УДК 331.45

Коюда Наталья Александровна, студент (Филиал КузГТУ, г. Прокопьевск)
Семынина Софья Александровна, студент (Филиал КузГТУ, г. Прокопьевск)
Трифонова Ангелина Евгеньевна, студент (Филиал КузГТУ, г. Прокопьевск)
Хомченко Полина Валерьевна, студент (Филиал КузГТУ, г. Прокопьевск)
Koyuda Natalya Alexandrovna, student (KuzSTU Branch, Prokopyevsk)
Semynina Sofya Alexandrovna, student (KuzSTU Branch, Prokopyevsk)
Trifonova Angelina Evgenievna, student (KuzSTU Branch, Prokopyevsk)
Khomchenko Polina Valerievna, student (KuzSTU Branch, Prokopyevsk)

ШАХТА, КОТОРАЯ ПРЕДВИДИТ: ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ПРЕДИКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ОХРАНОЙ ТРУДА НА ОСНОВЕ ВЫЯВЛЕНИЯ СКРЫТЫХ ПРЕДАВАРИЙНЫХ СОСТОЯНИЙ

THE MINE THAT ANTICIPATES: AN INTELLIGENT PREDICTIVE OCCUPATIONAL SAFETY MANAGEMENT SYSTEM BASED ON DETECTION OF HIDDEN PREACCIDENT STATES

Аннотация. В работе рассматривается идея интеллектуального модуля в составе СУОТ, который может заранее фиксировать опасные состояния по совокупности производственных факторов и по тому, как эти факторы меняются во времени. Основанием для такой постановки вопроса стал опрос 20 работников, занятых на разных горнодобывающих предприятиях. По итогам опроса выделены возможные функции модуля, а также пределы, в которых его применение выглядит оправданным.

Abstract. The study examines the concept of an intelligent module as part of an occupational safety management system. Its task is to detect hazardous conditions at an early stage by analysing both the combination of production factors and their changes over time. The concept is based on a survey of 20 employees from different mining enterprises. The paper also identifies the expected functions of the module and the main limits of its practical use.

Ключевые слова: охрана труда, промышленная безопасность, горнодобывающая организация, предиктивная аналитика, искусственный интеллект, предаварийное состояние, система раннего предупреждения.

Введение

На горном предприятии обстановка на участке почти никогда не определяется одним фактором. На нее одновременно влияют состав рудничной атмосферы, работа вентиляции, состояние оборудования, порядок ведения технологического процесса и действия работников. Правила безопасности прямо закрепляют требования к ведению горных работ и контролю опасных факторов [1]. Этого все равно не всегда хватает. Отдельная проверка каждого показателя может не показать нарастающую угрозу, если опасные изменения складываются постепенно и проявляются только в сочетании нескольких признаков.

Цифровые инструменты уже позволяют собирать данные из разных источников и сопоставлять их между собой. В докладе Международной организации труда вопрос цифровизации и применения искусственного интеллекта связывается именно с управлением рисками на рабочем месте. Там же отдельно подчеркивается, что результат зависит не только от алгоритма, но и от качества исходных данных, плюс от участия самих работников [2]. Это замечание важно, потому что в подобных работах часто слишком быстро переносят техническое решение в реальную производственную среду. Такой переход не всегда работает.

В центре исследования стоит более узкий вопрос: можно ли заметить ухудшение производственной обстановки раньше, чем один из контролируемых параметров дойдет до предельного значения. Смысл здесь не в замене действующего контроля. Смысл в том, чтобы поймать опасную комбинацию немного раньше.

Например, рост вибрации сам по себе еще не всегда требует остановки оборудования. Повышение температуры узла тоже может оставаться в допустимых пределах. Повторяющиеся отказы или изменение нагрузки нередко воспринимают как отдельные эпизоды, а не как общую картину. Но если эти признаки появляются вместе, ситуация уже выглядит иначе. В таком случае дополнительная проверка нужна раньше, чем сработает обычный пороговый контроль.

Цель и задачи исследования

Цель исследования — обосновать концепцию интеллектуального модуля для системы управления охраной труда горного предприятия. Предполагается, что модуль будет сопоставлять показатели и выявлять их сочетания, которые могут указывать на развитие опасного состояния до появления явных аварийных признаков.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

— выяснить, какие признаки приближения опасной ситуации отмечают работники горнодобывающих предприятий;

— определить, считают ли участники опроса сочетание нескольких факторов более опасным, чем каждый фактор по отдельности;

— оценить отношение респондентов к раннему предупреждению и степень доверия к нему;

— установить, какие действия работники считают сделать в первую очередь, после получения сигнала о повышенном риске;

— выявить препятствия для внедрения интеллектуального модуля;

— на основе полученных ответов описать последовательность работы модуля и его место в действующей СУОТ.

Материалы и методы

Практическая часть исследования опирается на анкетирование 20 работников разных горнодобывающих предприятий. В анкету включили вопросы с пятибалльной шкалой, варианты ответа в готовой форме и один

открытый вопрос. Участники оценивали вибрацию и утомляемость, высказывали мнение о сочетании нескольких опасных факторов и определяли, насколько полезной они считают функцию раннего предупреждения.

Отдельный блок касался действий персонала при обнаружении повышенного риска, а также возможных трудностей при внедрении такой системы. Открытый вопрос дал возможность респондентам самим назвать признаки, по которым они обычно распознают ухудшение обстановки на рабочем месте.

Ответы анализировались описательным методом. Рассчитывались средние оценки по пятибалльной шкале и доли выбранных вариантов. Ответы на открытый вопрос затем сгруппировали по смыслу. В итоге выделили технические признаки и признаки, связанные с организацией работ и поведением персонала. 20 человек — это слишком небольшая выборка для выводов по всей отрасли. Поэтому полученные результаты стоит использовать как исходный материал для формулирования требований к концепции, а не как основание для жестких нормативных порогов. Здесь есть и еще один момент. Опрос показывает восприятие риска работниками, но сам по себе не доказывает, какие комбинации факторов действительно ведут к аварии. Для этого уже нужны производственные данные, причем достаточно длинные ряды наблюдений.

Результаты опроса

На вопрос о совместном воздействии факторов 65 % участников ответили «да», ещё 25 % выбрали вариант «скорее да», значит 18 из 20 опрошенных положительно оценили утверждение о том, что сочетание нескольких признаков может быть опаснее каждого из них по отдельности. Ещё 2 человека затруднились с ответом.

Респонденты также оценивали вибрацию и утомляемость по 5-балльной шкале. Средняя оценка вибрации составила 3,55 балла, утомляемости - 4,75 балла. Для вибрации чаще всего выбирали 3 балла (35 %), тогда как 80 % участников оценили утомляемость на 5 баллов. Это показывает, что в ответах утомляемость получила более высокую субъективную оценку, чем вибрация.

Показатель	**Результат**	**Интерпретация для модели**
Сочетание нескольких факторов опаснее отдельных	65 % - «да»; 25 % - «скорее да»	Необходим совместный анализ признаков
Допустимые отдельные показатели при общей тревожной ситуации	45 % - часто; 20 % - иногда	Важна оценка контекста и динамики
Полезность раннего предупреждения	45 % - очень полезна; 30 % - скорее полезна	Есть выраженный запрос на раннее предупреждение

Доверие к функции раннего предупреждения	35 % - да; 40 % - скорее да; 25 % - только как дополнительный инструмент	Система должна поддерживать, а не заменять специалиста

Отдельно выяснялось, приходилось ли участникам сталкиваться с ситуацией, когда отдельные показатели оставались в допустимых пределах, но общая обстановка вызывала беспокойство. Часто с этим сталкивались 45 % респондентов, иногда - 20 %, редко - 20 %. Ещё 15 % затруднились ответить. Следовательно, 13 из 20 участников указали, что подобные ситуации возникали часто или иногда. Этот результат поддерживает необходимость рассматривать показатели в контексте их совместного изменения.

Пользу раннего предупреждения очень высокой оценили 45 % участников, ещё 30 % сочли её скорее полезной. При этом 35 % заявили о готовности доверять таким сообщениям, 40 % ответили «скорее да», а четверть опрошенных готовы использовать предупреждение только как дополнительный инструмент. Эти ответы указывают, что сигнал системы должен помогать специалисту разобраться в ситуации, а не автоматически заменять его оценку.

Основные барьеры внедрения

Ответы о внедрении показывают простую вещь: одного сообщения о повышенном риске недостаточно. Специалист должен видеть, почему система вообще выдала предупреждение, какие показатели изменились, как быстро пошло это изменение и какие признаки совпали по времени. Поэтому в концепцию включено пояснение к каждому сигналу. Иначе работник получит тревогу, но не сможет быстро проверить ее, по существу, и выбрать, что делать дальше.

90 % участников чаще всего указывали на ошибки алгоритма как на главный риск внедрения. Стоимость назвали 70 %, вопросы ответственности - 60 %.

Недоверие работников отметили 55 % респондентов, а недостаток данных - 50 %. Нехватку подготовленных специалистов указали 45 %, сложность внедрения - 35 %. Цифры показывают, что людей беспокоят не только технические сбои. Их не меньше волнуют организационные последствия, то есть кто получит предупреждение, кто обязан его проверить и кто потом отвечает за принятое решение. Здесь как раз часто и возникает пробел: техническую часть обсуждают подробно, а порядок действий после сигнала остается размытым.

В свободных ответах респонденты называли признаки, связанные с оборудованием и производственной средой. Среди них были необычный шум, вибрация, нагрев, запах дыма или газа, утечки, искрение, нестабильные показания датчиков и повторяющиеся неисправности.

Отдельно участники говорили о признаках, связанных с работой персонала. Они упоминали усталость, невнимательность, спешку, рост числа ошибок, сбои во взаимодействии между сотрудниками и игнорирование предупреждений. Это важно, потому что опасность на участке работники связывают не только с техникой, но и с тем, как организован труд. Причины простые.

Концепция «Шахта, которая предвидит»

В открытых ответах повторялась одна мысль: формально допустимые показания еще не означают, что участок действительно работает спокойно. Участники вспоминали ситуации, когда тревогу вызывали необычный шум, запах, мелкие, но повторяющиеся неисправности или изменение поведения работников. Один числовой порог такие признаки часто не ловит. Поэтому предлагаемая модель должна учитывать не только сами значения параметров, но и их изменение во времени, а также совпадение нескольких событий.

Модуль стоит встраивать в действующую систему управления охраной труда как инструмент дополнительного анализа. Он не заменяет обязательные проверки, не отменяет требования промышленной безопасности и не забирает полномочия у специалистов. Его задача уже. Он сопоставляет сведения из разных источников и выделяет такие комбинации признаков, которые требуют проверки на участке.

Последовательность обработки информации включает несколько этапов:

ИСТОЧНИКИ ИНФОРМАЦИИ → ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ ВО ВРЕМЕНИ → ВЫЯВЛЕНИЕ КОМБИНАЦИЙ ПРИЗНАКОВ → АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ → СИГНАЛ О РИСКЕ → УПРАВЛЕНЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ

В качестве исходных данных можно использовать сведения о составе рудничной атмосферы, работе вентиляции, температуре и вибрации оборудования, технических отказах, параметрах технологического процесса и текущей нагрузке. Если предприятие реально собирает такие данные, можно подключать и факторы организации труда. Состав входной информации в любом случае будет зависеть от оборудования и условий конкретного объекта. Например, рост вибрации сам по себе еще не означает аварийное состояние оборудования. Но когда одновременно растет температура узла, повторяются небольшие отказы и увеличивается нагрузка, специалист уже видит не один, а несколько совпавших сигналов. Модуль должен выделять именно такую комбинацию и передавать ее на проверку. Он не должен сразу объявлять аварию неизбежной, и это принципиально.

Для настройки модели потребуются производственные данные за достаточно длинный период. Только на такой базе можно сопоставить значения параметров с теми событиями, которые реально происходили на участках, и понять, какие сочетания действительно предшествовали опасным ситуациям. Лишь после этого есть смысл обосновывать пороговые значения и коэффициенты. Ответы анкеты для такой задачи не подходят. Они отражают мнение работников, а не измеренную связь между параметрами.

При всей детализации, в настоящем исследовании численные коэффициенты и пороги не устанавливаются. Не хватает массива производственных наблюдений. Предложенная схема описывает скорее принцип будущей модели, а ее точность и пригодность еще нужно проверить на архивных данных и на сценариях, которые стоит готовить вместе со специалистами предприятий. Этот момент иногда упускают в публикациях о цифровых решениях для промышленной безопасности [4; 5]. Там модель нередко выглядит убедительно на уровне идеи, но без внятной проверки на реальной производственной истории ее полезность остается под вопросом.

После такой проверки система потенциально сможет выделять несколько уровней состояния участка: штатное, требующее внимания, предаварийное и критическое. Пока эти уровни входят только в концепцию. Их границы должны появиться после испытаний и с учетом действующих требований промышленной безопасности [1].

Практический сценарий работы системы

Рассмотрим условный пример. На участке концентрация опасного вещества остается ниже установленного предела. Одновременно фиксируются рост вибрации, повышение температуры оборудования и увеличение рабочей нагрузки. Если проверять каждый показатель отдельно, тревога может и не возникнуть. Модуль сопоставляет текущие значения с предыдущими измерениями и проверяет, совпадают ли изменения по времени. Если найденная комбинация похожа на сценарий, который при анализе производственных данных уже связывался с повышенным риском, система направляет специалисту предупреждение. Такой сигнал означает необходимость осмотра участка и выяснения причин. Доказательством неизбежной аварии он не является.

В самом сообщении система должна перечислить показатели, которые повлияли на оценку, и показать, как именно они изменились. После получения предупреждения ответственный работник проверяет исходные сведения и действует по процедурам, которые уже установлены на предприятии. Получается, модуль помогает определить повод для проверки, а решение о дальнейших мерах человек принимает сам.

Обсуждение результатов

Результаты опроса позволяют говорить о том, что работники в целом поддерживают идею совместного анализа признаков риска. Это совпадает с тем направлением, которое описывает Международная организация труда: цифровые инструменты могут помогать профилактике, если предприятие контролирует качество данных, а человек не выпадает из принятия решений [2]. Профильные публикации по горной отрасли тоже рассматривают возможности анализа производственных данных и машинного обучения [4; 5].

Но доверие к такой системе не возникает автоматически. 90 % участников указали на вероятность ошибок алгоритма как на заметное препятствие. Кроме того, респонденты отмечали стоимость, ответственность и

недостаток данных. Эти замечания относятся не к "второстепенным" деталям, а к самим условиям внедрения. Без ответа на них даже точная модель останется формальной.

До практического применения нужно заранее определить порядок работы с предупреждениями. Система должна объяснять, какие данные повлияли на сигнал. Специалист должен иметь возможность проверить эти данные. Обязанности работников и руководителей тоже нужно закрепить заранее. Без таких правил даже технически работоспособный модуль может оказаться неудобным в реальной работе, и это сказалось на оценках респондентов тоже. Ограничение настоящего исследования связано с небольшим числом участников и с тем, что предложенную логику пока не проверяли на производственных данных. Следующий этап должен включать расширение опроса, уточнение состава респондентов и анализ архивных сведений о неисправностях, отклонениях и происшествиях. Тогда можно будет проверить, какие из признаков, названных работниками, действительно обладают прогностической ценностью.

Научная новизна и практическая значимость

В работе объединяются три линии анализа. Первая касается признаков опасности, которые выделяют сами работники. Вторая связана с изменением производственных показателей во времени. Третья опирается на совместное появление нескольких отклонений. За счет этого концепция переносит внимание с отдельного превышения порога на сочетания изменений, которые могут появляться раньше явного нарушения режима.

Практическая значимость на этом этапе состоит не в готовом программном решении, а в формировании требований к будущему модулю. Результаты опроса позволяют понять, какие группы признаков стоит включать в анализ, какую информацию надо показывать в предупреждении и почему окончательное решение должно оставаться за специалистом. Иначе говоря, это исходные требования для дальнейшей разработки, а не подтверждение готовности системы к эксплуатации.

Для продолжения работы необходимо расширить выборку и сопоставить ответы работников с объективными сведениями о работе оборудования и производственных участков. После этого можно будет отобрать параметры для анализа и проверить модель на архивных ситуациях. Перечень показателей, скорее всего, будет различаться в зависимости от типа оборудования и условий конкретного предприятия.

В настоящем исследовании не разрабатывался и не испытывался готовый алгоритм. Поэтому нельзя утверждать, что предложенная система уже сейчас может предотвращать аварии. Полученный результат другой. Это концепция интеллектуального модуля и предварительный набор требований, которые нужно проверить на следующем этапе.

Заключение

В статье рассматривается концепция "Шахта, которая предвидит" - интеллектуального модуля, способного дополнить систему управления охраной труда горного предприятия. Его назначение состоит в том, чтобы выявлять сочетания изменений, которые требуют внимания еще до появления явных аварийных признаков. В отличие от проверки отдельных показателей по установленным пределам, предлагаемый подход предполагает сопоставление текущих значений, их динамики и совместного появления. Такой анализ может помочь раньше заметить неблагоприятное развитие ситуации. Подтвердить его результативность пока можно только после проверки на производственных данных.

Опрос 20 работников разных горнодобывающих предприятий дал предварительную поддержку этой идее. 90 % участников считают, что сочетание нескольких признаков может быть опаснее каждого из них по отдельности. 75 % положительно оценили пользу раннего предупреждения. Кроме того, 95 % выбрали информирование специалиста по охране труда как необходимое действие при повышенном риске. Поэтому модуль целесообразно использовать как средство поддержки специалиста, а не как автономную систему принятия решений.

Список литературы

1. Приказ Ростехнадзора от 08.12.2020 № 505 (ред. от 24.03.2026) «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности “Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых”».

2. International Labour Organization. Revolutionizing health and safety: the role of AI and digitalization at work: global report. Geneva: ILO, 2025. DOI: 10.54394/KNZE0733.

3. ISO 45001:2018. Occupational health and safety management systems — Requirements with guidance for use. Geneva: International Organization for Standardization, 2018.

4. Кукарцев В. В. Прогнозирование аварийных ситуаций на горных предприятиях с использованием методов машинного обучения и анализа производственных данных // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2026.

5. Романова А. А., Забайкин Ю. В., Ливанова Р. В. и др. Интеграция технологий больших данных в угледобывающую промышленность России: оптимизация производства, повышение безопасности и экологичности // Уголь. 2026. № 3. С. 83–93. DOI: 10.18796/0041-5790-2026-3-83-93.

6. Виноградова О. В. Ошибки человека как фактор производственного риска в горнодобывающей промышленности // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2020. № 6-1. С. 137–145. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-61-0-137.