

**УДК 614.8.084**

## **ВНЕДРЕНИЕ МОДЕРНИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ НА АЛМАЗОДОБЫВАЮЩЕМ РУДНИКЕ «ИНТЕРНАЦИОНАЛЬНЫЙ»**

Р. Е. Бодык, студент гр. М3123-18.04.01пхт, 1 курс; А. Е. Запольский, студент гр. Б3120-18.03.01тхнп, 4 курс; Д. С. Краснощеков, студент гр. Б3120-18.03.01тхнп, 4 курс; К. Д. Пустовойт, студент гр. Б3120-18.03.01тхнп, 4 курс  
Фролов Константин Русланович, к.х.н., доцент департамента  
нефтегазовых технологий и нефтехимии  
ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет»  
г. Владивосток

**Аннотация:** Целью исследования является внедрение многофункциональной системы управления промышленной безопасностью на руднике "Интернациональный". Методология включает анализ и синтез, примененные для оценки существующих коммерчески-доступных систем. Были предложены программино-аппаратные решения, позволяющие повысить безопасность и устойчивость производственных процессов. Экономические расчеты показывают, что внедрение предложенных решений по модернизации приведет к снижению ущерба в 3 раза при сроке окупаемости 1,8 лет.

**Ключевые слова:** рудная шахта, система управления, производственная безопасность, биомаркеры, светодиодные ленты, газоанализаторы, искусственный интеллект, работоспособность.

### **Введение**

В настоящее время развитие промышленной безопасности задается трендом четвертой промышленной революции, подразумевающей интеграцию киберфизических систем и искусственного интеллекта (ИИ), использование промышленного интернета вещей и цифровизацию производственных процессов. По опыту эксплуатации предприятиями горнодобывающей промышленности большого количества технических систем выявляется необходимость их интеграции в единую цифровую сеть предприятия – систему управления производственной безопасностью (СУПБ) [0, 0].

Обязательное наличие СУПБ законодательно регламентируется для угольных шахт [0], следовательно, появление подобных требований для рудных шахт является лишь вопросом времени. Стоит отметить, что разработка и внедрение системы управления несомненно является стратегически важным шагом. Использование данного решения может помочь компании стать частью современной Индустрии 4.0 [0], повысить конкурентоспособность компании и привлечь новых инвесторов, которые все более требовательны к современным стандартам безопасности. Кроме того, в рамках национальной программы

"Цифровая экономика Российской Федерации" [0] внедрение цифровых технологий становится стратегическим приоритетом. Горнодобывающая компания, которая активно использует подобные решения, укрепляет свое положение на рынке и получает доступ к государственной поддержке.

Статистика, полученная при изучении открытых источников (рис.), показывает причины возникновений аварийных ситуаций в шахтах за последние тридцать лет, из которой видно, что подавляющее большинство из них произошло вследствие выделения метана и дальнейшему неблагоприятному развитию ситуации.

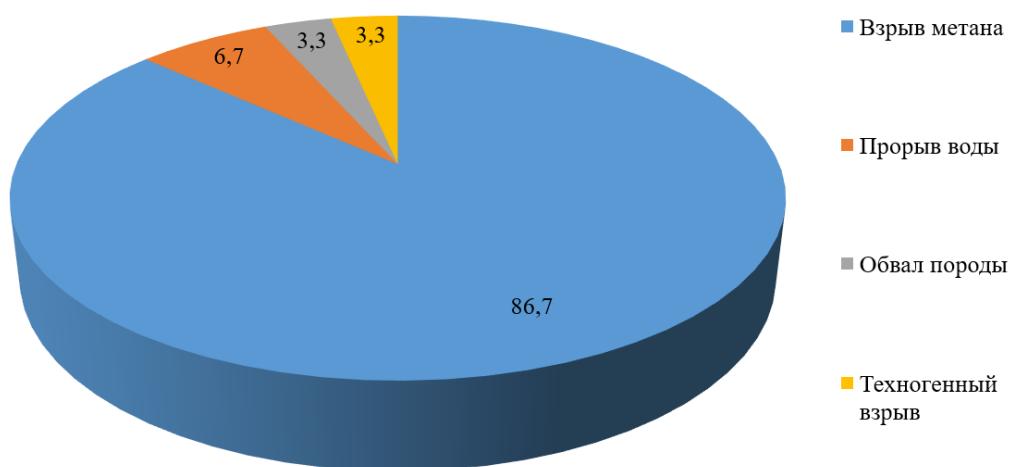


Рис. Аварии в горных выработках 1992–2021 гг. (Россия)

Кроме того, известно исследование [0], в котором авторы отмечают, что условия, приводящие к чрезвычайным ситуациям в горных выработках, в подавляющем большинстве случаев обусловлены влиянием человеческого фактора.

В результате анализа технологического процесса добычи алмазосодержащей руды было выявлено, что предлагаемое решение должно включать в себя решение следующих осложняющих факторов:

- стесненность рабочих зон;
- повышенная запыленность и влажность;
- недостаток освещения;
- высокая концентрация оборудования и машин;
- значительный уровень шума и вибраций;
- опасность взрыва метана и горных ударов.

## Основная часть

Для решения поставленной задачи предлагается внедрение СУПБ на алмазодобывающем руднике «Интернациональный» [0] на базе отечественных технических решений, представленных следующими производителями: «RealTrac Technologies» [0], «АО НВИЦ «Радиус»» [0], «ООО НПФ «Гранч»» [0], «ООО «Ингортех-сервис»» [0].

Сравнение СУПБ перечисленных компаний проводилось по следующим критериям:

- период обновления позиционирования в секундах – промежуток времени передачи сигнала от работника или техники диспетчеру;
- наибольшее разрешение в метрах – точность определения местоположения работников или техники;
- внедрение газоанализаторов – установка в оповещательные устройства приборов измерения компонентов рудничного воздуха для динамического контроля;
- топология системы – отражает схему подключения устройств и отвечает за выбор оптимального пути сигнала, отвечает за выявление неисправностей;
- совместимость с другими системами – возможность внедрения других подсистем.

По результатам анализа готовых отечественных решений была выбрана продукция компании «ООО НПФ «Гранч»» из-за высокой скорости и точности передачи данных, установки четырех газоанализаторов в оповещательное устройство, кольцевой топологии и использования стандартных протоколов связи, что позволяет интегрировать другие подсистемы в данную СУПБ.

Тем не менее, выбранная система безопасности не уделяет должного внимания ряду прочих осложняющих факторов, рассматриваемых в данном исследовании. В связи с этим были предложены решения по модернизации, которые учитывают данные аспекты и таким образом положительно сказываются на условиях труда и комплексно повышают безопасность работников.

По данным исследований в шахтерских городах смертность в трудоспособном возрасте выше на 20–30 %, также известно, что каждый шахтер имеет не менее двух хронических заболеваний [0]. Персонал шахты подвержен высоким рискам развития хронических заболеваний из-за долгосрочного воздействия таких вредных факторов, как пыль и влажность. Предлагается использование неинвазивных устройств, реализуемых носимыми устройствами, которые собирают и анализируют такие физиологические данные, как температура, пульс и кровяное давление работника. Применение этой технологии позволит сформировать цифровую медицинскую базу данных, что откроет возможность оценивать текущее состояние персонала, прогнозировать риски появления новых и развития старых заболеваний. Результатом будет являться повышение безопасности условий труда и производительности предприятия.

Статистический учет несчастных случаев на производственных объектах из-за недостаточного освещения составляет 30–50 %, при этом на травматизм органов зрения приходится 18–25 % [0]. Продолжительная работа в таких условиях негативно влияет на психофизиологическое состояние персонала из-за ощущений замкнутости пространства и отсутствия связи с внешним миром. Нередки ситуации, когда монтаж и эксплуатация средств освещения ориентирована в большей степени на практическую необходимость, при этом существует соответствующий национальный стандарт [0], который регламентирует

уровень освещенности. Решением является внедрение светодиодных лент, отличающихся от ламп накаливания и люминесцентных аналогов тем, что для создания заданного уровня освещения требуют меньше капитальных затрат, потребляют меньшее количество энергия, являются более надежными и не вызывают утомление органов зрения. Итогами внедрения являются положительное влияние на психофизиологическое состояние, повышение безопасности условий труда и производительности предприятия.

Применяемая СУПБ действует только динамический контроль компонентов рудничного воздуха. Использование комбинированной схемы, добавляющей еще и статический контроль, позволит уменьшить количество закупаемых более дорогих приборов измерения динамического контроля. Согласно приказу [0], действующие подземные горные выработки можно разделить на те, в которых наблюдается наибольшая и наименьшая активности людей и техники. Предполагается, что внедрение статистических газоанализаторов будет проводиться на участках горных выработок меньшей активности, а использование динамических приборов измерения в оповещательных устройствах – преимущественно в очистных забоях.

Как уже отмечалось ранее, условия труда в подземных горных выработках сопровождаются влиянием различных негативных факторов, приводящих к повышенной психологической нагрузке на центральную нервную систему человека. Данный аспект наиболее неблагоприятно отражается на машинистах подземной техники, которые в течение рабочей смены вынуждены перемещаться на значительные расстояния в пределах шахты. Подобные условия требуют от них непрерывной бдительности и реакции на такие переменные события, как кривизна и пересечения путей, перемещения работников и техники. Использование видеокамер, оснащенных технологией ИИ, для мониторинга состояния машинистов позволяет оперативно выявлять утомление путем анализа таких характерных признаков, как частота и длительность моргания, положение глаз, зевание и наклоны головы. Научные исследования реализации данной технологии уже активно проводятся как за рубежом [0], так и в России [0], однако в области промышленной безопасности применение ИИ-камер до сих пор не получило должного внимания. Создание системы мониторинга усталости и внимания машинистов требует комплексного подхода и проведения дополнительных научно-исследовательских работ. Технические детали, такие как модели устройств, выбор конкретных камер, спецификации оборудования и методы связи, должны быть уточнены в рамках проектирования и разработки системы. Важно также обратить внимание на безопасность и надежность системы, чтобы избежать ложных срабатываний или ненадежного воздействия на машиниста.

Для оценки вышеприведенных решений на основании РД [18] был проведен экономический расчет предотвращенного ущерба на смоделированной аварийной ситуации. Оцененный ущерб рассчитывался по следующей формуле:

$$\Pi_a = \Pi_{п.п} + \Pi_{л.а} + \Pi_{сэ} + \Pi_{н.в} + \Pi_{экол} + \Pi_{в.т.р}, \quad (1)$$

где  $\Pi_a$  - полный ущерб от аварий, млн. руб.;  
 $\Pi_{п.п}$  - прямые потери организации, эксплуатирующей опасный производственный объект, млн. руб.;  
 $\Pi_{л.а}$  - затраты на локализацию/ликвидацию и расследование аварии, млн. руб.;  
 $\Pi_{с.э}$  - социально-экономические потери, млн. руб.;  
 $\Pi_{н.в}$  - косвенный ущерб, млн. руб.;  
 $\Pi_{экол}$  - экологический ущерб, млн. руб.;  
 $\Pi_{в.т.р}$  - потери от выбытия трудовых ресурсов в результате гибели людей или потери ими трудоспособности.

Для расчета периода окупаемости был выбран коэффициент дисконтирования равный 20 %, с учетом ставки ЦБ России 15 % и ставки на риск в 5 %.

### Итоги и результаты внедрения

Приведены результаты расчета экономического эффекта до и после модернизации от внедрения СУПБ (табл.)

Таблица – Сравнение экономических параметров

Критерии сравнения	СУПБ	СУПБ modернизированная
Капитальные затраты, млн. руб.	24	71
Предотвращенный ущерб, млн. руб.	12	38
Внутренняя норма доходности, %	65	81
Чистая приведенная стоимость, млн. руб.	25	93
Индекс рентабельности	1,05	1,32
Срок окупаемости, лет	2,2	1,8

По итогам экономических расчетов капитальные затраты составили 72 млн. руб., при этом затраты на модернизацию – 35 млн. руб., транспортно-заготовительные расходы – 3 млн. руб., дополнительные затраты, включающие рост потребления энергии и затраты на разработку документации – 7 млн. руб. Приблизительный расчет стоимости внедрения системы «ООО НПФ «Гранч»» составил 22 млн. руб., включая дополнительное оборудование и затраты на отладку и установку.

Таким образом, внедрение модернизированной предложенными аппаратно-техническими решениями СУПБ в случае возникновения аварийных ситуациях позволит снизить ущерб в 3 раза при сроке окупаемости 1,8 лет.

## Список литературы:

1. Dprom.online // Журнал «Добывающая промышленность» : [официальный сайт]. – 2023. – URL: <https://dpronline.unsolution/bezopasnost-budushhego/>.
2. Dprom.online // Журнал «Добывающая промышленность» : [официальный сайт]. – 2023. – URL: <https://dpronline.unsolution/tsifrovoj-rudnik-na-baze-otechestvennyh-reshenij/>.
3. Приказ № 507. Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности "Правила безопасности в угольных шахтах": приказ от 8 декабря 2020 года № 507. – Москва. – 2020. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573140209>.
4. Бершак, В. М. Индустрия 4.0 и конкурентоспособность / В. М. Бершак // С. 184-188. – 2021. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/industriya-4-0-i-konkurentosposobnost>.
5. Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации // [официальный сайт]. – 2023. – URL: [https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/858/?utm\\_referrer=https%3a%2f%2fwww.google.com%2f](https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/858/?utm_referrer=https%3a%2f%2fwww.google.com%2f).
6. Савон, Д. Ю. Современные подходы к системе промышленной безопасности на угольных предприятиях / Д. Ю. Савон // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2018. – Т. 11. – С. 227-235. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-podhody-k-sisteme-promyshlennoy-bezopasnosti-na-ugolnyh-predpriatiyah/viewer>.
7. ОАО «АЛРОСА» // АЛРОСА : [официальный сайт]. – 2023. – URL: <https://ynalrosa.ru/projects/3d-modelirovaniye-karkasnye-modeli-rudy-i-karera-sosevymi-3d-liniyami-podzemnykh-gornykh-vyrobok-rudnika-internatsi/>.
8. RealTrac // [официальный сайт]. – 2023. – URL: <https://real-trac.com/ru/solutions/underground-mining/>.
9. Radius // [официальный сайт]. – 2023. – URL: <https://radius-nvic.ru/product/>.
10. ИнгорТех // [официальный сайт]. – 2023. – URL: <https://www.ingortech.ru/system/>.
11. GRANCH.RU // [официальный сайт]. – 2023. – URL: <https://granch.ru/ru/products>.
12. Мартынова, Н. А. Профессиональная заболеваемость шахтеров (обзор литературы) / Н. А. Мартынова, В. В. Кислицына // Здоровье. Медицинская экология. – Наука, 2017. – № 5. – С. 46-61. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/professionalnaya-zabolevaemost-shahterov-obzor/viewer>.
13. Городской округ Верхотурский // [официальный сайт]. – 2023. – URL: <https://adm-verhotury.ru/social/heith/media/2017/10/16/vliyanie-parametrov-svetovoj-sredyi-na-zdorove-cheloveka/>.

14. ГОСТ Р 55733—2013. Освещение подземных горных выработок. Основные требования и методы измерений: дата введения от 8 ноября 2013 года. – Москва, – Стандартинформ. – 2013. – URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293774/4293774756.pdf>.
15. Приказ № 505. Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности "Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых" : приказ от 8 декабря 2020 года N 505. – Москва. – 2020. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573156117>.
16. NewsMobileReview // [официальный сайт]. – 2023. – URL: <https://mobile-review.com/news/bosch-predstavila-sistemu-kontrolya-sostoyaniya-voditelya>.
17. Андриянов, Н. А. Разработка модели машинного обучения для оценки состояния глаз водителя / Н. А. Андриянов, Е. А. Орлов // Инженерный вестник Дона. – Т. 5. – 19 с. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-modeli-mashinnogo-obucheniya-dlya-otsenki-sostoyaniya-glaz-voditelya/viewer>.
18. РД 03-496-02. «Методические рекомендации по оценке ущерба от аварий на опасных производственных объектах»: утверждены постановлением Госгортехнадзора России от 29 октября 2002 года. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200031148>.