

ОХРАНА ТРУДА

УДК 622.271:614.8.01

DOI: 10.21440/0536-1028-2023-1-89-100

Индикаторы зарождения опасных производственных ситуаций в данных комплексного мониторинга состояния горных работ

Корнилков С. В.^{1*}, Кравчук И. Л.², Черепанов В. А.¹

¹ Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

² Челябинский филиал ИГД УрО РАН, г. Челябинск, Россия

*e-mail: kornilkov@igduran.ru

Реферат

Актуальность. Исследования причин и механизма зарождения и развития опасных производственных ситуаций на угледобывающих предприятиях показали, что их развитие чаще всего обусловлено организационными факторами, а предпосылки их возникновения связаны в основном с технологическими факторами осуществления горных работ, включая принимаемые проектные решения. Поэтому возникла необходимость установить конкретные технологические факторы, которые являются предпосылками для зарождения опасных производственных ситуаций на угольных разрезах.

Цель исследования. Установить факторы возникновения опасных производственных ситуаций. Определить и обосновать индикаторы зарождения опасных производственных ситуаций, получаемые на основе оценки общего состояния ведения горных работ, для учета при разработке соответствующих сценариев недопущения или предотвращения возникновения опасных ситуаций, а также диагностирования ранних признаков их появления и устранения причин развития.

Методология исследования. Оценка состояния горных работ в угольном разрезе и работ по обеспечению безопасности производства с позиций возникновения и развития опасных производственных ситуаций осуществлялась в ходе проведения технологического аудита. Индикаторы состояния рабочей зоны глубоких карьеров формировались на основе анализа данных геоинформационного мониторинга горных работ, правил безопасности, а также технологических схем ведения горных работ.

Результаты. На основе результатов технологического аудита состояния горных работ определены факторы, являющиеся предпосылками для развития опасных производственных ситуаций. Они стали основой для выбора технологических и организационных индикаторов возникновения опасных производственных ситуаций. Выделены условия возникновения опасных производственных ситуаций в зависимости от наличия объективных природных, технологических и организационных факторов, влияющих на безопасность работ.

Выводы. Добыча угля открытым способом закономерно сопровождается возникновением и развитием опасных производственных ситуаций. Предпосылки возникновения опасных ситуаций предложено отслеживать по технологическим и организационным индикаторам — для принятия на их основе адекватных управленческих решений по недопущению возникновения опасных производственных ситуаций.

Ключевые слова: горные работы; опасная производственная ситуация; технический аудит; индикатор; предпосылка; технологический фактор.

Благодарность. Авторы выражают благодарность работникам АО «СУЭК-Кузбасс» Канзычакову С. В., Бросту Э. В., Васильцу В. Н., Маслову А. В., Титову А. В. за возможность участвовать в мониторинге состояния горных работ в Разрезууправлении и за конструктивное обсуждение его результатов.

Введение. Многолетние исследования причин и механизма зарождения и развития опасных производственных ситуаций (ОПС) [1–8] обусловили необходимость исследования предпосылок их возникновения. Развитие опасных производственных ситуаций на угледобывающих предприятиях чаще всего обусловлено организационными факторами, а предпосылки возникновения (зарождения) ОПС связаны в большей мере с технико-технологическими факторами осуществления горных работ, включая принимаемые проектные решения [7–9]. Поэтому принято решение провести технологический аудит состояния горных работ для определения факторов, являющихся предпосылками для развития опасных производственных ситуаций.

Технологический аудит горных работ и планов их развития проведен в 2021 г. в Разрезоуправлении АО «СУЭК-Кузбасс». Его результаты, а также оценка общего состояния ведения горных работ свидетельствуют о том, что применяемое оборудование, а также параметры системы разработки и вскрытия соответствуют сложившимся горно-геологическим условиям и, в целом, обеспечивают безопасную и экономичную добычу полезного ископаемого. Контроль ведения горных работ, а также требуемое качество добываемого угля гарантируются наличием соответствующей геолого-маркшейдерской службы, оперативных данных, получаемых в том числе с использованием беспилотных летательных аппаратов, усреднением и сортировкой добытого угля на складах. Принятые инженерные решения соответствуют современному технологическому уровню, имеют свои достоинства и обеспечивают достаточную эффективность производства.

Технологические факторы как предпосылки возникновения опасных производственных ситуаций. В аспекте применяемой на разрезах технологии разработки основные объективные предпосылки возникновения опасных производственных ситуаций обусловлены прежде всего сложным залеганием обрабатываемого полезного ископаемого. Поэтому технологические факторы можно учитывать при прогнозировании как минимум на год и разрабатывать соответствующие сценарии недопущения или предотвращения возникновения ОПС, а также диагностирования ранних признаков их появления и устранения причин развития [10, 11]. К технологическим факторам, которые целесообразно рассматривать в качестве предпосылок возникновения ОПС, относятся следующие.

1. Поэтапное перемещение крутого борта с целью управления затратами и качеством продукции с высоким риском возникновения оползневых явлений. Управление текущими затратами на добычу достигается прежде всего за счет поддержания текущего коэффициента вскрыши определенной величины, обеспечивающего требуемую текущую рентабельность производства. При этом вскрышная зона разделена по высоте на выемочные блоки (до 5–6 уступов). Блоки перемещаются во времени поэтапно с расконсервацией и последующей консервацией фронта работ на каждом уступе на всю высоту блока. Отработка и перемещение ведется поуступно, сверху вниз, вкрест подвиганию горных работ сплошным забоем или поперечными заходками, обеспечивающими возможный двусторонний подъезд транспорта к экскаватору на погрузку.

Конструкция законсервированной зоны в блоке предусматривает оставление между уступами площадок консервации, однако величина результирующего угла законсервированного участка борта в блоке больше, чем его устойчивое значение, т. е. законсервированный борт по принятой технологии имеет минимальную устойчивость. Для обеспечения безопасности между смежными по высоте блоками оставляется широкая площадка, выполняющая роль концентрационного транспортного горизонта. Ширина буферной площадки такова, что результирующий угол наклона

борта разреза в каждом сечении не превышает принятого проектом устойчивого значения.

Достоинства принятой технологии: достижение величины требуемого текущего коэффициента вскрыши в любой момент времени; гибкое управление протяженностью и интенсивностью перемещаемых уступов; безопасное и высокопроизводительное транспортное обеспечение выемочной техники с возможностью двусторонней установки автосамосвалов под погрузку.

Недостатки технологии, которые, по сути, и становятся предпосылками зарождения ОПС: значительный риск возникновения оползневых явлений в законсервированном блоке, особенно в весенне-осенний период времени; деформация бортов в блоке при одновременном и несогласованном ведении очистной выемки в смежных горных отводах (шахта–разрез) в пределах одного и того же участка; высокая вероятность падения или осыпания отдельных кусков горной массы на площадку концентрационного горизонта в период деформации участка борта.

2. Ведение горных работ в смежных горных отводах как при открытой, так и при подземной разработке. Осуществляется в том числе производственными единицами, имеющими разных собственников. Подземная очистная выемка осуществляется по плану, заранее согласованному с техническим руководством разрезов, однако в случаях одномоментного совмещения во времени горных работ и в разрезе, и в шахте при посадке лавы возникают существенные деформации массива, приводящие к трещинообразованию, нарушению устойчивости и оползневых явлениям на участках законсервированных блоков.

Достоинством совместного ведения горных работ является тот факт, что карьерные поверхностные и подземные воды дренируются через зоны дезинтеграции массива в шахту и централизованно откачиваются и сбрасываются за пределы выработанного пространства.

Предпосылками возникновения ОПС при данном технологическом решении становятся значительный риск деформации участков бортов и отдельных уступов с возникновением оползневых явлений, а также снижение интенсивности отработки вскрышного участка на период до прекращения вертикальных смещений массива. Вероятность развития опасных производственных ситуаций повышается при отсутствии дистанционного контроля за устойчивостью.

3. Подвалка откосов высоких уступов при ведении взрывных работ и строительстве транспортных коммуникаций с образованием неустойчивых откосов. Данное явление является следствием принятой технологии поэтапного перемещения горных работ во вскрышных блоках с поочередной консервацией и расконсервацией уступов. В ряде случаев, особенно при необходимости отработки флангов пласта с наклонным и крутым падением, а также при попадании в зону природной дезинтеграции массива консервируемые уступы сдвигаются или между ними оставляются площадки сокращенной ширины, не обеспечивающей удержание развала горной массы после взрыва. В результате на участке фронта в блоке образуется осыпь горной массы с непредсказуемой устойчивостью, нередко перекрывающая добычные уступы.

Достоинства подвалки высоких уступов: создание подпорной стенки, препятствующей повышенному разлету отдельных кусков горной массы при ведении взрывных работ; некоторое повышение устойчивости борта за счет создания контрфорса.

Недостатки подвалки высоких уступов, провоцирующие развитие ОПС: как правило, невысокая устойчивость осыпи, проседания и деформации в весенне-осенние периоды; повышенная опасность ликвидации и очистки откосов карьерными

Таблица 1. Условия возникновения опасных производственных ситуаций на разрезах «СУЭК-Кузбасс»
Table 1. Conditions of occurrence of hazardous incidents at the SUEK-Kuzbass quarries

Природные		Факторы, являющиеся предпосылками возникновения ОПС			Факторы, инициирующие возникновение ОПС		Организационно-экономические
		Технологические	Организационные	Экономические	Повторяющиеся вследствие цикличности работ	во времени	
Склонность углей к самовозгоранию	Изменение конструкции карьерного пространия для выдерживания требуемого коэффициента вскрыши	Отставание уровня организации работ при изменении объемов и интенсивности производства	Задержка угля на складе из-за изменения цены и спреда	Периодическое саморазогревание углей в пластах	Превышение нормативов нахождения угля на складах	Отсутствие подготовленных площадок	Отсутствие подготовленных площадок
	Слабые, обводненные породы в основании отвала, пучинистость грунтов	Отсутствие организованного сбора и обработки данных геофизического мониторинга состояния массива	Мониторинг опасного объекта при стоимости работ более 1000 тыс. р.				
Сезонные изменения температуры. Сезонные осадки	Отклонения от проектной документации, в том числе при строительстве и содержании автодорог	Невыполнение производственного контроля за требованиями правил безопасности и технической документации	Разработка плана устранения недостатков при стоимости работ от 100 до 1000 тыс. р.	Выход из строя участков карьерных и поверхностных дорог, в том числе временных	Отставание подготовительных и ремонтных работ	Отсутствие резерва материалов для подсыпки автодорог в гололед	Отсутствие резерва материалов для подсыпки автодорог в гололед
Обводненность пород и угольных пластов	Эксплуатация неисполненного горно-транспортного и вспомогательного оборудования, штатных устройств. Физический износ	Отсутствие регламента взаимодействия с подрядчиками, в том числе отсутствие системы выдачи нарядов	Отсутствие резервных насосов, запчастей и расходных материалов	Необходимость создания временных сооружений на промежуточных площадках	Использование типовых схем работ без учета климатических особенностей	Значительная стоимость работ по устранению недостатков	Значительная стоимость работ по устранению недостатков
Деформация, самозаращение поверхностных площадок и трасс	Нарушение правил эксплуатации электрооборудования	Необорудованные и неподготовленные рабочие места и площадки	Неадекватная конструкция узлов горнотранспортного оборудования, требующая постоянного обслуживания и резерва	–	Попадание горно-транспортного оборудования ЛЭП в опасные зоны при временной консервации работ	Высокая стоимость запчастей и ремонтов, не предусмотренных планом. Запаздывание периодической аттестации и обучения персонала	Высокая стоимость запчастей и ремонтов, не предусмотренных планом. Запаздывание периодической аттестации и обучения персонала

гидравлическими экскаваторами; скатывание крупных кусков горной массы по осыпи на площадки и транспортные коммуникации. Как и в случае с предыдущим технологическим фактором, вероятность развития опасной производственной ситуаций повышается при отсутствии дистанционного контроля за устойчивостью.

4. Отсыпка внутренних отвалов при углах падения пластов более 10 градусов. При наличии подработанных участков и участков с нарушенной сплошностью пустых пород. При отработке пластов с углом падения более 10° нарушается устойчивость размещенных на их почве внутренних отвалов, сложенных некрепкими и недостаточно устойчивыми породами вскрыши, особенно в случаях складирования пустых пород на недренированное наклонное основание. Наличие подработанных подземными горными работами участков снижает текущую устойчивость отвала за счет периодического оседания основания отвала в результате усадки подработанного шахтой междупластья.

Предпосылками возникновения ОПС в данном случае являются: отсыпка внутренних отвалов на почву отработанного пласта без соответствующих подготовительных мероприятий (предварительная посадка массива взрывами с одновременным созданием уступчатого рельефа в основании отвала), вызывающая сдвигение отвала, оползни и деформации отвальной зоны; отсутствие маркшейдерских съемок и наблюдений за устойчивостью отвальных ярусов и дезинтегрированных участков массива; отсутствие дистанционного контроля за устойчивостью; отработка тектонически дезинтегрированного массива или ранее сформированного отвала без соответствующих паспортов или локальных проектов, обеспечивающих безопасность выемочного и транспортного оборудования при отработке и маневрах; увеличение ширины вскрывающих выработок и транспортных коммуникаций, обеспечивающих их устойчивость.

5. Наличие (отсутствие) инженерно-технических мероприятий, предохраняющих разрушение кровли обрабатываемых пластов и исключаящих их самовозгорание.

Предпосылками возникновения ОПС являются отсутствие мероприятий по исключению самовозгорания пластов угля; отсутствие комплекса технических мер, исключаящих локальное нарушение сплошности пласта и способствование доступа к разрушенному участку кислорода. К таким минимальным мерам относятся специальные технологии взрывных работ, исключаящие нарушение сплошности кровли пласта за счет недобуривания массива при подходе к пласту, применение инертных демпферов. Технологии экскавации при зачистке откосов пласта должны исключать оставление участков дезинтегрированной угольной массы в откосе и после отработки забоя, а также обеспечивать полную выемку угольной массы или изоляцию пласта путем подвалки инертной горной массой при консервации.

Следует отметить, что указанные технологические факторы давно известны, но они не воспринимаются в практике работы добывающих предприятий как проявления опасных производственных ситуаций в основных производственных процессах открытых горных работ. Следовательно, они не идентифицируются и не учитываются в работе по обеспечению эффективности и безопасности горного производства.

Перечисленные факторы рекомендуется учитывать при разработке соответствующих сценариев недопущения или предотвращения возникновения ОПС, а также диагностирования ранних признаков их появления и устранения причин развития при глубине прогноза как минимум на год.

Обоснование набора технологических индикаторов опасных производственных ситуаций. При обосновании технологических индикаторов зарождения

Таблица 2. Перечень опасных производственных ситуаций, наиболее значимых по своим последствиям
 Table 2. List of hazardous incidents, the most significant in their consequences

Иницилирующее событие	Отклонения, в которых проявляется ОПС	Мероприятия, рекомендуемые для устранения	Последствия развития
<p>Ведение горных работ и отвалообразования с отступлением от проектных решений, в том числе отсыпка отвала на слабое наклонное обводненное основание, ведение горных работ в зоне деформации, ведение отвалообразования и горных работ без постоянного мониторинга и контроля</p>	<p>Ведение горных работ с отступлениями от проектных параметров и элементов системы разработки. Консервация (сдвигание и стравливание) уступов в рабочей зоне при управлении текущим коэффициентом вскрыши.</p> <p>Ведение горных работ без постоянного ведомственного контроля за безопасным состоянием уступов, откосов, бортов карьера, отвалов, а также потенциально пожароопасных участков, и обеспечением водоотведения и поддержания горных выработок в пригодном состоянии.</p> <p>Эксплуатация угольного склада в зоне возможной деформации.</p> <p>Высокий риск возникновения деформации при эксплуатации насыпного объекта на слабом основании.</p> <p>Отсутствие научного сопровождения по мониторингу устойчивости отвалов и уступов.</p>	<p>Приведение передового уступа в соответствие с проектными решениями. Строительство подпорных арусов внутреннего отвала из коренных пород.</p> <p>Обеспечение мониторинга отвала в соответствии с проектом. Постоянный контроль за безопасным состоянием горных работ и состоянием оборудования. Визуальный осмотр, сбор и обработка данных георадара.</p> <p>Своевременное строительство и расширение въездной траншеи (склад), формирование площадки нового угольного склада.</p> <p>Обеспечение работы водоотливных установок.</p> <p>Заключение договора со специализированной организацией на выполнение работ по сопровождению (мониторингу) ведения горных работ и отвалообразования в части обеспечения устойчивости на опасных участках и поддержания требуемого резерва подготовленных запасов</p>	<p>Возникновение деформационных процессов на отвалах и на уступах в разрезе.</p> <p>Сокращение добычных фронтов, готовых и подготовленных запасов</p>
<p>Сезонные паводки на реке</p>	<p>Расположение объектов инфраструктуры в зоне возможного подтопления в период паводка</p>	<p>Обеспечение мониторинга уровня воды реки</p>	<p>Угроза подтопления горных выработок</p>

Иницилирующее событие	Отклонения, в которых проявляется ОПС	Мероприятия, рекомендуемые для устранения	Последствия развития
Параллельное ведение открытой и подземной разработки без соответствующего регламента	Эксплуатация выработки с возможным прорывом глины и затоплением, обрушение бортов подземных выработок	Геомеханический контроль за выполнением мероприятий по обеспечению безопасного совместного ведения открытых и подземных горных работ в районе флангового путевого ствола	Прорыв глины с последующим затоплением выработки и обрушением ее бортов
Эксплуатация очистных сооружений с отступлением от требований правил безопасности	Неисправные очистные сооружения	Ремонт очистных сооружений (подсыпка удерживающей и фильтрующей дамбы)	Подтопление выработок. Штрафы за превышение нормативного сброса
Функционирование промплощадок без резервного энергоснабжения	Угроза остановки оборудования в грозу или при обрыве ЛЭП	Сборка, подготовка к работе и установка резервного дизель-генератора	Травмирование персонала
Деятельность персонала производственных участков при их недостаточной противопоаварийной готовности	Отсутствие устойчивых навыков у работников участков по порядку действий при возникновении аварийных ситуаций	Своевременное обучение персонала	Травмирование персонала
Функционирование разреза при нехватке приборов для замера концентрации ядовитых продуктов после производства массовых взрывов, контроля температуры в местах самонагревания пластов и штабелей угля	Недостаточное количество приборов для замера концентрации ядовитых продуктов взрыва в воздухе и контроля за его снижением после производства массовых взрывов и местах самонагревания угля, отсутствие приборов для замера температуры штабелей угля и очагов самонагревания горной массы	Приобретение газоанализаторов, а также пирометров для замера температуры штабелей угля и очагов самонагревания горной массы	Травмирование персонала

опасных производственных ситуаций выделены следующие условия возникновения ОПС в зависимости от наличия объективных природных, технологических и организационных факторов, влияющих на безопасность работ [12–14], а также факторы, инициирующие появление ОПС (табл. 1).

К технологическим индикаторам (показателям, оценивающим комплексное состояние горных работ и их динамику) следует относить: частичную консервацию площади рабочей зоны за счет формирования сдвоенных (строенных) уступов; появление нерегламентированных временно нерабочих участков бортов, в том числе изменение конструкции рабочего пространства (консервация-расконсервация); выпучивание грунтов из-под насыпи; подтопление нижних горизонтов, снижение устойчивости пород; парение, дымление, горение, повышение концентрации СО в атмосфере; скопление воды и грязи на проезжей части; подтопление автодорог; зарастание поверхности.

Индикаторы состояния рабочей зоны глубоких карьеров формируются на основе анализа данных геоинформационного мониторинга горных работ, правил безопасности, а также технологических схем ведения горных работ, позволяющих произвести анализ состояния карьерного пространства и поиск альтернативных инженерных решений. Указанные показатели циклически развиваются во времени на значительных площадях, поэтому количественной визуальной оценке не поддаются.

Контроль индикаторов возникновения опасных производственных ситуаций. Наиболее действенным методом контроля ситуации и опережающей разработки мероприятий по нормализации безопасного ведения работ является комплексный мониторинг [15, 16]. Организация комплексного мониторинга – одна из перспективных задач, связанных с разработкой методики его налаживания, а также поиска количественных показателей – индикаторов благополучия протекания производственных процессов [17, 18].

Контроль выделенных индикаторов осуществляется на основании сравнения данных комплексного мониторинга горных работ (маркшейдерские и геофизические съемки, сканирование, зондирование с БПЛА и пр.) с данными проектных решений или соответствующих заключений по безопасной эксплуатации, сформулированных специализированными организациями. Этот вид работ в совокупности с данными технологического прогноза возникновения и развития опасных производственных ситуаций на разрезах позволит снизить риски.

В табл. 2 приведены опасные производственные ситуации с наиболее значимыми последствиями. Авторы отдают себе отчет в том, что содержание таблицы, как таковое, не является для читателя неизвестным. Смысл этой таблицы заключается в том, чтобы обратить внимание производственника на ряд событий в его деятельности, которые практически всегда приводят к возникновению опасных производственных ситуаций. Это позволит быть готовым к дополнительным мерам по обеспечению безопасности труда работников и производства в целом.

Выводы. Оценка состояния горных работ в угольном разрезе и работ по обеспечению безопасности производства с позиций возникновения и развития опасных производственных ситуаций позволила сформулировать следующие выводы.

Добыча угля открытым способом сопровождается возникновением и развитием опасных производственных ситуаций. Это закономерное явление, которое должно быть учтено при обеспечении безопасности и эффективности горного производства.

Недопущение возникновения опасной производственной ситуации целесообразно осуществлять посредством отслеживания предложенных технологических и

организационных индикаторов в данных, получаемых в ходе мониторинга, и принятия на их основе адекватных управленческих решений.

К технологическим индикаторам – показателям, оценивающим состояние горных работ, циклически развивающихся во времени на значительных площадях и трудно поддающихся количественной визуальной оценке, – отнесены данные сравнения результатов комплексного мониторинга горных работ (маркшейдерские и геофизические съемки, сканирование, зондирование с БПЛА и пр.) с данными проектных решений или соответствующих заключений и рекомендаций по безопасной эксплуатации, сформулированных специализированными организациями.

К организационным индикаторам следует относить отклонения параметров производственных объектов, процессов и операций от Федеральных правил и норм по безопасности, либо от правил безопасной эксплуатации оборудования. Они достаточно легко устанавливаются и идентифицируются, поскольку имеют четкие внешние проявления, описаны в соответствующей документации по безопасной эксплуатации, регламентируются соответствующими инструкциями и контролируются инженерно-техническими работниками и производственным персоналом на рабочих местах в течение смены или с установленной периодичностью.

Предприятию рекомендуется уточнить перечень и критическую величину индикаторов данного вида, обуславливающую безаварийную работу по процессам.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лисовский В. В. Подход к формированию методики оперативного управления рисками травмирования на угольных шахтах // Уголь. 2014. № 5. С. 84–89.
2. Лисовский В. В. Управление производственными рисками посредством контроля и устранения опасных производственных ситуаций на угледобывающем предприятии // Безопасность труда в промышленности. 2016. № 2. С. 67–72.
3. Рудаков М. Л., Большунова О. М., Собянин Д. С. О возможности применения структурирования опасных производственных ситуаций для управления профессиональными рисками на угольных разрезах // Проблемы анализа риска. 2021. Т. 18. № 1. С. 66–75. DOI: <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2021-18-1-66-75>
4. Шаповаленко Г. Н., Радионов С. Н., Галкин А. В. Повышение уровня безопасности производства на основе выявления и устранения опасных производственных ситуаций // ГИАБ. 2015. № 11 (Спец. вып. № 62). С. 84–97.
5. Лисовский В. В. Закономерности развития опасных производственных ситуаций на примере горнодобывающих предприятий // ГИАБ. Совершенствование деятельности по обеспечению безопасности производства на угледобывающих предприятиях. 2016. № 12 (Спец. вып. 70). С. 3–16.
6. Борисов Г. В., Константинов А. В. Методические основы идентификации признаков и методология подхода к прогнозированию возможности возникновения опасной производственной ситуации // ГИАБ. 2015. № S62. С. 110–117.
7. Артемьев В. Б., Галкин В. А., Кравчук И. Л. Безопасность производства (организационный аспект). М.: Горная книга, 2015. 144 с.
8. Кравчук И. Л., Неволлина Е. М. Практические аспекты формирования классификации и атласа опасных производственных ситуаций // Проблемы недропользования. 2021. № 2. С. 27–39. DOI: [10.25635/2313-1586.2021.02.027](https://doi.org/10.25635/2313-1586.2021.02.027)
9. Yuxin Wang, Gui Fu, Qian Lyu, Yali Wu, Qinsong Jia, Xiaoyu Yang, Xiao Li. Reform and development of coal mine safety in China: an analysis from government supervision, technical equipment, and miner education // Resources Policy. 2022. August. Vol. 77. 102777. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.102777>
10. Артемьев В. Б., Галкин В. А., Макаров А. М., Кравчук И. Л., Галкин А. В. Механизм предотвращения реализации опасной производственной ситуации // Уголь. 2016. № 5 (май). С. 73–77.
11. Харитонов И. Л. Производственное планирование на шахте с учетом недопущения (устранения) опасных производственных ситуаций // ГИАБ. Открытые горные работы в XXI веке-1: матер. II Международной научно-практической конференции. 2015. № S45-1. С. 208–213.
12. Jiaqi Ma, Hong Dai. A methodology to construct warning index system for coal mine safety based on collaborative management // Safety Science. 2017. March. Vol. 93. P. 86–95. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.11.012>
13. Чмыхалова С. В., Азизов Р. Р. Оценка влияния природных и технологических факторов на безопасность горнодобывающего предприятия // ГИАБ. 2012. № 8. С. 373–380.

14. Jiangshi Zhang, Jing Fu, Hongyu Hao, Gui Fu, Fangchao Nie, Wenyue Zhang. Root causes of coal mine accidents: characteristics of safety culture deficiencies based on accident statistics // *Process Safety and Environmental Protection*. 2020. April. Vol. 136. P. 78–91. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.01.024>

15. Корнилков С. В., Антонинова Н. Ю., Панжин А. А., Шубина Л. А., Исаков С. В. О подходах к геоинформационному мониторингу с целью оценки динамики формирования горных предприятий как природно-технологических систем // *Известия вузов. Горный журнал*. 2020. № 8. С. 41–51. (In Eng.) DOI: 10.21440/0536-1028-2020-8-41-51

16. Корнилков С. В., Кравчук И. Л. О мониторинге опасных производственных ситуаций на угледобывающем предприятии // *Промышленность и безопасность*. 2021. № 8(166). С. 46–49.

17. Daniel Vázquez, Rubén Ruiz-Femenia, José A. Caballero. OFISI, a novel optimizable inherent safety index based on fuzzy logic // *Computers & Chemical Engineering*. 2019. Vol. 129. 106526. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2019.106526>

18. Wenwang Yang, Sanlin He. Coal mine safety management index system and environmental risk model based on sustainable operation // *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 2022. Vol. 53. Part C. 102721. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102721>

Поступила в редакцию 12 августа 2022 года

Сведения об авторах:

Корнилков Сергей Викторович – доктор технических наук, профессор, член Академии горных наук (АГН), главный научный сотрудник Института горного дела УрО РАН. E-mail: kornilkov@igduran.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3432-1449>

Кравчук Игорь Леонидович – доктор технических наук, директор Челябинского филиала Института горного дела УрО РАН. E-mail: kravchuk65@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9781-0410>

Черепанов Владимир Александрович – научный сотрудник, начальник лаборатории неразрушающего контроля Института горного дела УрО РАН, E-mail: transport@igduran.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3946-0130>

DOI: 10.21440/0536-1028-2023-1-89-100

Indicators of the emergence of hazardous production situations in the integrated monitoring data of the state of mining operations

Sergei V. Kornilkov¹, Igor L. Kravchuk², Vladimir A. Cherepanov¹

¹ Institute of Mining UB RAS, Ekaterinburg, Russia.

² Institute of Mining UB RAS (Chelyabinsk branch), Chelyabinsk, Russia.

Abstract

Research relevance. Studies of the causes and mechanism of hazardous production situations origin and development at coal mining enterprises have shown that their development is most often due to organizational factors, and the prerequisites for their occurrence are associated, to a greater extent, with process flow factors of mining operations, including design decisions. For this reason, it became necessary to establish specific process flow factors that are prerequisites for the emergence of hazardous production situations at a coal pit.

Research objective is to establish the factors of hazardous production situations occurrence; to identify and justify indicators of hazardous production situations origin, obtained based on an assessment of the general state of mining, to take into account appropriate scenarios for preventing or avoiding the hazardous production situations in the course of development; to diagnose early signs of their occurrence and eliminate the causes of their development.

Methods of research. The state of mining in the coal pit and operations on production safety were assessed from the perspective of hazardous production situations origin and development and was carried out during the process audit. Indicators of the state of the deep pit working area were formed based on the analysis of data from geographic information monitoring of mining, safety rules, as well as process flow diagrams of mining operations.

Results. Based on the results of the process audit of the state of mining operations, the factors that are prerequisites for the development of hazardous production situations are determined. They became the basis for the selection of process flow and organizational indicators of hazardous production situations occurrence. The conditions for hazardous production situations occurrence are defined, depending on the presence of objective natural, process flow and organizational factors affecting the safety of work.

Conclusions. Open-pit coal mining is naturally accompanied by the emergence and development of hazardous production situations. It is proposed to monitor the prerequisites of hazardous production situations by process flow and organizational indicators in order to make adequate management decisions to prevent the occurrence of hazardous incidents.

Keywords: mining operations; hazardous production situations; process audit; indicator; prerequisite; process flow factor.

Acknowledgements: The authors are grateful to the employees of JSC SUEK-Kuzbass, S. V. Kanzychakov, E. V. Brost, V. N. Vasilets, A. V. Maslov, A. V. Titov, for the opportunity to participate in monitoring the state of mining operations in the Razrezoupravlenie (open-mine enterprises) and for a meaningful discussion of its results.

REFERENCES

1. Lisovskii V. V. Approach to the formation of methods of operational risk management of injury in coal mines. *Ugol = Coal*. 2014; 5: 84–89. (In Russ.)
2. Lisovskii V. V. Management of production risks through control and elimination of hazardous production situations at a coal mining enterprise. *Bezopasnost truda v promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2016; 2: 67–72. (In Russ.)
3. Rudakov M. L., Bolshunova O. M., Sobianin D. S. On the possibility of using the structuring of hazardous production situations to manage occupational risks at coal mines. *Problemy analiza riska = Problems of risk analysis*. 2021; 18(1): 66–75. Available from: doi: <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2021-18-1-66-75> (In Russ.)
4. Shapovalenko G. N., Radionov S. N., Galkin A. V. The improvement of safety of production through identification and elimination of hazardous production situations. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2015; 11 (spec. issue no. 62): 84–97. (In Russ.)
5. Lisovskii V. V. The patterns of development of hazardous production situations on the example of mining enterprises. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2016; 12 (spec. issue 70): 3–16. (In Russ.)
6. Borisov G. V., Konstantinov A. V. Methodical basis and methodology for identification and forecasting of hazardous production situations. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2015; S62: 110–117. (In Russ.)
7. Artemiev V. B., Galkin V. A., Kravchuk I. L. *Safety of production (organizational aspect)*. Moscow: Gornaia kniga Publishing; 2015. (In Russ.)
8. Kravchuk I. L., Nevolina E. M. Practical aspects of the formation of classification and atlas of hazardous production situations. *Problemy nedropolzovaniia = The Problems of Subsoil Use*. 2021; 2: 27–39. Available from: doi: [10.25635/2313-1586.2021.02.027](https://doi.org/10.25635/2313-1586.2021.02.027) (In Russ.)
9. Yuxin Wang, Gui Fu, Qian Lyu, Yali Wu, Qinsong Jia, Xiaoyu Yang, Xiao Li. Reform and development of coal mine safety in China: An analysis from government supervision, technical equipment, and miner education. *Resources Policy*. 2022; August; 77: 102777. Available from: doi: <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.102777>
10. Artemiev V. B., Galkin V. A., Makarov A. M., Kravchuk I. L., Galkin A. V. Tool for hazardous industrial event occurrence elimination. *Ugol = Coal*. 2016; 5 (May): 73–77. (In Russ.)
11. Kharitonov I. L. Production planning at the mine, taking into account the prevention (elimination) of hazardous production situations. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2015; S45-1: 208–213. (In Russ.)
12. Jiaqi Ma, Hong Dai. A methodology to construct warning index system for coal mine safety based on collaborative management. *Safety Science*. 2017; March (93): 86–95. Available from: doi: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.11.012>
13. Chmyhalova S. V., Azizov R. R. Assessment of the influence of natural and technological factors on the safety of a mining enterprise. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2012; 8: 373–380. (In Russ.)
14. Jiangshi Zhang, Jing Fu, Hongyu Hao, Gui Fu, Fangchao Nie, Wenyue Zhang. Root causes of coal mine accidents: Characteristics of safety culture deficiencies based on accident statistics. *Process Safety*

and Environmental Protection. 2020; April (136): 78–91. Available from: doi: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.01.024>

15. Kornilkov S. V., Antoninova N. Iu., Panzhin A. A., Shubina L. A., Isakov S. V. Specifying the approaches to geoinformation monitoring to assess the development dynamics of mining enterprises as natural-technological systems. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2020; 8: 41–51. Available from: doi: [10.21440/0536-1028-2020-8-41-51](https://doi.org/10.21440/0536-1028-2020-8-41-51)

16. Kornilkov S. V., Kravchuk I. L. Monitoring of hazardous incidents at a coal mining enterprise. *Promyshlennost i bezopasnost = Industry and Safety*. 2021; 8(166): 46–49. (In Russ.)

17. Daniel Vázquez, Rubén Ruiz-Femenia, José A. Caballero. OFISI, a novel optimizable inherent safety index based on fuzzy logic. *Computers and Chemical Engineering*. 2019; 129: 106526. Available from: doi: <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2019.106526>

18. Wenwang Yang, Sanlin He. Coal mine safety management index system and environmental risk model based on sustainable operation. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 2022; 53 (Part C): 102721. Available from: doi: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102721>

Received 12 August 2022

Information about the authors:

Sergei V. Kornilkov – DSc (Engineering), Professor, Member of the Academy of Mining Sciences, chief researcher, Institute of Mining UB RAS. E-mail: kornilkov@igduran.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3432-1449>

Igor L. Kravchuk – DSc (Engineering), Director of the Institute of Mining UB RAS (Chelyabinsk branch). E-mail: kravchuk65@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9781-0410>

Vladimir A. Cherepanov – Researcher, Head of the nondestructive testing laboratory, Institute of Mining UB RAS, E-mail: transport@igduran.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3946-0130>

Для цитирования: Корнилков С. В., Кравчук И. Л., Черепанов В. А. Индикаторы зарождения опасных производственных ситуаций в данных комплексного мониторинга состояния горных работ // Известия вузов. Горный журнал. 2023. № 1. С. 89–100. DOI: [10.21440/0536-1028-2023-1-89-100](https://doi.org/10.21440/0536-1028-2023-1-89-100)

For citation: Kornilkov S. V., Kravchuk I. L., Cherepanov V. A. Indicators of the emergence of hazardous production situations in the integrated monitoring data of the state of mining operations. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = Minerals and Mining Engineering*. 2023; 1: 89–100 (In Russ.). DOI: [10.21440/0536-1028-2023-1-89-100](https://doi.org/10.21440/0536-1028-2023-1-89-100)