

УДК 332.1 DOI: 10.14451/1.255.214

Совершенствование модели оценки социально-экономической эффективности проекта внедрения цифровых технологий для снижения травматизма в угольной отрасли

© 2026 Каманина Маргарита Андреевна

Магистр. Национальный исследовательский университет МЭИ, Россия, Москва.

E-mail: KamaninaMA@mpei.ru

© 2026 Крыленко Елизавета Евгеньевна

Кандидат экономических наук, доцент. Национальный исследовательский университет МЭИ, Россия, Москва.

E-mail: GudkovaYY@mpei.ru

Ключевые слова: угольная промышленность России, уголь, цифровизация, травматизм, система «Умная шахта», социально-экономическая эффективность.

Работа посвящена усовершенствованию модели оценки социально-экономической эффективности проекта внедрения цифровых технологий для снижения травматизма в угольной отрасли России. Объектом исследования является угольная промышленность Российской Федерации. Предметом исследования выступают социальные и экономические последствия цифровизации в угольной отрасли. Цель работы – проанализировать социальные и экономические эффекты от внедрения цифровых технологий.

Статья включает в себя анализ угольной промышленности России, динамику производственного травматизма, а также оценку внедрения цифровых технологий с учётом социальных и экономических аспектов.

Введение

На сегодняшний день угольная промышленность Российской Федерации – это 150 тысяч работников в отрасли, 500 тысяч смежных специалистов и 31 моногород, в котором проживают более 10% населения Сибири и Дальнего Востока.

Россия занимает шестое место по добыче угля и третье место по экспорту угля в мире, что подтверждает востребованность высококачественного российского угля на мировом рын-

ке. На внутреннем рынке уголь используется как основной источник для работы тепловых электрических станций, где 35% электроэнергии вырабатывается на угольной генерации.

Внедрение цифровых технологий в угольной промышленности является частью глобальных процессов цифровизации, направленных на повышение эффективности производства, улучшение контроля за процессами и снижение производственных издержек. Экономические

эффекты цифровизации зачастую рассматриваются в отрыве от социальных факторов, что может приводить к росту социальных напряжений и снижению устойчивости развития регионов, зависящих от угольной промышленности. Учет социальных и экономических последствий при внедрении цифровых технологий в угольную промышленность позволит обеспечить более сбалансированный подход к цифровой трансформации отрасли, будет способствовать не только повышению экономической эффективности предприятий, но и снижению социальных рисков, связанных с сокращением рабочих мест и изменением требований к квалификации сотрудников. Кроме того, угольная промышленность является социально значимой отраслью для многих регионов, где она формирует основу региональной экономики. Сокращение рабочих мест из-за автоматизации, изменение квалификационных требований к сотрудникам, необходимость социальной адаптации работников, а также региональные экономические дисбалансы, связанные с сокращением занятости в угледобывающих районах, создают вызовы, которые нельзя игнорировать.

В этих условиях учет социальных последствий цифровизации становится неотъемлемой частью устойчивого развития отрасли при сохранении важности оценки экономической целесообразности внедрения цифровых технологий в целях минимизации рисков и усиления положительного эффекта.

Травматизм в угольной промышленности России

Российский рынок угля характеризуется высокой степенью зрелости, в таких условиях экономический рост за счет наращивания объемных показателей практически исчерпан и возможен только посредством интенсивного роста, обеспечиваемого внедрением цифровых технологий, модернизацией оборудования, повышением квалификации персонала. Внедрение цифровых технологий в угольную промышленность неизбежно влечет за собой появление различного рода социальных последствий, таких как снижение травматизма, сокращение рабочих мест,

трансформация корпоративной культуры, переобучение персонала.

Промышленная безопасность в угольной промышленности России имеет исключительно важное социальное значение, поскольку угледобыча относится к числу наиболее опасных отраслей промышленности. Работа в шахтах и на разрезах связана с повышенным риском аварий, взрывом метана и угольной пыли, обрушением горных пород, пожарами и воздействием вредных факторов на здоровье работников, что может быть вызвано нарушением технологических норм и правил эксплуатации оборудования. В связи с этим главной целью промышленной безопасности является сохранение жизни и здоровья шахтёров. На рисунке 1 представлена динамика добычи, показателей аварийности и смертельного травматизма на объектах угольной промышленности в 1996–2024 годах [3; 5; 9].

Был проведен корреляционный анализ, который показал наличие сильных отрицательных связей между объёмами добычи, числом смертельно травмированных работников и численностью персонала предприятия.

Коэффициент корреляции между добычей и числом аварий со смертельным исходом составил 0,802, что свидетельствует о высокой обратной связи. Коэффициент корреляции между добычей и числом смертельно травмированных составил 0,785, что свидетельствует о высокой обратной зависимости. Это означает, что при увеличении объёмов добычи количество аварий со смертельным исходом и число смертельно травмированных сотрудников, как правило, снижается. Подобная зависимость может быть обусловлена внедрением более современных безопасных технологий, совершенствованием системы производственного контроля, улучшением организации и безопасности труда, повышением уровня производственной дисциплины.

Коэффициент корреляции между добычей и численностью персонала равен 0,821, что также



Рис. 1. Динамика добычи, показателей аварийности и смертельного травматизма на объектах угольной промышленности (Ростехнадзор).

указывает на сильную отрицательную связь. Увеличение добычи сопровождается сокращением численности работников, что может быть обусловлено ростом производительности труда, автоматизацией производственных процессов и оптимизацией штатной структуры.

Таким образом, результаты анализа позволяют сделать вывод о том, что повышение эффективности производства способствует не только росту объёмов добычи, но и снижению уровня производственного травматизма, а также оптимизации численности персонала за счёт повышения производительности труда. Это является положительной тенденцией, отражающей улучшение технического уровня и условий безопасности на предприятии.

На рисунке 2 представлен удельный показатель смертельного травматизма, который определяется как количество смертельно травмированных на 1 млн тонн добытого угля. За анализируемый период наблюдается положительная тенденция снижения данного показателя, на 2024 г. удельный показатель смертельного травматизма составил 0,03 чел./млн тонн.

Несмотря на проводимые мероприятия по улучшению условий труда, в угольной промышленности сохраняются крайне высокие показатели смертности на рабочем месте, как по причине травматизма, так и по причине смерти от естественных причин. Наиболее неблагоприятная ситуация наблюдается в шахтах. Это связано с наличием комплекса вредных и опасных производственных факторов и высоким риском возникновения аварий. Указанное свидетельствует

о необходимости разработки и внедрения мероприятий по снижению смертности, в том числе с использованием системы прогнозирования и оценки рисков [8].

За последние годы самой крупной аварией в угольной отрасли стал взрыв в 2021 году на шахте ООО «Шахта «Листвяжная». На глубине 250 метров в вентиляционном штреке произошёл взрыв метана, в момент инцидента под землей находилось 285 человек, 51 человек погиб (46 шахтеров, 5 спасателей) [1]. До указанной аварии в шахте уже происходили крупные происшествия: в 1981 году взрыв метана унёс жизни 5 человек, в 2004 году – 13 человек. Аварии в угольной промышленности ведут не только к человеческим жертвам, но и к колоссальным экономическим потерям, разрушению инфраструктуры, остановке производства.

В связи с этим ключевыми элементами безопасности развития отрасли становятся современные технологии – автоматизированные системы контроля метана, дистанционный мониторинг и роботизация.

Усовершенствование модели оценки социально-экономических эффектов

Для получения единого представления о влиянии внедрения цифровых технологий в угольную отрасль следует учитывать не только экономические, но и социальные показатели. Оценка социальной эффективности является менее распространённым подходом, нежели оценка экономической эффективности, так как требует выработки особой методики, позволяющей сравнивать социальные эффекты с вложенными инвестициями.

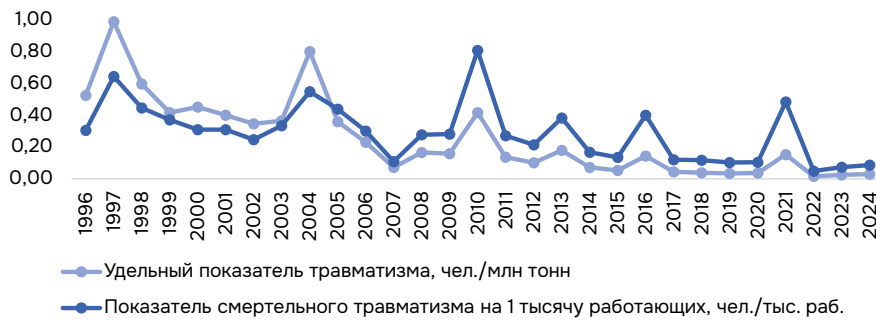


Рис. 2. Показатели удельного травматизма и смертельного травматизма.

Классическая модель анализа «затраты-результативность» (Cost-Effectiveness Analysis, CEA), представленная в формуле (1), является универсальным инструментом для сравнительной экономической оценки альтернативных проектов (позволяет сравнить затраты в денежном выражении и социального эффекта в натуральных показателях). Чем ниже полученный показатель, тем эффективнее.

$$CEA = \frac{C}{E}, \quad (1)$$

где C – затраты, руб.; E – единица результата (например, количество спасенных сотрудников, количество обученных сотрудников).

Однако его прямое применение к оценке инвестиций в промышленную безопасность не дает возможности конкретно оценить результат (количество спасенных жизней) с учетом вероятности риска.

Совершенствование модели предлагается следующим образом:

$$CEA = \frac{C_{\text{кап}} + C_{\text{эксп}} \cdot t_{\text{эксп}}}{ССЧ_0 \cdot k \cdot (P_1 - P_2) \cdot t_{\text{эксп}}}, \quad (2)$$

где

$C_{\text{кап}}$ – величина капитальных вложений, руб.;

$C_{\text{эксп}}$ – эксплуатационные издержки, руб.;

$t_{\text{эксп}}$ – срок службы, лет;

$ССЧ_0$ – среднесписочная численность персонала по основному виду деятельности, чел.;

P_1 – вероятность аварии до внедрения;

P_2 – вероятность аварии после внедрения;

k – коэффициент, отражающий вероятность гибели.

Вероятность наступления аварийного случая взрыва метана [3] определяется по формуле:

$$P_{t_1} = \frac{m}{n}, \quad (3)$$

где m – число произошедших аварий за период; n – продолжительность периода, предшествующего взрыву, сутки.

Допустим, что внедрение новейших датчиков метана уменьшит интенсивность аварий на некоторый процент x .

$$P_{t_2} = \frac{m(1 - x\%)}{n} \quad (4)$$

В данном случае показатель отразит стоимость одной статистически спасенной жизни. Усовершенствованная модель позволит принимать решения о целесообразности внедрения цифровых технологий для повышения безопасности труда.

Первоначальная модель предполагает детерминированную связь (без влияния случайности) «затраты-гарантированный результат», в реальности же необходимо учитывать вероятность наступления нежелательного события и тяжесть его последствий. Отсутствие в модели вероятностей делает ее неприменимой для оценки мероприятий по управлению рисками. В таблице ниже приведен сравнительный анализ классической и усовершенствованной моделей анализа «затраты-результативность».

Таблица 1. Сравнительный анализ классической и модернизированной моделей анализа «затраты-результативность».

Критерий сравнения	Классическая формула	Усовершенствованная формула	Комментарий
Содержание	Сравнительная оценка альтернативных проектов для достижения одной и той же цели с минимальными затратами	Оценка эффективности инвестиций в безопасность с точки зрения предотвращения смертности с учетом вероятности	Адаптация к специфике
Измерение результата (E)	Натуральный, но промежуточный показатель	Конечный социально значимый показатель	Классический вариант не дает ответа на вопрос о том, сколько жизней спасено
Учет вероятности риска	Отсутствует	Интегрирован	Без учета вероятности модель не применима для оценки мер, направленных на редкие катастрофы
Временной горизонт	Год	Период	Формула учитывает не окупаемость инвестиций, а «цену» безопасности
Объект оценки	Широкая номенклатура	Узко направлен	Адаптирован под промышленную безопасность

Адаптация модели превращает классический экономический инструмент в специализированный инструмент для оценки мер безопасности и позволяет оценить не стоимость системы, а стоимость спасенной жизни.

Оценка социально-экономической эффективности внедрения системы «Умная шахта» на примере ООО «Шахта «Листвяжная»

Для повышения промышленной безопасности на ООО «Шахта «Листвяжная» предлагается внедрить единый информационно-управляющий комплекс «Умная шахта», услуги по внедрению которого предоставляет ведущая компания ООО «НПФ «Гранч». Комплекс предназначен для мониторинга и управления технологическим оборудованием в шахте, обеспечения связи и сигнализации, наблюдения, оповещения и поиска людей, попавших в аварию. Несмотря на первоначальные затраты и потребность в обучении персонала, преимущества этой технологии значительно превосходят возможные недостатки, что определяет внедрение данного комплекса

как стратегически важное направление развития для предприятия в области промышленной безопасности.

Схема угольной шахты и направление потоков воздуха регламентируют месторасположение датчиков аэрогазового контроля (АГК). Приток воздуха происходит сверху вниз от входного ствола к забою, отток возвратного воздуха происходит от забоя обратно к стволу. Действующее российское законодательство определяет не нормативное число датчиков-газоанализаторов, а предписывает места их установки. Согласно исходному плану шахты количество датчиков-газоанализаторов метана соответствует действующему законодательству и составляет 20 единиц. Практика проектирования датчиков АГК включает в себя запас на отказ/резерв и запасные позиции. Следовательно, целесообразно увеличить их количество на 30% (до 26 активных датчиков и 3 резервных) для покрытия «слепых зон» и создания запаса в случае снятия на проверку.

Капитальные вложения в систему «Умная шахта» включают в себя затраты на приобретение системы «SBGPS», системы «Granch МИС» и монтажные работы [4] (табл. 2).

Финансирование проекта будет осуществляться из собственных и заемных средств согласно

структуре, заложенной в финансовой модели компании до 2035 года. Норма дисконта принята на уровне 9,1% с учетом использования метода средневзвешенной стоимости капитала (WACC). Исходные данные для проведения оценки социально-экономической эффективности проекта приведены в таблицах 3–4.

Таблица 2. Капитальные вложения в систему «Умная шахта».

Показатель	Стоимость, руб.
Стоимость системы «Granch МИС» (исходя из сметы)	17 455 300
Стоимость системы «SBGPS» для горной выработки, протяженность которой составляет 41 км (исходя из сметы на 1 км горных выработок)	164 637 960
Итого «Умная шахта» (1+2)	182 093 260
Монтажные работы (4%)	7 283 730,4
Итого	189 376 990,4

Таблица 3. Исходные данные для оценки проекта на 31.12.2025 г. [2; 6; 7; 10–12]

Наименование показателя	Единица измерения	Значение
Среднемесячная заработная плата одного рабочего по добыче угля	тыс. руб./чел.	140, 5
Среднесписочная численность работников по основному виду деятельности	чел.	1 346
Среднесписочная численность работников предприятия	чел.	1 359
Выплаты социального характера	тыс. руб./чел.	28,6
Сокращение численности персонала за счет автоматизации	%	15
Потребность в переобучении персонала в процентном отношении от среднесписочной численности	%	12
Затраты на обслуживание системы	%	3
Снижение вероятности несчастных случаев	%	35
Затраты на переобучение	тыс. руб./чел.	12 000
Капитальные вложения	тыс. руб.	189 376,99
Норма амортизации	%	10
Амортизационные отчисления	тыс. руб./год	18 938
Ставка дисконтирования	%	9,1
Рост затрат на электроэнергию	%	0,2
Затраты на переобучение	тыс. руб.	1 648
Сокращение социальных отчислений	тыс. руб.	4
Снижение фонда оплаты труда	тыс. руб.	28376

Продолжение на следующей странице

Таблица 3. Исходные данные для оценки проекта на 31.12.2025 г. [2; 6; 7; 10–12] (Продолжение таблицы)

Наименование показателя	Единица измерения	Значение
Величина выплат за 1 погибшего	тыс. руб. в год/чел	19 607,84
Величина выплат за весь период (33 человека за 10 лет)	тыс. руб. /чел	648 477,7

Таблица 4. Данные для расчета социального эффекта от внедрения системы «Умная шахта».

Капитальные вложения	тыс. руб.	189 376,99
Эксплуатационные издержки (амортизация + электроэнергия + затраты на обслуживание системы)	тыс. руб.	25 451,82
Срок службы	лет	10,00
Среднесписочная численность персонала по основному виду деятельности (после внедрения системы)	чел.	1 144
Вероятность аварии до внедрения	–	0,046154
Вероятность аварии после внедрения	–	0,030000
Коэффициент, отражающий вероятность гибели	–	0,18
Число произошедших аварий за период	шт.	3
Продолжительность рассматриваемого периода	лет	65
Суммарные вложения	тыс. руб.	443 895,15
Количество спасенных жизней	чел./весь период эксплуатации	33
Количество спасенных в год	чел./год	3
СЕА	тыс. руб./спасенная жизнь	13 421,19

Расчеты проводились согласно формулам (2)–(4).

$$\begin{aligned}
 \text{СЕА} &= \frac{C_{\text{кап}} + C_{\text{эксп}} \cdot t_{\text{эксп}}}{\text{ССЧ}_0 \cdot k \cdot (P_1 - P_2) \cdot t_{\text{эксп}}} = \frac{189376,99 + 25451,82 \cdot 10}{1144 \cdot 0,18 \cdot (0,046154 - 0,03) \cdot 10} = \frac{443895,1541}{33} = \\
 &= 13421,19 \text{ тыс. руб./спасенная жизнь.}
 \end{aligned}$$

$$P_{\text{т1}} = \frac{m}{n} = \frac{3}{(2021 - 1956)} = 0,046154.$$

Внедрение новейших датчиков метана уменьшит интенсивность аварий на 35% согласно статистическим данным.

$$P_{t_2} = \frac{m \cdot (100\% - x\%)}{n} = \frac{3 \cdot (100\% - 35\%)}{(2021 - 1956)} = 0,03$$

$$k = \frac{\text{количество погибших шахтеров}}{\text{количество шахтеров под землей}} = \frac{51}{285} = 0,18$$

$$\sum C = C_{\text{кап}} + C_{\text{эксп}} \cdot t_{\text{эксп}} = 189376,99 + 25451,82 \cdot 10 = 443895,15 \text{ тыс. руб.}$$

$$\sum \text{Количество спасенных} = 1144 \cdot 0,18 \cdot (0,046154 - 0,03) \cdot 10 = 33 \text{ чел.}$$

Полученный показатель СЕА отражает величину удельных капитальных вложений, приходящихся на спасение жизни одного человека. Данный показатель позволяет проводить сравнительную оценку альтернативных инвестиционных проектов, направленных на достижение сопоставимой социальной цели – снижение смертельного производственного травматизма.

Согласно официальным источникам на выплаты семьям пострадавших был выделен 1 млрд рублей. Таким образом, выплата на одного погибшего составила 19 607,84 тыс. руб. Данный показатель учитывается в денежном потоке в выплатах социального характера.

Согласно показателям, приведенным в таблице 5, проект внедрения системы «Умная шахта» является экономически эффективным.

Таблица 5. Показатели экономической эффективности проекта.

Показатель	Единица измерения	Комментарий
Чистый дисконтированный доход	тыс. руб.	362 690,24
Дисконтированный срок окупаемости	год	Окупается с 3 на 4 год
Индекс доходности дисконтированных инвестиций	–	2,92
Внутренняя норма доходности	%	41

Заключение

Разработанная модель является отраслевым вариантом показателя «затраты-результативность», позволяя ответить на вопрос, сколько стоит достижение одного социально-значимого результата – спасения человеческой жизни при реализации проекта. Модель примечательна тем, что она применима для проектов в области промышленной безопасности, для социально ориентированных инвестиций и решений, где жизнь и здоровье работников приоритетнее, чем максимизация прибыли. В отличие от классических инвестиционных показателей в данной модели результат равен спасенной жизни, а затраты равны капитальным вложениям.

Для угольной промышленности модель особенно актуальна в силу высокого уровня смертель-

ного риска и катастрофических последствий аварий. Усовершенствованный показатель СЕА позволяет сравнить различные цифровые решения, разные шахты и разные сценарии внедрения, если цель у них одна и та же – снижение смертности. Полученное значение не является абстрактным показателем, а служит инструментом сравнительного анализа, позволяя сопоставлять эффективность таких мероприятий по снижению смертности, как модернизация вентиляционных систем, организационные меры или внедрение альтернативных цифровых решений.

В рамках анализа социальных последствий потерь трудоспособного населения эксперты оценивают экономический ущерб от преждевременной смерти в России в диапазоне от 16,5 до 22,3 млн руб. на одну жизнь, исходя из потерь

валового внутреннего продукта и стоимости недоработанных лет [10]. Таким образом, полученный в работе показатель удельных капитальных вложений в размере 13,4 млн руб. на одну спасённую жизнь сопоставим по порядку величины с оценками экономического ущерба, что подтверждает социально-экономическую обоснованность рассматриваемого цифрового проекта.

Внедрение цифровых систем промышленной безопасности в угольной промышленности позволяет не только снизить смертельный травматизм, но и сохранить кадровый потенциал пред-

приятий. Для моногородов данный эффект имеет ключевое значение, поскольку обеспечивает устойчивость занятости, преемственность компетенций и снижает социально-экономические риски регионального развития.

Результаты исследования подтверждают, что учет социально-экономических последствий цифровизации является необходимым условием устойчивого развития угольной промышленности Российской Федерации, а предложенная модель может служить инструментом повышения обоснованности управленческих решений в сфере цифровой трансформации отрасли.

Библиографический список

1. Гудки тревожно прогудели / Центральное диспетчерское управление топливно-энергетического комплекса. – URL: https://www.cdu.ru/tek_russia/issue/2022/1/985/ (дата обр. 16.12.2025).
2. Интеграция распределённых облачных вычислений для повышения эффективности угольной добычи и мониторинга горных процессов / К. В. Харченко [и др.] // Горная промышленность. – 2025. – № 2. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/integratsiya-raspredelyonnyh-oblachnyh-vychisleniy-dlya-povysheniya-effektivnosti-ugolnoy-dobychi-i-monitoringa-gornyyh-protsessov>.
3. Новоселов С. В., Панихидников С. А. Травматизм в угольной промышленности России и прогнозирование риска аварий взрыва метана на опасном производственном объекте – в очистном забое сверхкатегорной шахты // Уголь. – 2017. – 9 (1098). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/travmatizm-v-ugolnoy-promyshlennosti-rossii-i-prognozirovanie-riska-avariy-vzryva-metana-na-opasnom-proizvodstvennom-obekte-v-ochistnom-zaboe> (дата обр. 16.12.2025).
4. О компании / Гранч. – URL: <https://www.granch.ru/ru/company> (дата обр. 16.12.2025).
5. Отгрузка угольной продукции за 2020–2024 гг. Статистические отчёты / Центральное диспетчерское управление топливно-энергетического комплекса.
6. Профессиональная переподготовка по горному делу / Моя профессия. – URL: <https://my-professia.ru/gornoe-delo> (дата обр. 16.12.2025).
7. Стало известно, сколько денег Федяев выплатил семьям погибших на «Листвяжной» в Кузбассе / Кузбасс онлайн. – 2025. – URL: <https://ngs42.ru/text/criminal/2025/11/05/76106305/> (дата обр. 16.12.2025).
8. Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. Ежегодные отчёты о деятельности. – URL: https://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports (дата обр. 16.12.2025).
9. Экономика угольной отрасли за 2020–2024 гг. Статистические отчёты / Центральное диспетчерское управление топливно-энергетического комплекса.
10. Эксперты рассчитали ущерб для экономики России от преждевременных смертей. Наибольший урон наносят болезни системы кровообращения / РБК. – URL: <https://www.rbc.ru/economics/18/01/2024/65a66afd9a79470cf70e7ee7> (дата обр. 16.12.2025).
11. Mining industry and workforce of the future / World Economic Forum. – URL: <https://www.weforum.org/stories/2021/05/7-insights-mining-industry-prepare-workforce-future/> (visited on 12/16/2025).
12. Smart mining: industry of the future / VanEck. – URL: <https://www.vaneck.com/de/en/is-smart-mining-an-industry-of-the-future-whitepaper.pdf> (visited on 12/16/2025).