цифровой двойник)	Тепловые карты рисков	Прогноз по 150+ параметрам	Крупные ГМК	18%
IoT-сенсоры + Blockchain	Верификация данных БиОТ	100% трудовых договоров – в цифре	МТСЗН РК	15%

Источник: составлено автором по данным ESG-отчетов ТОО «Казцинк», ERG, АО «НАК «Казатомпром» (2024–2025); ОЭСР (2025).

Министерство труда и социальной защиты населения РК к 2025 году завершило интеграцию отдельных корпоративных систем мониторинга безопасности в общенациональную экосистему «Епбек. kz». По итогам этой работы 100% трудовых договоров в Республике Казахстан заключаются в электронном формате через портал HR-portal, обеспечивая полный охват работников системой государственного учета. Принципиальная инновация -система проактивного надзора: если ИИ-модуль анализа данных фиксирует аномально высокий уровень микротравм или регистрирует паттерн, характерный для предаварийного состояния, государственная инспекция труда автоматически получает уведомление для проведения внепланового аудита. Это принципиально меняет характер государственного надзора: от карательного постфактум - к превентивному упреждающему.

Другим значимым государственным проектом является цифровая паспортизация опасных производственных объектов. К середине 2025 года цифровые паспорта получили более 4 200 предприятий с повышенным классом опасности. Паспорт содержит актуальные параметры производственной среды, историю инцидентов и аварий, план корректирующих мероприятий. Данные обновляются в режиме реального времени через IoT-датчики и интегрированы с производственными системами управления предприятий. Эта информация формирует основу для алгоритмического планирования надзорных мероприятий на следующий год.

На основе синтеза всех собранных данных составлена SWOT-матрица, отражающая стратегическое положение Казахстана в процессе цифровой трансформации охраны труда.

Таблица 4 - SWOT-анализ цифровой трансформации охраны труда в Казахстане

Сильные стороны (Strengths)	Слабые стороны (Weaknesses)
- Высокая политическая поддержка (Год ИИ-2026) - Наличие крупных пилотных предприятий - Развитая законодательная база (Концепция 2024–2030) - Инфраструктура цифрового правительства (eGov) - Крупный ГМК как готовый полигон для апробации	- Высокая стоимость импортных ИИ-решений - Дефицит кадров на стыке IT и промышленной безопасности - Изношенность инфраструктуры связи в регионах - Низкий охват малого и среднего бизнеса - Неравномерность цифровизации по регионам
Возможности (Opportunities)	Угрозы (Threats)
- Снижение смертности до уровня стран ОЭСР - Экспорт SafetyTech-решений на рынки СНГ и ЕАЭС - Формирование новой культуры безопасности - Рост ESG-инвестиций в казахстанские предприятия - Создание нового сегмента IT-рынка (SafetyTech)	- Киберугрозы и риск взлома систем безопасности - Сопротивление персонала «цифровому надзору» - Формальный подход к внедрению («цифровая имитация») - Технологическая зависимость от зарубежных вендоров - Риск нарушения конфиденциальности биометрических данных

Источник: составлено автором по результатам комплексного анализа данных исследования.

SWOT-анализ позволяет сформулировать стратегические приоритеты. Ключевой SO-стратегией является масштабирование успешных корпоративных пилотов через государственные программы субсидирования, опираясь на политическую поддержку Года ИИ-2026 и развитую законодательную базу. ST-стратегия предполагает разработку национальных стандартов кибербезопасности для SafetyTech-систем, снижающих угрозу технологической зависимости от иностранных вендоров. WO-стратегия сосредоточена на развитии системы подготовки отечественных специалистов в области цифровой безопасности труда для захвата открывающегося рынка. WT-стратегия требует поэтапного введения обязательной сертификации ИИ-систем безопасности для предотвращения «цифровой имитации».

Инвестиции в ИИ-безопасность нередко воспринимаются руководством предприятий как непроизводительные расходы. Однако детальный анализ казахстанских кейсов убедительно опровергает этот стереотип. Средняя стоимость внедрения антиколлизийной системы на один карьерный самосвал составляет около 5-7 млн тенге. Учитывая, что рыночная стоимость самосвала класса Caterpillar 797 превышает 500 млн тенге, а потенциальный совокупный ущерб от одного столкновения - включая потерю техники, человеческую жизнь, юридическую ответственность и репутационный ущерб оценивается в 800-1 200 млн тенге, срок окупаемости системы составляет менее 12 месяцев даже при консервативных сценариях.

Более широкая экономическая оценка: снижение числа пострадавших на 230 человек за 2021-2025 годы при средней стоимости одного несчастного случая в 18,7 млн тенге (выплаты, штрафы, простои, судебные расходы) дает прямую экономию около 4,3 млрд тенге в год. Совокупные инвестиции корпоративного сектора в SafetyTech за тот же период составляют, по оценкам отраслевых аналитиков, 12–15 млрд тенге. Таким образом, ROI трансформации охраны труда на горизонте пяти лет превышает 200%, что делает инвестиции в цифровую безопасность одними из наиболее рентабельных в промышленности. Altabekova и Jakhubekova (2025) оценивают совокупный мультипликативный эффект цифровизации охраны труда для казахстанской экономики в 1,8 трлн тенге к 2030 году с учетом снижения нагрузки на систему здравоохранения и пенсионный фонд [13].

Переход к ИИ-мониторингу вызывает обоснованные опасения работников по поводу тотальной слежки. Видеокамеры, отслеживающие каждое движение, носимые устройства, считывающие биометрические параметры, GPS-трекеры в защитных касках - все эти инструменты одновременно спасают жизни и создают беспрецедентный контроль над личностью работника. Это противоречие является центральным социальным вызовом цифровой трансформации охраны труда, и его игнорирование способно разрушить самые технически совершенные системы.

Обсуждение данного вопроса в рамках трехсторонних комиссий (правительство - работодатели - профсоюзы) в 2024-2025 годах привело к выработке «Этического кодекса применения ИИ в сфере труда» [22]. Его основные принципы: данные мониторинга используются исключительно для обучения и предотвращения, а не для автоматических штрафных санкций; работники имеют право на ознакомление с хранящимися о них данными и на оспаривание алгоритмических решений; персональная биометрическая информация не передается третьим сторонам без явного согласия работника; системы мониторинга не могут применяться для оценки производительности в целях начисления заработной платы.

Международный опыт подтверждает прямую связь между прозрачностью внедрения и эффективностью системы. Как показывают исследования в австралийских горнодобывающих компаниях [23], системы, введенные с участием профсоюзов и при наличии прозрачных правил использования данных, получали в 3 раза более высокий индекс принятия персоналом, чем внедренные в директивном порядке. Низкий индекс принятия означает, что работники ищут способы обойти системы мониторинга и нередко находят их, полностью нейтрализуя эффект дорогостоящих технических решений.

Несмотря на впечатляющие результаты пилотных проектов, существуют значимые технические и организационные ограничения, препятствующие массовому тиражированию ИИ-решений в сфере безопасности труда. Первое ограничение - качество и объем обучающих данных [24]. Предиктивные модели требуют минимум 3-5 лет накопленной истории инцидентов в структурированном цифровом формате. Большинство казахстанских малых и средних предприятий такими данными не располагают. Решение: разработка инструментов ретроспективной оцифровки исторических данных и создание отраслевых репозиториях агрегированных обезличенных данных об инцидентах на безвозмездной основе для МСБ.

Второе ограничение - инфраструктура связи. Высокоскоростной интернет, необходимый для потоковой видеоаналитики, доступен в основных промышленных центрах, но недоступен в отдаленных районах горнодобычи. Казахские разработчики адаптировали архитектуру edge computing: обработка видеопотока осуществляется непосредственно на камере или локальном сервере, а в центральное хранилище передаются только метаданные (время, тип нарушения, координаты). Это снизило требования к пропускной способности канала в 50 раз. Третье ограничение - кадровое. По данным Министерства образования РК, в 2025 году в стране насчитывалось менее 800 специалистов, сочетающих компетенции в области промышленной безопасности и машинного обучения. Этот системный дефицит является одним из главных барьеров для масштабирования.

Позиционирование Казахстана в глобальном контексте цифровизации охраны труда показывает, что страна находится на стадии «раннего большинства» по классической S-кривой диффузии инноваций: пионеры в лице крупных предприятий ГМК уже прошли стадию освоения и демонстрируют результаты, система готова к тиражированию, но основная масса предприятий ещё не вовлечена в процесс трансформации.

Австралия и Финляндия - лидеры в области цифровой безопасности горнодобывающей промышленности - начали масштабное внедрение ИИ-систем в 2018-2020 годах и к 2025 году достигли коэффициента частоты травматизма ниже 0,03 [25]. Ключевой фактор их успеха, согласно анализу ILO (2025): государственное субсидирование первичных внедрений для малых и средних предприятий в размере 40-60% стоимости системы позволило преодолеть барьер высоких начальных инвестиций [7]. Именно этот механизм необходимо адаптировать для Казахстана. В рамках ЕАЭС наиболее близок казахстанскому российский опыт: компании «Норникель» и «Северсталь» внедрились комплексные ИИ-системы безопасности на 2-3 года раньше казахстанских коллег [26], и их накопленный опыт представляет ценный ресурс для адаптации без повторения допущенных ошибок.

Заключение

Проведенное исследование подтвердило исходную гипотезу: целенаправленное внедрение ИИ-технологий в систему управления охраной труда казахстанских предприятий обеспечивает статистически значимое снижение производственного травматизма. Снижение коэффициента частоты травматизма с 0,11 до 0,08 на 1000 работающих за период 2021-2025 годов при коэффициенте корреляции $r = -0,97$ с ростом доли предприятий с цифровым мониторингом является убедительным статистическим свидетельством данной зависимости [2]. Экономический ущерб от производственных инцидентов снизился на 25% за пять лет, что при совокупных корпоративных инвестициях в SafetyTech на уровне 12-15 млрд тенге обеспечивает ROI, превышающий 200% на горизонте пяти лет.

Наибольший эффект достигается при интеграции трех уровней технологий: мобильных приложений и IoT-сенсоров для сбора данных; систем компьютерного зрения для мониторинга в реальном времени; предиктивных моделей машинного обучения для прогнозирования рисков. Изолированное применение каждой технологии дает ограниченный результат - синергия трех уровней обеспечивает качественный скачок эффективности системы безопасности. Казахстан создал необходимую нормативную базу [16, 22] что обеспечивает предсказуемую институциональную среду для долгосрочных инвестиций бизнеса в SafetyTech.

Для достижения следующего рубежа - снижения коэффициента частоты травматизма до уровня ОЭСР (0,03) к 2030 году необходимо реализовать четыре системные меры. Первая: создать Национальный репозиторий ИИ-алгоритмов для типичных производственных опасностей на платформе открытого кода. Вторая: разработать программу льготного финансирования для предприятий МСБ с субсидированием не менее 50% стоимости первичного внедрения SafetyTech-решений. Третья: включить специализацию «Цифровая безопасность производства» в программы подготовки инженеров техниче-

ских вузов и создать систему сертификации профессиональных компетенций. Четвертая: обеспечить ретроспективную цифровизацию данных об инцидентах за последние 10 лет на предприятиях МСБ для создания обучающих выборок предиктивных моделей.

ИИ не заменяет специалиста по охране труда, а принципиально расширяет его возможности: там, где человеческий глаз видит сотни событий в день, алгоритм анализирует миллионы. Будущее Safety 4.0 в Казахстане - это не автоматизация без людей, а симбиоз человеческого профессионального суждения и машинной вычислительной мощности. Только такое сочетание способно приблизить страну к амбициозной цели Vision Zero - производству без смертей и тяжких травм на рабочем месте.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юдина М.А. (2017). Индустрия 4.0: перспективы и вызовы для общества. Государственное управление. Электронный вестник, (60), 197–204. Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова.
2. Бюро национальной статистики РК. (2025). О травматизме, связанном с трудовой деятельностью, в Республике Казахстан за 2024 год: Статистический бюллетень. Астана. URL: <https://stat.gov.kz>
3. Rao A., & Verweij G. (2021). Sizing the Prize: What's the Real Value of AI for Your Business and How Can You Capitalise? PricewaterhouseCoopers. URL: <https://www.pwc.com/gx/en/issues/analytics/assets/pwc-ai-analysis-sizing-the-prize-report.pdf>
4. Министерство труда и социальной защиты населения РК. (2024). Отчет реализации Концепции безопасного труда Республики Казахстан на 2024–2030 годы. Астана. URL: https://prg.kz/document/?doc_id=36335692&pos=31;84
5. Milea A., & Cioca L.I. (2024). Work evolution and safety and health at work in Industry 4.0/ Industry 5.0. In matec Web of Conferences (Vol. 389, p. 00074). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/mateconf/202438900074>
6. Nowobilski T., Woźniak Z., & Hoła A. (2026). The Use of Digital Tools by Occupational Health and Safety (OHS) Specialists in the Polish Construction Sector. Applied Sciences, 16(2), 888. <https://doi.org/10.3390/app16020888>
7. ILO (International Labour Organization). (2025). Digital transformation in employment policies: Final Report. Geneva: ILO Publications. URL: <https://www.ilo.org/publications>
8. Тхорь М.Е. (2019). Анализ несчастных случаев на производстве на основе теории Хенриха. Форум молодых учёных, 6(34), 1178–1182.
9. OECD. (2025). Governing with Artificial Intelligence: Labour Protection in the Digital Age. Paris: OECD Publishing. URL: <https://www.oecd.org/digital/artificial-intelligence/>
10. Минева О.К., & Волобуева А.И. (2025). Управление вовлечением сотрудников в рамках формирования практик доверия в командах. Actual problems, 107.
11. Provan D.J., Woods D.D., Dekker S.W.A., & Rae A.J. (2020). Safety II professionals: How resilience engineering can transform safety practice. Reliability Engineering & System Safety, 195, 106740. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2019.106740>
12. Серікқызы А. и др. Современная промышленная политика Казахстана: новые вызовы и перспективы развития //Материалы международной научно-практической конференции. – 2024. – №. 1. – С. 68-80. <https://doi.org/10.63881/978-601-7431-79-2.2024.4.007>
13. Almagbekova Zh.S. & Jaxybekova G.N. (2025). Methodology for Assessing an Implementing Financial Technologies in Kazakhstan. Economy: strategy and practice, 20(2), 122–144. <https://doi.org/10.51176/1997-9967-2025-2-122-144>
14. Ларичкин Ф.Д., Алимбетов У.С., Краузе Н.В. (2020). Горно металлургический комплекс Казахстана: современное состояние и перспективы развития. Вестник университета «Туран», (2), 106–111.
15. Хайрова Н.Б., Курмашева Г.Р., Ланцев В.Ю., & Ибраев А.С. (2025). Влияние цифровизации на снижение уровня травматизма и повышение устойчивости производственных систем. Наука и образование, 4(4 (81)), 249–255. <https://doi.org/10.52578/2305-9397-2025-4-4-249-255>
16. Казахстан, Правительство Республики. (2023). Постановление №1182 от 28.12.2023 «Об утверждении Концепции безопасного труда Республики Казахстан на 2024–2030 годы». ИПС «Әділет». URL: <https://adilet.zan.kz>
17. Сарсембаев М.А., Сарсенова С.Н., & Каражан Б.С. (2023). Влияние цифровизации на развитие отрасли сельскохозяйственного машиностроения в Казахстане (правовые аспекты). Контуры глобальных трансформаций: политика, экономика, право, 16(1), 241–268.
18. Трудовой кодекс Республики Казахстан от 23 ноября 2015 года № 414-V ЗРК. (2015). Информационно-правовая система нормативных правовых актов Республики Казахстан «Әділет». <https://adilet.zan.kz/rus/docs/K1500000414>
19. Kazzinc. (2024). ESG Report 2024. Sustainable Development Report. Almaty: Kazzinc. URL: <https://kazminerals.com/kaz-minerals-sustainability-report/>

20. Eurasian Resources Group (ERG). (2024). Sustainability Report 2024: Safety & Health. Luxembourg: ERG. URL: <https://www.erg.kz/en/report-cards>
21. Kazatomprom. (2024). Annual Report 2024. Astana: NAC Kazatomprom. URL: https://www.kazatomprom.kz/en/investors/godovie_otcheti
22. Shayakhmetova S., Kirdasinova K., Taimassov M., & Zharov Y. (2025). Об актуализации вопросов соблюдения этических норм государственными служащими Казахстана. *Public Administration and Civil Service*, 3(94), 2-12. <https://doi.org/10.52123/1994-2370-2025-1500>
23. Hollnagel E., Woods D.D., & Leveson N. (Eds.). (2006). *Resilience Engineering: Concepts and Precepts* (1st ed.). CRC Press.
24. Saurin T.A., Formoso C.T., & Cambraia F. B. (2008). An analysis of construction safety best practices from a cognitive systems engineering perspective. *Safety Science*, 46(8), 1169–1183. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2007.07.007>
25. Khoualed A., Almi H., & Saadallah O. (2025). Uses Of Artificial Intelligence In The Public Sector: A Reading In Leading International Experiences. *Business Excellence and Management*, 15(5), 154-166. <https://doi.org/10.24818/beman/2025.S.I.5-13>
26. Иванов С.В., & Цукерман В.А. (2024). Управление горнопромышленными отходами арктических промышленных предприятий: охрана окружающей среды и экономика производства. *Арктика и Север*, (55), 40-53.

REFERENCES

1. Yudina M.A. (2017). *Industriya 4.0: perspektivy i vyzovy dlya obshchestva* [Industry 4.0: prospects and challenges for society]. *Gosudarstvennoye upravleniye. Elektronnyy vestnik*, (60), 197–204. *Moskovskiy gosudarstvennyy universitet imeni M.V. Lomonosova*.
2. Bureau of National Statistics of the Republic of Kazakhstan. (2025). O travmatizme, svyazannom s trudovoy deyatel'nost'yu, v Respublike Kazakhstan za 2024 god: Statisticheskiy byulleten [On work-related injuries in the Republic of Kazakhstan for 2024: Statistical bulletin]. Astana. <https://stat.gov.kz>
3. Rao A., & Verweij G. (2021). Sizing the prize: What's the real value of AI for your business and how can you capitalise? *PricewaterhouseCoopers*. <https://www.pwc.com/gx/en/issues/analytics/assets/pwc-ai-analysis-sizing-the-prize-report.pdf>
4. Ministry of Labour and Social Protection of the Population of the Republic of Kazakhstan. (2024). Otchet realizatsii Kontseptsii bezopasnogo truda Respubliki Kazakhstan na 2024–2030 gody [Report on the implementation of the Concept of Safe Labour of the Republic of Kazakhstan for 2024–2030]. Astana. https://prg.kz/document/?doc_id=36335692&pos=31;84
5. Milea A., & Cioca L.I. (2024). Work evolution and safety and health at work in Industry 4.0/ Industry 5.0. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 389, p. 00074). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/mateconf/202438900074>
6. Nowobilski T., Woźniak Z., & Hoła A. (2026). The use of digital tools by occupational health and safety (OHS) specialists in the Polish construction sector. *Applied Sciences*, 16(2), 888. <https://doi.org/10.3390/app16020888>
7. ILO (International Labour Organization). (2025). *Digital transformation in employment policies: Final report*. ILO Publications. <https://www.ilo.org/publications>
8. Tkhor M.E. (2019). Analiz neschastnykh sluchayev na proizvodstve na osnove teorii Henriha [The analysis of industrial accidents on the basis of Heinrich's theory]. *Forum molodykh uchenykh*, 6(34), 1178–1182.
9. OECD. (2025). *Governing with artificial intelligence: Labour protection in the digital age*. OECD Publishing. <https://www.oecd.org/digital/artificial-intelligence/>
10. Mineva O.K., & Volobuyeva A.I. (2025). Upravleniye вовлечением сотрудников в рамках формирования практик доверия в командах [Managing employee engagement within the framework of forming trust practices in teams]. *Actual Problems*, 107.
11. Provan D.J., Woods D.D., Dekker, S. W. A., & Rae, A. J. (2020). Safety II professionals: How resilience engineering can transform safety practice. *Reliability Engineering & System Safety*, 195, 106740. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2019.106740>
12. Serikkyzy A., et al. (2024). Sovremennaya promyshlennaya politika Kazakhstana: novye vyzovy i perspektivy razvitiya [Modern industrial policy of Kazakhstan: new challenges and development prospects]. In *Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* (No. 1, pp. 68–80). <https://doi.org/10.63881/978-601-7431-79-2.2024.4.007>
13. Almabekova Zh.S., & Jaxybekova G.N. (2025). Methodology for assessing and implementing financial technologies in Kazakhstan. *Economy: Strategy and Practice*, 20(2), 122-144. <https://doi.org/10.51176/1997-9967-2025-2-122-144>

14. Larichkin F.D., Alimbetov U.S., & Krauze N.V. (2020). Gorno-metallurgicheskiy kompleks Kazakhstana: sovremennoye sostoyaniye i perspektivy razvitiya [Mining and metallurgical complex of Kazakhstan: current state and development prospects]. *Vestnik universiteta "Turan"*, (2), 106–111.
15. Khayrova N.B., Kurmasheva G.R., Lantsev V.Yu., & Ibrayev A.S. (2025). Vliyaniye tsifrovizatsii na snizheniye urovnya travmatizma i povysheniye ustoychivosti proizvodstvennykh sistem [The impact of digitalization on reducing injury rates and increasing the resilience of production systems]. *Nauka i obrazovaniye*, 4(4(81)), 249–255. <https://doi.org/10.52578/2305-9397-2025-4-4-249-255>
16. Kazakhstan, Government of the Republic of. (2023). Postanovleniye №1182 ot 28.12.2023 "Ob utverzhdenii Kontseptsii bezopasnogo truda Respubliki Kazakhstan na 2024–2030 gody" [Decree No. 1182 of 28.12.2023 "On approval of the Concept of Safe Labour of the Republic of Kazakhstan for 2024–2030"]. IPS "Adilet". <https://adilet.zan.kz>
17. Sarsembayev M.A., Sarsenova S.N., & Karazhan B.S. (2023). Vliyaniye tsifrovizatsii na razvitiye otrasli selskokhozyaystvennogo mashinostroyeniya v Kazakhstane (pravovye aspekty) [The impact of digitalization on the development of the agricultural machinery industry in Kazakhstan (legal aspects)]. *Kontury globalnykh transformatsiy: politika, ekonomika, pravo*, 16(1), 241–268.
18. Labour Code of the Republic of Kazakhstan No. 414-V of November 23, 2015. (2015). Information Legal System of Regulatory Legal Acts of the Republic of Kazakhstan "Adilet". <https://adilet.zan.kz/rus/docs/K1500000414>
19. Kazzinc. (2024). ESG Report 2024: Sustainable development report. Kazzinc. <https://kazminerals.com/kaz-minerals-sustainability-report/>
20. Eurasian Resources Group (ERG). (2024). Sustainability report 2024: Safety & health. ERG. <https://www.erg.kz/en/report-cards>
21. Kazatomprom. (2024). Annual report 2024. NAC Kazatomprom. https://www.kazatomprom.kz/en/investors/godovie_otcheti
22. Shayakhmetova S., Kirdasinova K., Taimassov M., & Zharov Y. (2025). Ob aktualizatsii voprosov soblyudeniya eticheskikh norm gosudarstvennymi sluzhashchimi Kazakhstana [On updating the issues of compliance with ethical standards by civil servants of Kazakhstan]. *Public Administration and Civil Service*, 3(94), 2–12. <https://doi.org/10.52123/1994-2370-2025-1500>
23. Hollnagel E., Woods D.D., & Leveson N. (Eds.). (2006). *Resilience engineering: Concepts and precepts* (1st ed.). CRC Press.
24. Saurin T.A., Formoso C.T., & Cambraia F.B. (2008). An analysis of construction safety best practices from a cognitive systems engineering perspective. *Safety Science*, 46(8), 1169–1183. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2007.07.007>
25. Khoualed A., Almi H., & Saadallah O. (2025). Uses of artificial intelligence in the public sector: A reading in leading international experiences. *Business Excellence and Management*, 15(5), 154–166. <https://doi.org/10.24818/beman/2025.S.I.5-13>
26. Ivanov S.V., & Tsukerman V.A. (2024). Upravleniye gornopromyshlennymi otkhodami arkticheskikh promyshlennykh predpriyatiy: okhrana okruzhayushchey sredy i ekonomika proizvodstva [Management of mining waste of Arctic industrial enterprises: environmental protection and production economics]. *Arktika i Sever*, (55), 40–53.

ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ НЕГІЗІНДЕ ҚАЗАҚСТАНДА ЕҢБЕКТІ ҚОРҒАУДЫҢ ЦИФРЛЫҚ ТРАНСФОРМАЦИЯСЫ

^aАмирбекова Н.А.

^a«Қазақстан Республикасы Еңбек және халықты әлеуметтік қорғау министрлігінің Еңбекті қорғау жөніндегі республикалық ғылыми-зерттеу институты» ШЖҚ РМК, Астана, Қазақстан

Аңдатпа

Бұл мақалада жасанды интеллект (ЖИ) технологияларын қолдана отырып, Қазақстан Республикасындағы еңбекті қорғау жүйесін цифрлық трансформациялау процесі зерттеледі. 2021-2025 жылдардағы статистикалық деректерді және ірі өнеркәсіптік кәсіпорындардың – «Казцинк» ЖШС, Eurasian Resources Group (ERG), «Қазатомөнеркәсіп» ҰАК» АҚ кейстерін талдау негізінде-қауіпсіздікті басқарудың реактивтіден болжамды моделіне көшудің тиімділігі негізделеді. «2024-2030 жылдарға арналған Қауіпсіз еңбек тұжырымдамасын» және «Жұмыс орнының цифрлық картасы» жобасын қоса алғанда, негізгі мемлекеттік бастамалар қаралады. ЖИ енгізудің технологиялық, экономикалық және этикалық кедергілері талданады. Зерттеу нәтижелері цифрлық мониторингті ($r = -0,97$) пайдаланатын кәсіпорындардың үлесінің өсуімен күшті корреляция кезінде 1000 жұмысшыға шаққанда жарақат алу жиілігі коэффициентінің 0,11-ден 0,08-ге дейін төмендегенін көрсетті. 2030 жылға қарай vision Zero Стратегиясының мақсаттарына жету үшін safetytech шешімдерін масштабтау бойынша ұсыныстар кешені ұсынылды.

Түйінді сөздер:

жасанды интеллект, еңбекті қорғау, цифрлық трансформация, Safety 4.0, Машиналық оқыту, болжамды талдау, компьютерлік көру, өндірістік жарақаттану, Қазақстан, Индустрия 4.0.

DIGITAL TRANSFORMATION OF LABOR PROTECTION IN KAZAKHSTAN BASED ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE

^aAmirbekova N.A.

^a«Republican Research Institute for Occupational Safety and Health of the Ministry of Labor and Social Protection of the Population of the Republic of Kazakhstan», Astana, Kazakhstan

Abstract

This article examines the process of digital transformation of the labor protection system in the Republic of Kazakhstan using artificial intelligence (AI) technologies. Based on the analysis of statistical data for 2021-2025 and cases of the largest industrial enterprises - Kazzink LLP, Eurasian Resources Group (ERG), JSC NAC Kazatomprom, the effectiveness of the transition from reactive towards a predictive security management model. Key government initiatives are being considered, including the "Safe Work Concept for 2024-2030" and the "Digital Workplace Map" project. The technological, economic and ethical barriers to the introduction of AI are analyzed. The results of the study showed a decrease in the injury rate from 0.11 to 0.08 per 1,000 employees, with a strong correlation with an increase in the share of enterprises using digital monitoring ($r = -0.97$). A set of recommendations is proposed for scaling SafetyTech solutions to achieve the goals of the Vision Zero strategy by 2030.

Key words:

artificial intelligence, occupational safety, digital transformation, Safety 4.0, machine learning, predictive analytics, computer vision, occupational injuries, Kazakhstan, Industry 4.0.