

КУЛЬТУРА БЕЗОПАСНОСТИ И
СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ
РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИЙ РАЗМЕЩЕНИЯ
ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ
SAFETY CULTURE AND SOCIO-ECONOMIC ASPECTS
DEVELOPMENT OF PLACEMENT TERRITORIES
NUCLEAR INDUSTRY FACILITIES

<https://doi.org/10.26583/gns-2026-02-11>

УДК [331.45+338.45]:65.012

EDN VJXYCQ

Оригинальная статья / Original paper



Устойчивое достижение нулевого LTIFR и экономическая эффективность мер промышленной безопасности в металлургическом производстве на примере АО «Ульбинский металлургический завод»

Т.Ш. Идрисов^{1,2} ✉, М.В. Коптелов^{2,3}

¹АО «Ульбинский металлургический завод» АО «НАК «Казатомпром», г. Усть-Каменогорск, Республика Казахстан

²Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Москва, Российская Федерация

³Частное учреждение по информационно-аналитическому обеспечению

«Ситуационно-кризисный Центр Росатома», г. Москва, Российская Федерация

✉ idrisovts@ulba.kz

Аннотация. В статье представлен количественный анализ динамики производственного травматизма и экономической эффективности мероприятий промышленной безопасности в бериллиевом производстве АО «Ульбинский металлургический завод» (АО «УМЗ») за 2020-2024 годы. Исследование основано на данных внутренней отчетности предприятия, включающих показатель LTIFR, число несчастных случаев с потерей трудоспособности, годовые затраты на охрану труда и промышленную безопасность, а также ведущие показатели состояния барьерной системы. Установлено, что в 2020 г. LTIFR составил 0,18, в 2021 г. – 0,28 (максимальное значение за период), после чего в 2022-2024 гг. показатель стабильно равен 0,00. Параллельно объем затрат на охрану труда увеличился с 1 382 325 тыс. тг (2020 г.) и 1 608 726 тыс. тг (2021 г.) до 2 102 982 тыс. тг (2022 г.) и 2 814 728 тыс. тг (2023 г.), с последующей оптимизацией до 1 997 480 тыс. тг в 2024 году. Анализ показывает, что за четырехлетний интервал достигнуто снижение LTIFR с 0,28 до 0,00 и его удержание в течение трех последовательных лет. Экономическая оценка мероприятий по снижению риска выполнена на основе показателя ожидаемых годовых потерь (EAL). Приведенные затраты (PV(C)) составили около 25 млн тг, тогда как приведенный эффект предотвращенных потерь (PV(ΔEAL)) достиг 59 млн тг при горизонте расчета 10 лет и ставке дисконтирования 12 %. Коэффициент выгоды-затраты (BCR) превышает 2,0, что свидетельствует о положительной чистой приведенной стоимости реализованных мер. Анализ ведущих показателей показал рост охвата проверок критических контролей с 60 % до 90 %, увеличение охвата обучением с 85 % до 97 %, снижение доли несоответствий с 18 % до 9 %, сокращение среднего срока устранения нарушений более чем в два раза и рост числа сообщений о near-miss с 40 до 80 случаев в год. Полученные результаты подтверждают системный характер достигнутого эффекта и соответствие траектории «рост инвестиций – нулевой LTIFR – оптимизация затрат» принципу ALARP. Показано, что устойчивое удержание LTIFR на уровне 0,00 в течение 2022-2024 гг. связано с комплексом инженерных, организационных и поведенческих мер и сопровождается положительной экономической отдачей.

Ключевые слова: промышленная безопасность, LTIFR, охрана труда, ALARP, экономическая эффективность, EAL, барьерная модель риска

Для цитирования: Идрисов Т.Ш., Коптелов М.В. Устойчивое достижение нулевого LTIFR и экономическая эффективность мер промышленной безопасности в металлургическом производстве на примере АО «Ульбинский металлургический завод». *Глобальная ядерная безопасность*. 2026;16(2):116-126. <https://doi.org/10.26583/gns-2026-02-11>

For citation: Idrisov T.Sh., Koptelov M.V. Sustained zero LTIFR and the economic effectiveness of industrial safety measures in metallurgical production at Ulba metallurgical plant JSC. *Nuclear Safety*. 2026;16(2):116-126. (In Russ.). <https://doi.org/10.26583/gns-2026-02-11>

Sustained zero LTIFR and the economic effectiveness of industrial safety measures in metallurgical production at Ulba metallurgical plant JSC

Tair Sh. Idrisov^{1,2} ✉, Matvey V. Koptelov^{2,3}

¹Ulba Metallurgical Plant JSC, Kazatomprom JSC, Ust-Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan

²National Research Nuclear University «MEPhI», Moscow, Russian Federation

³Situational and Crisis Centre of State Corporation Rosatom, Moscow, Russian Federation

✉ idrisovts@ulba.kz

Abstract. This paper presents a quantitative analysis of occupational injury dynamics and the economic effectiveness of industrial safety measures in the Ulba Metallurgical Plant JSC (UMP JSC) for the period 2020-2024. The study is based on internal corporate reporting data, including the Lost Time Injury Frequency Rate (LTIFR), the number of lost-time injuries, annual expenditures on occupational and industrial safety, and leading indicators reflecting the condition of the safety barrier system. The results show that LTIFR amounted to 0.18 in 2020 and increased to 0.28 in 2021 (the maximum value within the analyzed period), after which it declined to 0.00 and remained at this level throughout 2022-2024. In parallel, total safety expenditures increased from 1,382,325 thousand KZT in 2020 and 1,608,726 thousand KZT in 2021 to 2,102,982 thousand KZT in 2022 and 2,814,728 thousand KZT in 2023, followed by optimization to 1,997,480 thousand KZT in 2024. The data demonstrate a reduction in LTIFR from 0.28 to 0.00 over a four-year interval and its sustained maintenance for three consecutive years. The economic evaluation of risk reduction measures was performed using the Expected Annual Loss (EAL) approach. The present value of costs (PV(C)) is approximately 25 million KZT, while the present value of prevented losses (PV(Δ EAL)) reaches 59 million KZT over a 10-year horizon at a 12% discount rate. The benefit-cost ratio (BCR) exceeded 2.0, indicating a positive net present value of the implemented safety measures. Leading indicators showed significant improvements: coverage of critical control inspections increased from 60% to 90%, training coverage rose from 85% to 97%, the proportion of non-conformities decreased from 18% to 9%, the average time required for corrective actions was reduced by more than half, and near-miss reporting increased from 40 to 80 cases per year. The findings confirm the systemic nature of the achieved effect and demonstrate that the trajectory «increased safety investment – zero LTIFR – expenditure optimization» is consistent with the ALARP principle. Sustained zero LTIFR in 2022-2024 is associated with a combination of engineering, organizational, and behavioral measures and is accompanied by a positive economic return on safety investments.

Keywords: industrial safety, LTIFR, occupational health and safety, ALARP, economic efficiency, Expected Annual Loss, safety barrier model

Введение

Металлургические производства относятся к категории технологически сложных и потенциально опасных систем, в которых совмещаются высокотемпературные процессы, механические нагрузки, обращение с опасными веществами и работа оборудования повышенной энергоёмкости. В подобных условиях безопасность труда выступает не изолированным функциональным направлением, а ключевым элементом общей производственной устойчивости. Нарушение технологической дисциплины или отказ защитных систем способен привести не только к травматизму, но и к значительным экономическим потерям, простоям оборудования и репутационным рискам.

Современные концепции управления промышленной безопасностью исходят из того, что предотвращение тяжелых событий требует системного контроля критических барьеров, а не только реагирования

на уже произошедшие инциденты. Переход от анализа последствий к управлению вероятностью сценариев высокой тяжести отражен в международных практиках в области охраны труда и процессной безопасности, где акцент делается на идентификацию опасных сценариев и поддержание защитных мер в работоспособном состоянии [1,2,3]. В рамках барьерной модели риск рассматривается как функция вероятности отказа защитных механизмов, что делает актуальным анализ их устойчивости во времени.

Особую значимость подобный подход приобретает для предприятий, участвующих в обеспечении атомной отрасли материалами и компонентами. В данном контексте промышленная безопасность рассматривается как элемент общей культуры надежности и риск-ориентированного управления. Одним из таких предприятий является АО «Ульбинский металлургический завод»

(далее – АО «УМЗ»). Производственные процессы на АО «УМЗ» характеризуются сочетанием термических, механических и токсикологических факторов, что предъявляет повышенные требования к инженерным и организационным мерам защиты.

Специфика деятельности АО «УМЗ» предполагает использование комплекса инженерных барьеров (системы аспирации, локальные укрытия, блокировки, средства герметизации), процедурных механизмов (допуск к работам повышенной опасности, ЛOTO, контроль подрядчиков) и элементов поведенческой культуры безопасности. Международные исследования показывают, что устойчивое снижение риска достигается при одновременном развитии технических решений, управленческих процедур и вовлеченности персонала в выявление опасных условий [4,5,6].

Традиционно оценка результативности системы охраны труда строится на анализе запаздывающих показателей, прежде всего частоты травм с потерей трудоспособности (LTIFR). Однако в условиях длительного отсутствия несчастных случаев возникает методическая проблема: нулевые значения LTIFR не позволяют судить о состоянии критических контролей и устойчивости системы при изменении объема финансирования. Именно поэтому возникает необходимость комплексного анализа, включающего не только динамику травматизма, но и структуру затрат на безопасность, а также состояние ведущих показателей барьерной системы.

Анализ данных АО «УМЗ» за 2020-2024 гг. демонстрирует переход от ненулевых значений LTIFR к устойчивому нулевому уровню на фоне изменения объемов финансирования мероприятий по охране труда и промышленной безопасности. При этом в 2024 г. наблюдается оптимизация затрат при сохранении нулевого травматизма, что ставит вопрос об экономической эффективности ранее реализованных мер и устойчивости достигнутого результата.

Для количественной оценки экономической целесообразности мероприятий в исследовании используется показатель ожидаемых годовых потерь (Expected Annual Loss,

EAL) и его изменение (Δ EAL), позволяющее выразить снижение риска в денежной форме. Сопоставление приведенных затрат жизненного цикла мероприятий с предотвращенными потерями обеспечивает инструмент для портфельного отбора решений на основе критериев NPV и BCR и позволяет интерпретировать снижение риска в рамках принципа ALARP как экономически обоснованный процесс [7].

Вместе с тем подтверждение устойчивости системы невозможно без анализа ведущих индикаторов, отражающих фактическое состояние барьеров. Изменение охвата проверок критических контролей, доли несоответствий, сроков их устранения, уровня подготовки персонала и активности регистрации near-miss позволяет оценить зрелость системы управления безопасностью в условиях отсутствия травматизма и выявить потенциальные зоны риска до наступления событий высокой тяжести [8,9].

Следовательно, исследование опирается на интеграцию трех взаимосвязанных аналитических блоков: динамики LTIFR и затрат, экономической оценки предотвращенных потерь через Δ EAL и анализа ведущих показателей состояния барьерной системы.

Целью исследования является комплексная оценка устойчивости системы промышленной безопасности АО «УМЗ» в 2020-2024 гг. на основе сопоставления динамики травматизма, экономической эффективности мероприятий и изменения ведущих индикаторов.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- проанализировать динамику LTIFR и числа несчастных случаев на АО «УМЗ» за 2020-2024 гг.;
- сопоставить изменения травматизма с объемами финансирования мероприятий по безопасности;
- выполнить экономическую оценку мероприятий на основе показателя Δ EAL и анализа жизненного цикла затрат;
- оценить изменение ведущих показателей состояния критических контролей как индикатора устойчивости системы;

– интерпретировать полученные результаты с позиций принципа ALARP и риск-ориентированного бюджетирования.

Научная новизна исследования заключается в:

– интеграции анализа запаздывающих и ведущих показателей безопасности в единую методическую модель оценки устойчивости;

– количественной интерпретации принципа ALARP через сопоставление приведенных затрат и предотвращенных ожидаемых потерь;

– эмпирическом обосновании устойчивости нулевого LTIFR на АО «УМЗ» при переходе от фазы интенсивных инвестиций к фазе оптимизации расходов на безопасность.

Материалы и методы исследований

Эмпирической базой исследования послужили данные внутренней отчетности по охране труда и промышленной безопасности АО «УМЗ» за период 2020-2024 гг.¹. Использовались агрегированные статистические и финансовые показатели, отражающие как результативность системы безопасности, так и объем ресурсов, направленных на ее поддержание.

В рамках исследования анализировались три группы исходных данных:

– количество зарегистрированных несчастных случаев с потерей трудоспособности;

– показатель LTIFR (Lost Time Injury Frequency Rate), рассчитываемый как число травм с потерей трудоспособности на 1 млн отработанных человеко-часов;

– годовые затраты на охрану труда и промышленную безопасность, включающие капитальные вложения (CAPEX) и эксплуатационные расходы (OPEX) на мероприятия по снижению производственного риска.

Использование данной структуры данных позволило рассматривать промышленную безопасность в двух взаимосвязанных измерениях: социальном (фактическая травматичность персонала) и экономическом

(устойчивость поддержания управляемого уровня риска при заданном уровне финансирования).

Анализ проводился в три этапа. На первом этапе проводился анализ динамики показателей травматизма за 2020-2024 годы. В расчет принимались как абсолютные значения (количество несчастных случаев), так и нормированный показатель LTIFR. Применение LTIFR является методически обоснованным, поскольку он позволяет учитывать фактический объем отработанного времени и корректно сопоставлять периоды при изменении численности персонала и производственной загрузки [10].

Анализ динамики LTIFR и числа несчастных случаев лег в основу построения первого аналитического блока, отражающего сопоставимую динамику травматизма и затрат на безопасность. Подобный подход соответствует практике оценки результативности систем охраны труда с использованием запаздывающих индикаторов (lagging indicators) [11].

Дополнительно проводилось выделение характерных временных этапов:

– 2020-2021 гг. – период ненулевого LTIFR;

– 2022-2023 гг. – достижение нулевого травматизма при росте финансирования;

– 2024 г. – сохранение нулевого LTIFR при оптимизации затрат.

Выделение указанных фаз позволило перейти от простой констатации снижения травматизма к анализу устойчивости достигнутого результата.

На втором этапе осуществлялось сопоставление динамики травматизма с объемами финансирования мероприятий по охране труда и промышленной безопасности. В составе затрат учитывались:

– инженерные меры (аспирационные системы, локальные укрытия, модернизация грузоподъемного оборудования, системы блокировок и контроля доступа);

– организационные мероприятия (регламентация работ повышенной опасности, процедуры LOTO, аудит подрядчиков);

– поведенческие меры (обучение, инструктаж, контроль дисциплины).

¹ Производственная безопасность. АО «Ульбинский металлургический завод». – Ulba.kz. – 2025. – Режим доступа: <https://www.ulba.kz/ru/proizvodstvennaia-bezopasnost> (дата обращения: 25.02.2026).

Подобная детализация соответствует концепции управления критическими барьерами, согласно которой безопасность определяется не только наличием технических решений, но и устойчивостью организационных процедур.

В рамках исследования затраты на безопасность интерпретировались как инвестиции в предотвращение потенциальных потерь. Для количественной оценки экономической эффективности применялся показатель ожидаемых годовых потерь (Expected Annual Loss, EAL) и его изменение (ΔEAL), позволяющее выразить снижение риска в денежном эквиваленте.

Расчет осуществлялся по базовой формуле (1) [12]:

$$EAL = P \cdot L, \quad (1)$$

где P – годовая вероятность реализации опасного сценария;

L – величина ущерба при его наступлении.

Для повышения воспроизводимости экономической оценки в исследовании использовался сценарный подход к определению ожидаемых годовых потерь. В качестве расчетных сценариев рассматривались наиболее значимые для высокоопасного металлургического производства события, способные привести к тяжелым последствиям: травмирование персонала при выполнении работ повышенной опасности, инциденты при грузоподъемных и стропальных операциях, отказ аспирационных или локальных защитных систем, нарушение процедур ЛОТО и допуска к работам, а также локальные пожароопасные или термические аварийные ситуации.

Годовая вероятность реализации сценария P определялась экспертно-аналитическим способом с учетом внутренних данных предприятия, характера выполняемых опасных операций, состояния инженерных и организационных барьеров, результатов проверок критических контролей, доли выявленных несоответствий и сроков их устранения. Для исходного состояния до реализации комплекса мероприятий значения P принимались в диапазоне $0,010-0,020 \text{ год}^{-1}$, что соответствует редким, но потенциально

тяжелым событиям. После внедрения инженерных, организационных и поведенческих мер остаточная вероятность по сценариям принималась в диапазоне $0,004-0,008 \text{ год}^{-1}$. Снижение вероятности связывалось с повышением охвата проверок критических контролей, усилением процедур ЛОТО, ростом охвата обучением и сокращением сроков устранения выявленных нарушений.

Величина ущерба L определялась как совокупность прямых и косвенных потерь, которые могли возникнуть при реализации соответствующего сценария. В расчет включались возможные компенсационные выплаты, расходы на расследование происшествия, восстановительные работы, ремонт оборудования, простой производственного участка, внеплановые проверки, дополнительные корректирующие мероприятия и репутационные последствия. Для рассмотренных сценариев величина ущерба принималась в диапазоне $85-130$ млн тг в зависимости от тяжести события и ожидаемой продолжительности простоя.

Расчет выполнялся по каждому сценарию отдельно. В частности, для сценария травмирования персонала при работах повышенной опасности исходная вероятность принималась на уровне $P_1 = 0,020 \text{ год}^{-1}$, остаточная вероятность после реализации мер $P_2 = 0,008 \text{ год}^{-1}$, а величина ущерба $L = 85$ млн тг. Для инцидента при грузоподъемных и стропальных операциях использовались значения $P_1 = 0,015 \text{ год}^{-1}$, $P_2 = 0,006 \text{ год}^{-1}$, $L = 110$ млн тг. Для отказа аспирационной или локальной защитной системы $P_1 = 0,018 \text{ год}^{-1}$, $P_2 = 0,007 \text{ год}^{-1}$, $L = 95$ млн тг. Для нарушения процедур ЛОТО и допуска к работам $P_1 = 0,012 \text{ год}^{-1}$, $P_2 = 0,004 \text{ год}^{-1}$, $L = 130$ млн тг. Для локальной пожароопасной или термической аварийной ситуации $P_1 = 0,010 \text{ год}^{-1}$, $P_2 = 0,004 \text{ год}^{-1}$, $L = 115$ млн тг.

Следовательно, показатель EAL рассматривался как денежная оценка ожидаемого ущерба по конкретным сценариям тяжелых производственных инцидентов, а не как обобщенная или условная величина. Полученные по отдельным сценариям значения ожидаемых годовых потерь суммировались, что позволяло определить совокупный уро-

вень риска до и после реализации мероприятий.

Изменение показателя ΔEAL определялось как разница между ожидаемыми потерями до и после внедрения мероприятия. Для сопоставления затрат и эффекта применялось дисконтирование денежных потоков на горизонте T лет при заданной ставке r , что позволило определить приведенные затраты $PV(C)$, приведенный эффект $PV(\Delta EAL)$, а также интегральные показатели NPV и BCR. Полученные результаты легли в основу второго аналитического блока, отражающего сопоставление приведенных затрат и предотвращенных потерь.

С учетом того, что нулевые значения LTIFR не позволяют оценить фактическое состояние защитных механизмов, на третьем этапе проводился анализ ведущих показателей (leading indicators), характеризующих работоспособность критических контролей.

В анализ включались:

- охват проверок критических контролей;
- доля выявленных несоответствий;
- средний срок устранения нарушений;
- охват персонала обучением по работам повышенной опасности;
- количество сообщений о near-miss и потенциально опасных условиях.

Использование ведущих индикаторов соответствует современным подходам к оценке устойчивости систем безопасности, позволяющим выявлять тенденции до реализации инцидента. Сопоставление значений «до» и «после» реализации комплекса мер представлено в третьем аналитическом блоке.

В совокупности примененная методика позволила:

- оценить динамику травматизма и ее связь с объемом финансирования;
- количественно обосновать экономическую эффективность мероприятий через показатель ΔEAL ;
- проанализировать устойчивость барьерной системы на основе ведущих индикаторов;
- определить, носит ли достигнутый нулевой уровень LTIFR случайный характер либо является результатом системного управления риском в АО «УМЗ».

Результаты и их обсуждение

Анализ данных АО «УМЗ» за 2020-2024 гг. свидетельствует о поэтапной трансформации системы промышленной безопасности от состояния управляемого, но присутствующего риска к устойчивому нулевому уровню травматизма.

В 2020 г. показатель LTIFR составлял 0,18 случая на 1 млн отработанных человеко-часов. В 2021 г. наблюдался рост данного показателя до 0,28, что является максимальным значением за рассматриваемый период. Именно поэтому, в первые два года анализируемого интервала предприятие функционировало в режиме остаточного производственного риска.

Начиная с 2022 г. ситуация принципиально меняется: в 2022, 2023 и 2024 гг. показатель LTIFR принимает значение 0,00 (рис. 1). Достижение нулевой частоты травм с потерей трудоспособности и ее последовательное удержание на протяжении трех лет в условиях высокоопасного бериллиевого производства не может быть объяснено исключительно статистическими колебаниями. Подобная динамика, как правило, отражает системные изменения в управлении критическими операциями и барьерной архитектуре производства.

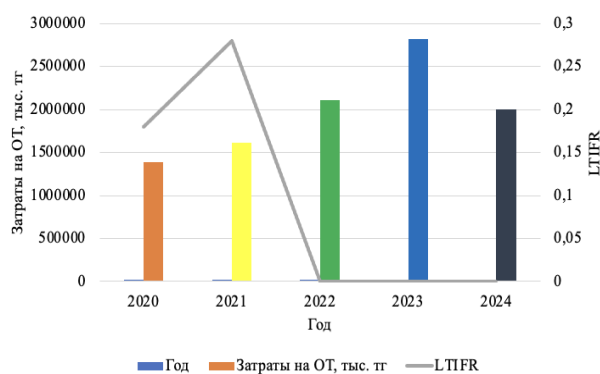


Рисунок 1. Сопоставимая динамика затрат и LTIFR за 2020-2024 гг.

Figure 1. Comparable dynamics of costs and LTIFR for 2020-2024

Параллельный анализ финансовых показателей демонстрирует четкую временную взаимосвязь между уровнем инвестиций в безопасность и динамикой травматизма.

В 2020 г. затраты на охрану труда и промышленную безопасность составили 1 382 325 тыс. руб., в 2021 г. – 1 608 726 тыс. руб.

Начиная с 2022 г. фиксируется резкое увеличение финансирования: до 2 102 982 тыс. тг в 2022 г. и до 2 814 728 тыс. тг в 2023 г. В 2024 г. затраты сохраняются на высоком уровне (1 997 480 тыс. тг), однако ниже пиковых значений 2023 г.

Сопоставление показателей позволяет выделить три этапа.

Первый этап (2020-2021 гг.) – период остаточного риска. LTIFR сохраняется на уровне 0,18-0,28 при умеренном уровне финансирования (до 1,6 млрд тг). Система безопасности функционирует в рамках нормативных требований, однако сохраняется вероятность реализации тяжелых сценариев.

Второй этап (2022-2023 гг.) – фаза интенсивного усиления барьеров. На фоне роста затрат более чем на 1 млрд тг по сравнению с 2020 г. достигается нулевой LTIFR. Данный период характеризуется максимальной инвестиционной активностью в инженерные и организационные меры защиты. С инженерной точки зрения это может включать модернизацию аспирационных систем, экранирование опасных зон, повышение надежности грузоподъемного оборудования, усиление процедур LOTO и контроля работ повышенной опасности.

Третий этап (2024 г.) – этап удержания результата. При снижении затрат относительно пиковых значений 2023 г. предприятие сохраняет нулевой уровень LTIFR. Это указывает на переход от режима капиталоемкого «наращивания» барьеров к режиму сопровождения и поддержания уже внедренной системы.

Такая динамика соответствует инженерной логике жизненного цикла барьеров: первоначальные капитальные вложения формируют устойчивую структуру защиты, после чего поддержание уровня безопасности требует преимущественно эксплуатационных расходов.

Дополнительное подтверждение инвестиционного характера затрат представлено на рисунке 2, где сопоставлены приведенные затраты жизненного цикла мероприятия (PV(C)) и приведенный эффект в виде предотвращенных ожидаемых потерь (PV(ΔEAL)) за 10-летний горизонт при ставке дисконтирования 12 %.

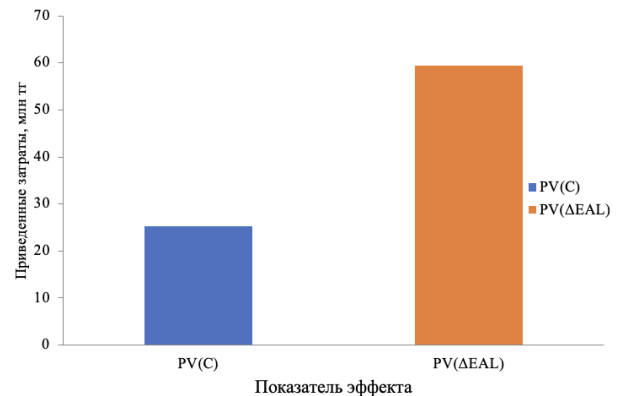


Рисунок 2. Приведенные затраты и предотвращенные потери (ΔEAL)

Figure 2. The costs incurred and losses prevented (ΔEAL)

Согласно расчетам, приведенные затраты составляют около 25 млн тг, тогда как приведенный экономический эффект достигает порядка 59 млн тг. Соотношение $PV(\Delta EAL) / PV(C)$ превышает 2, что свидетельствует о положительной чистой приведенной стоимости ($NPV > 0$) и коэффициенте выгоды-затраты ($BCR > 1$).

Указанные значения были получены на основе сценарного расчета ожидаемых годовых потерь, включающего риски травмирования персонала при выполнении работ повышенной опасности, инциденты при грузоподъемных и стропальных операциях, отказы аспирационных и локальных защитных систем, нарушения процедур LOTO и допуска к работам, а также локальные пожароопасные и термические аварийные ситуации. Для каждого сценария учитывались расчетная годовая вероятность до и после реализации мероприятий, а также оценочная величина возможного ущерба. Это позволило связать экономический эффект не только с общей динамикой LTIFR, но и со снижением вероятности конкретных опасных сценариев.

Полученные результаты подтверждают, что инвестиции в безопасность в данном случае не являются исключительно социально-ориентированными расходами, а имеют прямую экономическую отдачу. Снижение вероятности тяжелых инцидентов приводит к предотвращению потенциально более значительных потерь, связанных с простоями оборудования, компенсацион-

ными выплатами и репутационными рисками.

Таким образом, рост затрат в 2022-2023 гг. может рассматриваться как экономически обоснованный этап формирования устойчивой барьерной структуры.

Для оценки устойчивости достигнутого результата был проанализирован блок ведущих индикаторов (рис. 3).

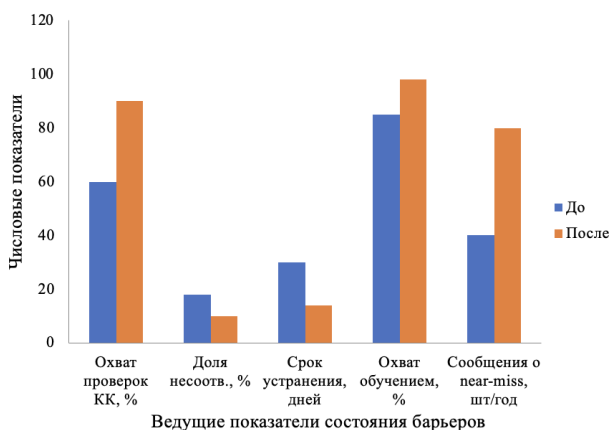


Рисунок 3. Изменение ведущих показателей состояния барьеров (до/после)

Figure 3. Change in key indicators of barrier condition (before/after)

По сравнению с исходным состоянием наблюдаются следующие изменения:

- охват проверок критических контролей увеличился примерно с 60 % до 90 %;
- доля несоответствий снизилась с 18 % до 9 %;
- средний срок устранения нарушений сократился более чем вдвое;
- охват обучением вырос с 85 % до 97 %;
- количество сообщений о near-miss увеличилось с 40 до 80 в год.

Рост числа сообщений о потенциально опасных ситуациях при одновременном снижении травматизма следует интерпретировать не как ухудшение ситуации, а как признак зрелости культуры безопасности и вовлеченности персонала. Ведущие индикаторы демонстрируют усиление контроля и управляемости барьерной системы, что подтверждает системный характер достигнутого нулевого LTIFR.

Комплексный анализ трех блоков данных позволяет сделать вывод, что снижение LTIFR до нулевого уровня в 2022 г. не является случайным. Оно совпадает по времени с фазой активного усиления инженерных и

организационных мер, а последующее удержание результата в 2024 г. сопровождается стабилизацией ведущих показателей и положительным экономическим эффектом.

Данная динамика соответствует принципу ALARP: риск снижен до практически нулевого уровня, при котором дальнейшее уменьшение потребовало бы несоразмерного роста затрат по сравнению с дополнительным выигрышем в безопасности.

Следует отметить ряд ограничений.

Во-первых, анализ базируется на агрегированных данных без детализации по видам происшествий и подразделениям.

Во-вторых, в исследование не включены показатели легких травм и микротравматизма.

В-третьих, экономическая оценка основана на расчетных значениях вероятности реализации сценариев и экспертно-аналитической оценке возможного ущерба. Поэтому полученные значения PV(ΔEAL), NPV и BCR следует рассматривать как обоснованную сценарную оценку экономического эффекта, а не как точное прогнозное значение фактических будущих потерь. Кроме того, модель не учитывает возможные экстремальные события низкой частоты.

Тем не менее совокупность объективных производственных, финансовых и организационных показателей позволяет утверждать, что в АО «УМЗ» в 2020-2024 гг. реализована системная программа снижения производственного риска, обеспечившая устойчивое удержание LTIFR на уровне 0,00 при экономически обоснованном уровне инвестиций.

Заключение

По результатам проведенного исследования установлена устойчивая взаимосвязь между динамикой инвестиций в охрану труда и промышленную безопасность и снижением показателя LTIFR в АО «УМЗ» в 2020-2024 гг. Показано, что рост целевых затрат в 2022-2023 гг. сопровождался достижением нулевого уровня травматизма, а последующая оптимизация расходов в 2024 г. не привела к ухудшению показателей безопасности. За рассматриваемый период предприятие перешло от состояния остаточного риска (LTIFR 0,18-0,28 в 2020-2021 гг.) к устойчивому нулевому значению LTIFR в 2022-

2024 годах.

Комплексный анализ трех блоков данных подтвердил, что зафиксированное снижение травматизма носит системный характер. Сопоставление динамики LTIFR и затрат показало временную согласованность инвестиционной активности и улучшения показателей безопасности. Экономическая оценка мероприятий на основе показателя ΔEAL, выполненная с использованием сценарного подхода к оценке вероятности и ущерба тяжелых производственных инцидентов, продемонстрировала превышение приведенного эффекта над приведенными затратами, что свидетельствует о положительной экономической отдаче реализованных мер. Анализ ведущих индикаторов состояния барьеров подтвердил повышение управляемости критических контролей, рост охвата проверок и обучения, снижение доли несоответствий и увеличение регистрации потенциально опасных ситуаций.

Ключевыми факторами достигнутого результата выступили:

- модернизация и усиление инженерных барьеров (аспирационные системы, локальные укрытия, блокировки, повышение надежности грузоподъемных механизмов);
- повышение управляемости работ повышенной опасности (горячие, газоопасные и стропально-грузоподъемные операции, процедуры LOTO);
- развитие организационной дисциплины и культуры безопасности персонала;
- переход к системному мониторингу ведущих индикаторов состояния барьерной структуры.

Сохранение нулевого уровня LTIFR при умеренном снижении затрат в 2024 г. свидетельствует о переходе от фазы капиталоемкого усиления системы к фазе сопровождения и контроля. Данная траектория соответствует принципу ALARP: основная часть существенного риска была снижена в период активных инвестиций, после чего поддержание достигнутого уровня безопасности обеспечивается за счет эксплуатационного контроля и дисциплины процедур без необходимости постоянного наращивания затрат.

С практической точки зрения, полученные результаты имеют прикладное значение

для предприятий, входящих в контур обеспечения атомной отрасли. Продемонстрирована возможность длительного удержания нулевого LTIFR при переходе от фазы интенсивного финансирования к фазе оптимизации расходов, что подтверждает экономическую обоснованность риск-ориентированного подхода к управлению промышленной безопасностью. В данном случае инвестиции в безопасность проявляют двойной эффект – снижение социального риска и предотвращение потенциальных экономических потерь.

В качестве направлений дальнейшего развития системы безопасности целесообразно выделить:

- расширение цифрового мониторинга состояния инженерных барьеров и соблюдения процедур работ повышенной опасности с использованием инструментов предиктивной аналитики;
- интеграцию санитарно-гигиенических показателей (концентрации аэрозолей бериллия, эффективность фильтрации) в единую систему оценки производственного риска;
- развитие программ таргетированного обучения с учетом категории риска и участия персонала в критических операциях;
- проведение регулярных независимых оценок эффективности барьерной системы;
- совершенствование экономической модели портфельного отбора мероприятий на основе сопоставления «затраты – предотвращенный ущерб».

Перспективы дальнейших исследований связаны с построением прогностических моделей динамики LTIFR и ведущих индикаторов, а также с разработкой методик оценки оптимального уровня инвестиций в безопасность для высокоопасных металлургических производств с бериллиевым переделом.

Результаты исследования подтверждают, что в АО «УМЗ» промышленная безопасность функционирует как управляемый элемент производственной системы, где снижение риска достигается посредством сбалансированного сочетания инженерных, организационных и экономически обоснованных решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Ильенко Е.П. Экономическая оценка системы управления охраной труда и промышленной безопасностью на горнодобывающих предприятиях. Дисс. на соиск. уч. ст. к. э. н. С-Пб-2017., 2017. 160 с. https://spmi.ru/sites/default/files/imci_images/sciens/dissertacii/2017/2017-3/ilenko_dissertaciya_nasayt_dok_.pdf (дата обращения: 18.02.2026).
1. Ilyenko E.P. (2017). Economic assessment of the occupational health and safety management system at mining enterprises. Dissertation for the degree of Candidate of Economic Sciences. St. Petersburg, 2017. 160 p. (In Russ.). Available at: https://spmi.ru/sites/default/files/imci_images/sciens/dissertacii/2017/2017-3/ilenko_dissertaciya_nasayt_dok_.pdf (accessed: 18.02.2026).
2. Ab Rahim M.S., Reniers G., Yang M., Siwayanan P. Integrating Process Safety and Process Security Risk Management: Practitioner Insights for a Resilience-Oriented Framework. *Processes*. 2025;13(2):392. <https://doi.org/10.3390/pr13020392> (accessed: 19.02.2026).
3. Stefana E., Ustolin F., Paltrinieri N. IMPROSafety: A risk-based framework to integrate occupational and process safety. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2022;75:104698. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2021.104698> (accessed: 19.02.2026).
4. Hale A.R., Guldenmund F.W., van Loenhout P.L., Oh J.I.H. Evaluating safety management and culture interventions to improve safety: Effective intervention strategies. *Safety science*. 2010;48(8):1026-1035. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2009.05.006> (accessed: 19.02.2026).
5. Markert F., Duijm N.J., Thommesen J. Modelling of safety barriers including human and organisational factors to improve process safety. *Chemical engineering transactions*. 2013;31:283-288. <https://doi.org/10.3303/CET1331048> (accessed: 20.02.2026).
6. Theophilus S.C., Nwankwo C.D., Acquah-Andoh E., Bassey E., Umoren U. Integrating human factors (HF) into a process safety management system (PSMS). *Process safety progress*. 2017;37(1):67-85. <https://doi.org/10.1002/prs.11909> (accessed: 20.02.2026).
7. Abrahamsen T.A.E. On the use of cost-benefit analysis in ALARP processes. *International Journal of Performance Engineering*, 2007;3(3):345-353. Available at: <https://www.ijpe-online.com/EN/10.23940/ijpe.07.3.p345.mag> (accessed: 25.02.2026).
8. Reiman T., Pietikäinen E. Leading indicators of system safety – Monitoring and driving the organizational safety potential. *Safety science*. 2012;50(10):1993-2000. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2011.07.015> (accessed: 25.02.2026).
9. Phimister J.R., Oktem U., Kleindorfer P.R., Kunreuther H. Near-miss incident management in the chemical process industry. *Risk Analysis: An International Journal*. 2003;23(3):445-459. <https://doi.org/10.1111/1539-6924.00326> (accessed: 25.02.2026).
10. Sundström E., Nygren M. Safety Initiatives in Support of Safety Culture Development: Examples from Four Mining Organisations. *Mining, Metallurgy & Exploration*. 2023;40:1007-1020. <https://doi.org/10.1007/s42461-023-00809-y> (accessed: 25.02.2026).
11. Ali M. X.M., Arifin K., Abas A., Ahmad M.A., Khairil M., Cyio M.B., Samad M.A., Lampe I., Mahfudz M., Ali M.N. Systematic Literature Review on Indicators Use in Safety Management Practices among Utility Industries. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022;19(10):6198. <https://doi.org/10.3390/ijerph19106198> (accessed: 26.02.2026).
12. Kaplan S., Garrick B.J. On the quantitative definition of risk. *Risk analysis*. 1981;1(1):11-27. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.1981.tb01350.x> (accessed: 26.02.2026).

ВКЛАД АВТОРОВ:

Идрисов Т.Ш. – изучение теоретических источников по проблеме для формирования методического аппарата предметной области исследования, написание и вычитка работы;

Коптелов М.В. – концепция и качественная разработка исследования, внесение корректив и уточнений в работу.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ:

Работа выполнена без внешних источников финансирования.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

Конфликт интересов отсутствует.

AUTHORS' CONTRIBUTION:

Idrisov T.Sh. – studying theoretical sources on the subject to develop a methodological framework for the research area, and drafting and editing the paper;

Koptelov M.V. – the design and high-quality development of the research, making corrections and clarifications to the work.

FUNDING:

The study had no external funding.

CONFLICT OF INTEREST:

There is no conflict of interest.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

Таир Шингысканович Идрисов, главный технический руководитель по охране труда и охране окружающей среды Бериллиевого производства АО «Ульбинский металлургический завод» АО «НАК «Казатомпром», г. Усть-Каменогорск, Республика Казахстан; магистр, Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Москва, Российская Федерация.
e-mail: idrisovts@ulba.kz

Матвей Викторович Коптелов, кандидат экономических наук, Н начальник информационно-аналитического центра ОСЧС, Частное учреждение по информационно-аналитическому обеспечению «Ситуационно-кризисный Центр Росатома», г. Москва, Российская Федерация; доцент кафедры № 71 Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Москва, Российская Федерация.
e-mail: MKoptelov@skc.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

Tair Sh. Idrisov, Chief Technical Officer of Labor and Environmental Protection, Berillyevo Production, Ulba Metallurgical Plant JSC, Kazatomprom JSC, Ust-Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan; Master's Degree, National Research Nuclear University «MEPhI», Moscow, Russian Federation.
email: idrisovts@ulba.kz

Matvey V. Koptelov, Can. Sci. (Econ.), Head of the Information and Analytical Centre, Situational and Crisis Centre of State Corporation Rosatom, Moscow, Russian Federation; Associate Professor of Department №71, National Research Nuclear University «MEPhI», Moscow, Russian Federation.
e-mail: MKoptelov@skc.ru

Поступила в редакцию / Received 27.02.2026

После доработки / Revision 13.05.2026

Принята к публикации / Accepted 19.05.2026