

## О прогнозе возникновения опасных производственных ситуаций на угольных разрезах

Корнилков С. В.<sup>1</sup>, Кравчук И. Л.<sup>2\*</sup>, Пикалов В. А.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

<sup>2</sup> Челябинский филиал Института горного дела УрО РАН, г. Челябинск, Россия

<sup>3</sup> ООО «НТЦ-Геотехнология», г. Екатеринбург, Россия

\*e-mail: [kravchuk65@mail.ru](mailto:kravchuk65@mail.ru)

### Реферат

**Введение.** Для обеспечения устойчивой работы предприятий в условиях высокой динамики среды целесообразно управлять производственным риском. Развитие механизма управления производственным риском требует обеспечения прогноза возникновения опасных производственных ситуаций для стратегического управления как производством в целом, так и промышленной безопасностью в частности. Основная задача исследования – выявление технологических предпосылок возникновения опасных производственных ситуаций для их последующей фиксации и контроля при осуществлении производственной деятельности.

**Методика проведения исследований.** Прогноз возникновения опасных производственных ситуаций осуществлен на основании технологического аудита производственных единиц разрезу управления АО «СУЭК-Кузбасс», проведенного 20–21 июля 2023 г. Аналогичные исследования выполнены для разрезов ООО «СУЭК-Хакасия».

**Результаты и их анализ.** Выявлены области зарождения опасных производственных ситуаций, условия и закономерности их возникновения, характерные для открытой угледобычи. Определены индикаторы первичных и угрожающих последствий развития опасных производственных ситуаций, а также технологические предпосылки их возникновения на угольных разрезах. Показаны технологические индикаторы, отражающие доступные для наблюдения и измерения (качественного и количественного) характеристики контролируемого объекта как информационной базы для определения текущего состояния и прогнозирования динамики развития опасных производственных ситуаций.

**Выводы и область применения результатов.** Установлены основные виды технологических индикаторов, предприятиям рекомендовано уточнить перечень и критическую величину индикаторов, обуславливающих безаварийную работу по процессам. Применение установленных индикаторов нацелено на снижение уровня производственного риска и, как следствие, повышение управляемости производственным процессом угольных разрезов.

**Ключевые слова:** угольный разрез; управление риском; производственный риск; опасная производственная ситуация; технологический аудит; предпосылки возникновения; технологические предпосылки; индикатор; прогноз.

**Статья подготовлена** в рамках выполнения Госзаданий № 075-00412-22 ПП: FUWE-2022-0002, рег. № 1021062010532-7-1.5.1; FUWE-2022-0005, рег. № 1021062010531-8-1.5.1.

**Введение.** Исследования тенденций, закономерностей и методологических принципов управления риском на горнодобывающих предприятиях обусловлены необходимостью обеспечить устойчивость их работы в процессе развития горно-технических систем, сопровождающегося увеличением риска. Как следствие воз-

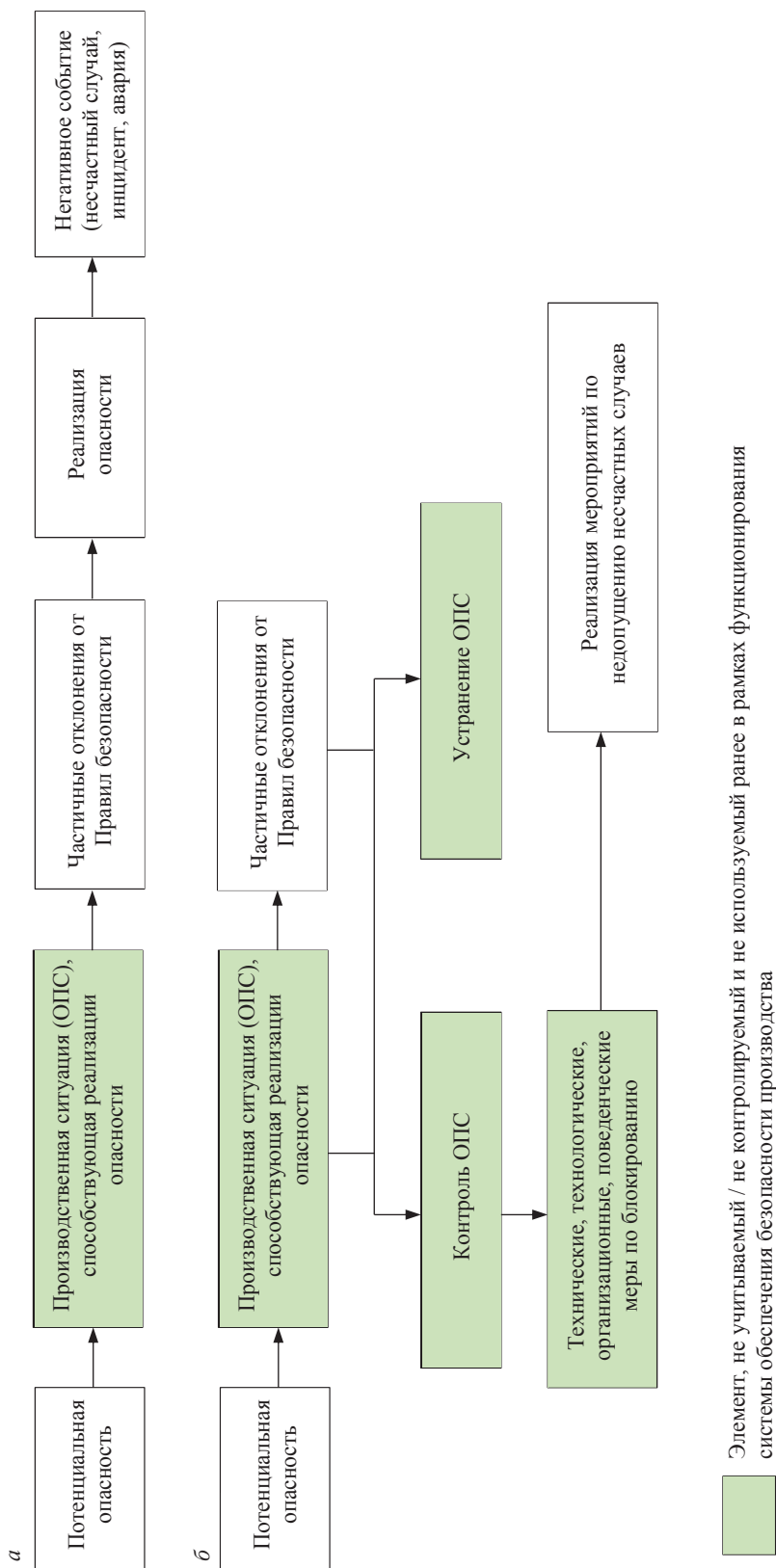


Рисунок 1. Логическая схема управления производственным риском на основе контроля опасных производственных ситуаций: *а* – возникновение негативного события; *б* – управление риском травмирования

Figure 1. Logical scheme of industrial risk management based on hazardous production situations control: *a* – occurrence of a negative event; *b* – injury risk management

растает потенциальный социально-экономический ущерб (в том числе для здоровья работников) в результате наступления негативных событий, связанных с производственной деятельностью предприятия [1].

Многолетняя практика работы отечественной угледобывающей отрасли показала, что в условиях высокой динамики среды функционирования предприятий обостряется производственный конфликт между задачами обеспечения эффективности и безопасности производства. Производственный конфликт – это столкновение интересов (потребностей) сотрудников предприятия в процессе выполнения ими производственных функций, вызванное тем, что достижение эффективности этих функций невозможно при обеспечении безопасности и наоборот [2, 3]. Приоритетное выполнение производственной программы без обеспечения требований безопасности, как и приоритетное управление риском возникновения аварий и травм без учета в работе необходимости выполнения производственной программы, подтверждают наличие этого конфликта [3].

Исследование тенденций, закономерностей и методов управления производственным риском на горнодобывающих предприятиях, а также установление особенностей их реализации в динамике развития горнотехнических систем, показали, что смягчение конфликта возможно путем контроля опасных производственных ситуаций при выполнении производственной программы (*Тенденции, закономерности и методологические принципы управления риском на горнодобывающих предприятиях в условиях развития горнотехнических систем: промежуточный отчет о НИР по теме № 075-00412-22 ПР. (FUWE-2022-0005) / науч. рук. темы В. Л. Яковлев. Челябинск: Челябинский филиал ИГД УрО РАН, 2022. 72 с.; Критерии, показатели, методы управления производственным риском на горнодобывающих предприятиях в условиях развития горнотехнических систем: промежуточный отчет о НИР по теме № 075-00412-22 ПР. (FUWE-2022-0005) / науч. рук. темы В. Л. Яковлев. Челябинск: Челябинский филиал ИГД УрО РАН, 2023. 88 с.*). Опасные производственные ситуации (ОПС) – это такое сочетание обстоятельств, возникающее вследствие производственного конфликта, которое вынуждает персонал работать с нарушениями требований безопасности, что приводит к повышению производственного риска до критических значений и, вследствие этого, к закономерному возникновению травм, аварий, инцидентов [3]. ОПС – индикатор существования производственного конфликта. Тогда объектом управления в рамках функционирования системы обеспечения охраны труда и промышленной безопасности целесообразно принять производственный риск – потенциальный социально-экономический ущерб, в том числе для здоровья работников, в результате наступления негативных событий (травм, аварий, инцидентов и простоев, включая остановки по решению суда), связанных с возникновением и развитием в производственной деятельности предприятия опасных производственных ситуаций [1]. Таким образом, это понятие объединяет риски экономические (невыполнение производственной программы, аварии, приостановки производства), и социальные (травмы).

В условиях развития горнотехнических систем наиболее целесообразно управление производственным риском. Это позволит учитывать основные факторы сложной техносферы горного производства и достигать на предприятиях требуемого уровня безопасности и эффективности производства [4]. Управление производственным риском осуществляется посредством контроля и устранения ОПС [5].

Сибирская угольная энергетическая компания (АО «СУЭК») с 2014 г. осваивает подход к управлению рисками травм и аварий на основе контроля ОПС, возникающих в деятельности предприятий, относящихся, прежде всего, к опасным производственным объектам первого и второго классов опасности (рис. 1). К настоящему моменту в достаточной мере отработан механизм выявления и последующего устранения или блокирования ОПС – в зависимости от стадии ее развития [6–9]. Развитие механизма требует, прежде всего, обеспечить прогноз возникновения ОПС для стратегического управления как производством в целом, так и промышленной безопасностью в частности.

В статье описывается методический подход к прогнозу возникновения ОПС, впервые осуществленный на угольных разрезах компании. Основная задача этой работы – выявление технологических предпосылок возникновения ОПС для их последующей фиксации и контроля при осуществлении производственной деятельности. Технологические предпосылки целесообразно использовать на угледобывающих предприятиях в качестве индикаторов появления ОПС.

**Методика исследований.** На основании технологического аудита, проведенного 20–21.07.2023 г., осуществлен прогноз возникновения опасных производственных ситуаций в разрезу управлении АО «СУЭК-Кузбасс» (ГОСТ Р 58920-2021. Технологический инжиниринг и проектирование. Технический и технологический аудиты. Основные положения и показатели: дата введ. 2022.01.01. М.: Стандартинформ, 2021. 12 с.; ГОСТ Р 57194.3-2016. Трансфер технологий. Технологический аудит: дата введ. 2017.05.01. М.: Стандартинформ, 2016. 38 с.), [10, 11]. Такие же исследования выполнены для разрезов ООО «СУЭК-Хакасия».

В ходе аудита изучены Планы развития горных работ (ПРГР): оценено их соответствие государственным требованиям и требованиям безопасности, определена целесообразность принятых технологических решений (относительно условий работы предприятий), рассмотрены альтернативные (дополнительные) инженерные решения для установления оптимальных вариантов выполнения текущих производственных задач. Также осуществлена проверка реализации ПРГР непосредственно на разрезах: оценивалось, насколько точно реализуются принятые технологические решения на местах, их адекватность горно-геологическим, гидрологическим, гидрогеологическим, климатическим и иным условиям работы конкретного разреза. Технологический аудит был нацелен как на оценку степени соответствия управления горными работами ПРГР и текущей производственной ситуации, так и на установление индикаторов первичных и угрожающих последствий ОПС.

**Анализ результатов аудита** свидетельствует:

– на всех трех угольных разрезах приняты проектные решения и плановые показатели разработки, основанные на поэтапном ведении горных работ с комбинацией продольного и поперечного перемещения фронта уступов с целенаправленным формированием участков временно нерабочих бортов или формированием и перемещением высоких уступов;

– принятая конструкция рабочей зоны и ожидаемые в ПРГР на 2023 г. положения горных работ ориентированы на достижение рациональных и экономически целесообразных текущих коэффициентов вскрыши в условиях перераспределения нагрузки между предприятиями АО «СУЭК-Кузбасс» с открытой и подземной угледобычей;

– указанные аспекты работы связаны, прежде всего, с необходимостью разработки целевых мероприятий, включаемых в технологические операции ведения горных работ, для превентивной компенсации негативных последствий отклонения параметров разработки от планируемых и проектируемых.

Аудит состояния горных работ выявил области зарождения ОПС, условия и закономерности их возникновение, характерные для открытой угледобычи. Анализ потенциальной опасности и существа формирующихся при ведении горных работ опасных процессов позволил определить индикаторы первичных и угрожающих последствий развития ОПС, а также технологические предпосылки их возникновения [12–17].

Результаты анализа свидетельствуют о том, что основные операции и приемы, характерные для применяемой технологии на всех проанализированных предприятиях, являются однотипными:

- повсеместно формирующиеся высокие уступы высотой до 50–60 м, образующиеся за счет сокращения ширины предохранительных берм (по проекту 10,5 м) или их отсутствия (подработки) из-за конструктивных особенностей применяемых гидравлических экскаваторов – прямых лопат;

- поперечная отработка верхней части рабочей зоны, организованная с целью повышения интенсивности ведения горных работ, из-за заужения берм приводит к тому, что средняя и нижняя части перемещаемого борта (высокого уступа) закрыты просыпью;

- отход от практики формирования временных целиков с организацией между ними концентрационных площадок и выделением зон консервации или расконсервации по высоте борта – надугольная зона нижнего горизонта консервируется на высоту до 30–40 м без оставления берм одновременно с нижним пластом;

- формирующиеся из-за просадки подработанного шахтами массива оползни требуют проведения маркшейдерских наблюдений (в районе подработанного шахтой массива) для определения статистических показателей и индикаторов, характеризующих лаг между подработкой массива шахтой и интенсивностью просадки подработанного массива и его деформацией с одновременным образованием безвозвратных потерь угля и развитием деформаций на уже отсыпанном внутреннем отвале;

- неотработанный регламент прогноза просадки уступов, а также буровзрывные работы (БВР) под высокими уступами и БВР при отработке зон со трещиноватостью в сторону выработанного пространства;

- недостаточно отлаженное информационное взаимодействие геолого-маркшейдерской службы с участком БВР с целью совершенствования их параметров, исключающих оползание и вывалы горной массы на участках со специфичным залеганием.

Различия проявляются в случаях, когда местные условия предусматривают отклонения, присущие только сложившимся конкретным горно-геологическим условиям.

Выявлена совокупность технологических предпосылок возникновения опасных производственных ситуаций на разрезах ООО «СУЭК-Хакасия». Рассмотрены технологические индикаторы, которые отражают доступные для наблюдения и измерения (качественного и количественного) характеристики контролируемого объекта как информационной базы для прогнозирования динамики развития ОПС и определения текущего состояния.

Установление технологических и организационных границ оперативного управления производственным риском обусловлено, прежде всего, существом выявленных проявлений наиболее распространенных опасных производственных ситуаций, а также их признаков – индикаторов ОПС, характеризующих благополучие протекающего процесса, или свидетельствующих о зарождении ОПС.

Таблица 1. Технологические предпосылки возникновения опасных производственных ситуаций на разрезе «Камышанский» АО «СУЭК-Кузбасс»  
 Table 1. Technological prerequisites for hazardous production situations at the Kamyshansky open pit of AO SUEK-Kuzbass

Потенциальная опасность	Формирующаяся ОПС	Индикаторы (признаки) ОПС	Последствия	Решения
<i>Добыча</i>				
Самовозгорание законсервированного угля	Консервация угля с отступлением от технологии консервации	Первичные: наличие выхода участков пласта на свободную поверхность. Угрожающие: саморазогрев угля, эндогенный пожар	Эндогенный пожар, потери полезного ископаемого	<ul style="list-style-type: none"> <li>– подтопление или засыпка пустыми породами видимой части нижнего пласта;</li> <li>– отсыпка инертными породами зон саморазогрева пластов, визуальное определяемых выделением дыма</li> </ul>
Потеря балансовых запасов угля и деформация выработанного пространства при консервации	Отсутствие технического задания и проекта консервации	Первичные: незасыпанные пласты, рабочее пространство, не приведенное в безопасное положение. Угрожающие: деформация уступа и участка борта, запожаривание добычной зоны	Оползни, эндогенный пожар	<ul style="list-style-type: none"> <li>– отработка крутых крыльев мульды;</li> <li>– выполаживание выработанного пространства на отдельных участках;</li> <li>– приведение уступов в устойчивое положение;</li> <li>– компенсация расходов на консервацию карьерного пространства за счет частичной отработки верхних угольных пластов при объеме добычи 250–300 тыс. т/год с текущим коэффициентом вскрыши до 10 м<sup>3</sup>/т (обосновать расчетом)</li> </ul>
<i>Вскрышиа</i>				
Потеря устойчивости высоких уступов с общим углом откоса до 35–40°, конструкция которых находится на пределе устойчивости	Отсутствие долговременной консервации высоких (до 50–60 м) уступов с поперечной поперечной отработкой	Первичные: засыпка предохранительных берм, некачественная заоткоска при консервации. Угрожающие: деформация уступа, периодические вывалы отдельных кусков горной массы	Оползни, просыпи, падение отдельных кусков породы, травмирование работников, повреждение оборудования	<ul style="list-style-type: none"> <li>– разработка Проекта консервации горных работ;</li> <li>– приведение высоких уступов в устойчивое положение или принудительная подсыпка откосов;</li> <li>– организация улавливающего вала на нижней площадке;</li> <li>– периодические профилактические осмотры откосов;</li> <li>– разработка заключения по устойчивости и безопасным параметрам высокому уступу специализированной организацией</li> </ul>

Продолжение таблицы 1

Потенциальная опасность	Формирующаяся ОПС	Индикаторы (признаки) ОПС	Последствия	Решения
<i>Отвалообразование</i>				
Возможная деформация отсыпанного внутреннего отвала	Наличие оползня, распротраняющегося деформации на погашенный борг и ранее отсыпанный внутренний отвал	Первичные: деформация откоса, осыпи. Угрожающие: локальные оползни, подвалка добычного уступа	Оползень, травмирование работников, повреждение оборудования, потери угля	– отсыпка нижнего яруса внутреннего отвала в районе оползня для предупреждения развития деформаций; – отсыпка нижнего яруса отвала и нижнего пласта инертными породами;
<i>Хранение угля</i>				
Нагрев угля на складе (при принятии решения о компенсации расходов на консервацию)	Эксплуатация внутрикарьерных угольных складов (конусов) с нарушением сроков хранения угля	Первичные: нарушение сроков хранения угля на складе. Угрожающие: саморазогрев угля, эндогенный пожар	Эндогенный пожар, потери полезного ископаемого	– ворошение угля на складе; – системное управление отгрузкой и поступлением угля на склад в увязке с его нахождением в забоях с целью общего управления временем саморазогревания угля для обеспечения максимальной длительности его хранения без самовозгорания; – создание резервных секторов и их участков и уплотнением поверхности угольной массы

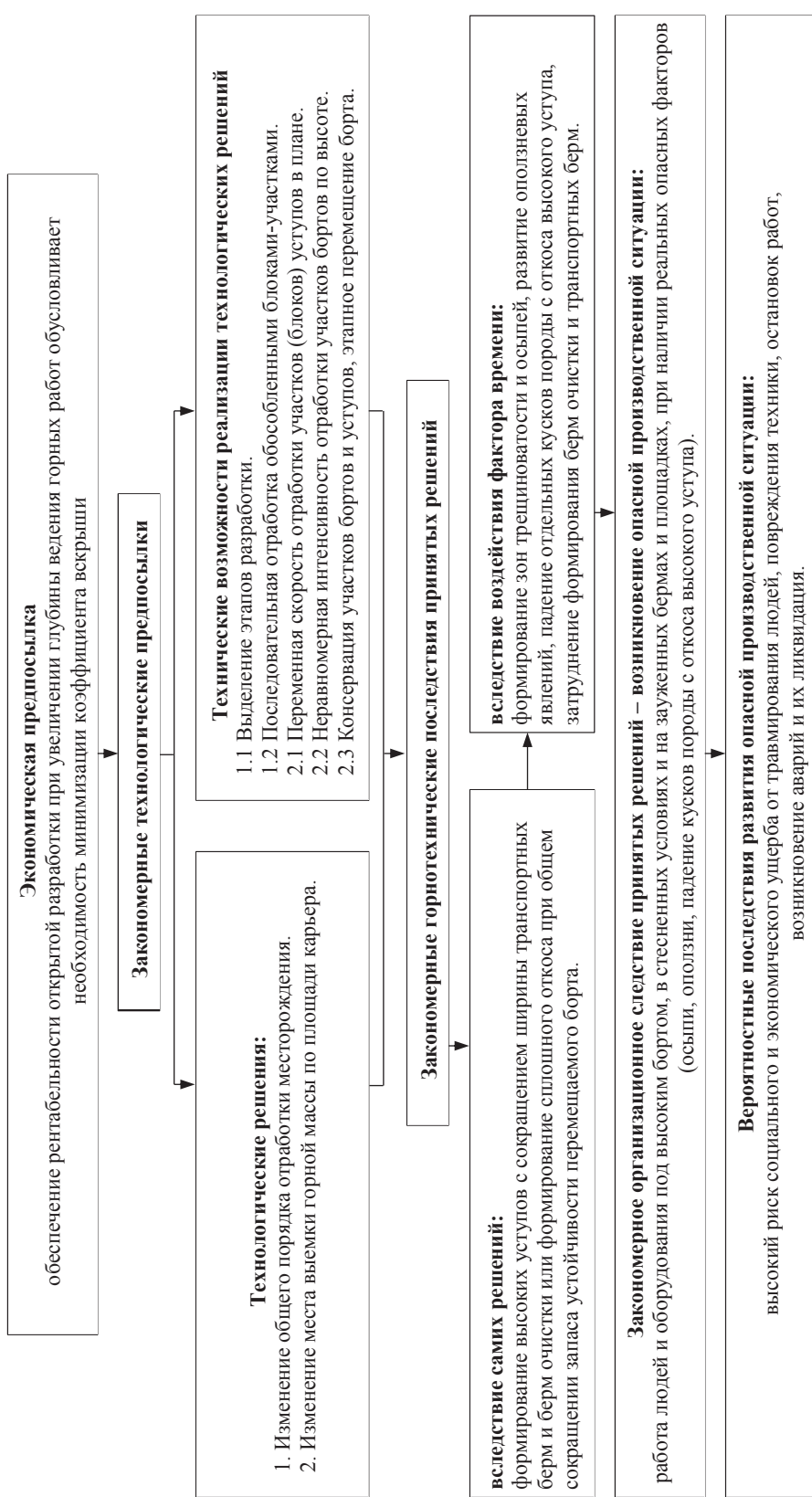


Рисунок 2. Предпосылки возникновения опасной производственной ситуации на открытых горных работах (на примере работы людей и оборудования под высоким бортом)

Figure 2. Prerequisites for a hazardous incident in the course of open-cast mining (by the example of people and equipment working under a high wall)



*Организационные индикаторы* – показатели, характеризующие отклонения от Федеральных правил и норм по безопасности либо отклонения от правил безопасной эксплуатации оборудования. К элементам, определяющим механизм оперативного управления производственными рисками, следует отнести организационные индикаторы, которые характеризуют наблюдаемые текущие количественные отклонения.

Указанные отклонения достаточно легко устанавливаются и идентифицируются, поскольку имеют четкие внешние проявления, описаны в документации по безопасной эксплуатации, регламентируются инструкциями и контролируются инженерно-техническими работниками и производственным персоналом на рабочих местах в течение смены или с установленной периодичностью.

Технологические предпосылки возникновения опасных производственных ситуаций на одном из разрезов ООО «СУЭК-Хакасия» и выявленный перечень первичных и угрожающих индикаторов, характеризующий их проявления, приведены в табл. 1.

*Технологические индикаторы* – показатели, оценивающие комплексное состояние горных работ и их динамику, к ним отнесены прежде всего текущие параметры разработки, порождающие ОПС под влиянием меняющихся горнотехнических и природных условий ведения горных работ. Чаще всего они обуславливаются экономическими соображениями, цикличностью возобновления запасов и связанных с этим производственных процессов, в том числе отсутствием материальных и финансовых резервов.

При рассмотрении технологических предпосылок возникновения ОПС в первую очередь проанализированы технологические решения и построены алгоритмы (схемы) их возникновения (рис. 2). Анализ показал, что технологические решения, чаще всего принимаемые на угольных разрезах, обусловлены именно экономическими предпосылками. Само по себе инженерное решение не приводит к возникновению опасности, но поскольку производственный процесс характеризуется наличием отклонений его параметров от заданных, то каждое отклонение требует разработки дополнительных организационных и технологических решений, обеспечивающих безопасную угледобычу в опасных условиях.

Если рассматривать организационные и технологические индикаторы как ранние признаки возникновения ОПС (которые сигнализируют, что необходимо вмешаться и принять меры), то экономические предпосылки нужно выявлять для того, чтобы определить, может ли предприятие устранить конкретную ОПС. Если при текущем уровне развития технологии устранение ОПС, обусловленной экономическими предпосылками, невозможно, то важно понять, какие необходимы меры, чтобы ОПС не реализовалась в негативное событие.

И ОПС, и экономические предпосылки их возникновения должны быть включены в реестры. В этом случае и работники служб, ответственные за обеспечение безопасности производства, и руководители, и специалисты, ответственные за осуществление производственного процесса, будут проинформированы о наличии потенциальной опасности, уровне риска, который на предприятии считается приемлемым, методах управления риском. Операционный персонал будет знать о повышенном уровне риска и конкретных опасностях на рабочих местах и сможет принять меры, позволяющие работать безопасно в этих условиях. Также реестры ОПС и предпосылок их возникновения, прежде всего экономических, станут информационной базой для ученых и исследователей-практиков, развивающих области горного дела, обеспечения безопасности производства, управления риском и др.

**Выводы и область применения результатов.** К основным видам технологических индикаторов следует относить:

- изменение активной площади рабочей зоны, характеризующейся изменением конструкции рабочего пространства (консервация–расконсервация) и учитывающей формирование сдвоенных (строенных) уступов, появление временно нерабочих участков бортов;
- снижение устойчивости пород, деформации и оползневые явления, подтопление нижних горизонтов, выпучивание породы из-под отвальной массы;
- развитие эндогенных процессов, связанных с саморазогревом угля в забоях, на складах, на внешних и внутренних отвалах (парение, дымление, горение, повышение концентрации угарного газа в рудничной атмосфере);
- изменение состояния инфраструктурного поверхностного комплекса, обеспечивающего текущее ведение горных работ и их перспективное развитие и пр.

Наиболее действенным методом контроля и опережающей разработки мероприятий по нормализации безопасного ведения работ является их комплексный мониторинг, организация которого подразумевает создание методики его налаживания, а также поиск количественных показателей (индикаторов благополучия производственных процессов). Предприятиям рекомендовано уточнить перечень и критическую величину индикаторов, обуславливающих безаварийную работу по процессам.

Применение установленных индикаторов нацелено на снижение уровня производственного риска и, как следствие, повышение управляемости производственным процессом. За счет этого будут обеспечены точность и своевременность реакции горнотехнической системы на изменения условий функционирования угольного разреза.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Яковлев В. Л., Кравчук И. Л., Неволлина Е. М., Иванов Ю. М. Требования к системе обеспечения безопасности в условиях переходных процессов на горнодобывающем предприятии // Уголь. 2018. № 7. С. 26–30. DOI: 10.18796/0041-5790-2018-7-26-30
2. Голубев М. Г. Снижение травматизма на угольных шахтах на основе выявления и устранения производственных конфликтов: дисс. ... канд. техн. наук. Челябинск, 2004. 127 с.
3. Лисовский В. В., Кравчук И. Л., Денисов С. Е. Производственный конфликт как основа управления производственным риском // ГИАБ. 2019. № 9. С. 211–218. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-09-0-211-218
4. Неволлина Е. М., Шишкина С. В. Развитие компетентности персонала горнодобывающего предприятия как метод обеспечения безопасных условий труда // ГИАБ. 2021. № 5-1. С. 336–349. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_51\_0\_336
5. Галкин А. В., Смолин А. В., Неволлина Е. М. Управление производственным риском как элемент проектирования системы обеспечения безопасности труда горнодобывающего предприятия, обеспечивающий надежность ее функционирования // Горная промышленность. 2022. № 1S. С. 86–94. DOI: 10.30686/1609-9192-2022-1S-86-94
6. Лисовский В. В. Подход к формированию методики оперативного управления рисками травмирования на угольных шахтах // Уголь. 2014. № 5. С. 84–89.
7. 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.
8. Шаповаленко Г. Н., Радионов С. Н., Галкин А. В. Повышение уровня безопасности производства на основе выявления и устранения опасных производственных ситуаций // ГИАБ. 2015. № 11(62). С. 84–97.
9. 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: 10.32686/1812-5220-2021-18-1-66-75
10. Пильнов Г., Тарасова О., Яновский А. Как проводить технологический аудит // Наука и коммерциализация технологий: проект Europeaid. 2006. 96 с. URL: <https://v4.conf.udsu.ru/files/1239804611.pdf> (дата обращения: 18.07.24 г.).

11. Helmut Detter, Hans H. Hinterhuber, Hans Wörndl-Alchriedler, Technical audit: How to assess the technological standard of a company // International journal of production economics. 1991. Vol. 24. Iss. 1–2. P. 41–47. DOI: 10.1016/0925-5273(91)90151-1

12. Левашов С. П., Карначев И. П., Челтыбашев А. А. Стратегии управления профессиональными рисками посредством анализа ключевых индикаторов мониторинга безопасности труда // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2018. № 2. С. 146–153.

13. 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

14. Robson L. S., Ibrahim S., Hogg-Johnson S., Steenstra I. A., Van Eerd D., Amick B. C. Developing leading indicators from OHS management audit data: Determining the measurement properties of audit data from the field // Journal of safety research. 2017. Vol. 61. P. 93–103. DOI: 10.1016/j.jsr.2017.02.008

15. Jiaqi Ma, Hong Dai. A methodology to construct warning index system for coal mine safety based on collaborative management // Safety science. 2017. Vol. 93. P. 86–95. DOI: 10.1016/j.ssci.2016.11.012

16. Junsheng Du, Jie Chen, Yuanyuan Pu, Deyi Jiang, Linlin Chen, Yunrui Zhang. Risk assessment of dynamic disasters in deep coal mines based on multi-source, multi-parameter indexes, and engineering application // Process safety and environmental protection. 2021. Vol. 155. P. 575–586. DOI: 10.1016/j.psep.2021.09.034

17. Zelin Wu, Yuntao Li, Qi Jing. Quantitative risk assessment of coal mine gas explosion based on a Bayesian network and computational fluid dynamics // Process safety and environmental protection. 2024. Vol. 190, Part B. P. 780–793. DOI: 10.1016/j.psep.2024.08.080

Поступила в редакцию 18 июля 2024 года

#### Сведения об авторах:

**Корнилков Сергей Викторович** – доктор технических наук, профессор, 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/0000-0002-3432-1449>

**Пикалов Вячеслав Анатольевич** – доктор технических наук, начальник отдела ООО «НТЦ-Геотехнология». E-mail: pikalov@ustup.ru; <https://orcid.org/0009-0003-9251-5190>

DOI: 10.21440/0536-1028-2024-6-59-71

## Hazardous production situations forecast at coal pits

Sergei V. Kornilkov<sup>1</sup>, Igor L. Kravchuk<sup>2</sup>, Viacheslav A. Pikalov<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Institute of Mining UB RAS, Ekaterinburg, Russia.

<sup>2</sup> Institute of Mining UB RAS (Chelyabinsk branch), Chelyabinsk, Russia.

<sup>3</sup> ООО NTTs-Geotekhnologiya, Ekaterinburg, Russia.

### Abstract

**Introduction.** To ensure the sustainable operation of enterprises in conditions of high environmental dynamics, it is advisable to manage production risk. The development of a production risk management mechanism requires forecasting hazardous production situations for strategic management of both production, in general, and industrial safety in particular. The main objective of this work is to identify technological prerequisites for hazardous production situations to record and control them during production.

**Methods of research.** Hazardous production situations were forecasted based on a technological audit of AO SUEK-Kuzbass mining department production units, conducted on July 20–21, 2023. Similar studies were performed for ООО SUEK-Khakassia open pits.

**Results and analysis.** The areas of hazardous production situations origination, conditions and patterns of their occurrence characteristic of open-cast coal mining have been identified. The indicators of the primary and threatening consequences of hazardous production situations development were determined, as well as their technological prerequisites in coal pits. The technological indicators are shown, which reflect the characteristics of the controlled object that are available for qualitative and quantitative observation and measurement; the controlled object serves as an information base for predicting the current state and dynamics of hazardous production situations development.

**Conclusions and application of research results.** The main types of technological indicators have been established; enterprises are recommended to clarify the list and the critical value of indicators that determine incident-free operation for processes. The established indicators are aimed at reducing the level of production risk and, as a result, increasing the manageability of the coal pit production process.

**Keywords:** coal pit; risk management; production risk; hazardous production situation; technological audit; prerequisites; technological prerequisites; indicator; forecast.

**The research was carried out** within the state assignments no. 075-00412-22 PR: FUWE-2022-0002, reg. no. 1021062010532-7-1.5.1; FUWE-2022-0005, reg. no. 1021062010531-8-1.5.1.

#### REFERENCES

1. Iakovlev V. L., Kravchuk I. L., Nevolina E. M. Requirements for the safety system in the conditions of transients in a mining enterprise. *Ugol = Coal*. 2018; 7: 26–30. (In Russ.) Available from: doi: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2018-7-26-30>.
2. Golubev M. G. *Reduction of injuries in coal mines based on the identification and elimination of production conflicts*. PhD in Eng. Diss. Chelyabinsk; 2004. (In Russ.)
3. Lisovskii V. V., Kravchuk I. L., Denisov S. E. Production conflict as a basis for production risk management. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2019; 9: 211–218. (In Russ.) Available from: doi: [10.25018/0236-1493-2019-09-0-211-218](https://doi.org/10.25018/0236-1493-2019-09-0-211-218)
4. Nevolina E. M., Shishkina S. V. Developing the competence of mining company personnel as a method of ensuring safe working conditions. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2021; 5-1: 336–349. (In Russ.) Available from: doi: [10.25018/0236\\_1493\\_2021\\_51\\_0\\_336](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2021_51_0_336)
5. Galkin A. V., Smolin A. V., Nevolina E. M. Production risk management as an element of the design of a mining enterprise's occupational safety system, ensuring the reliability of its operation. *Gornaia promyshlennost' = Russian Mining Industry*. 2022; 1S: 86–94. (In Russ.) Available from: doi: [10.30686/1609-9192-2022-1S-86-94](https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-1S-86-94)
6. Lisovsky 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.)
7. Lisovsky 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.)
8. Shapovalenko G. N., Radionov S. N., Galkin A. V. Improving the level of production safety based on the 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(62): 84–97. (In Russ.)
9. Rudakov M. L., Bolshunova O. M., Sobyenin 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. (In Russ.) Available from: doi: <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2021-18-1-66-75>
10. Pilnov G., Tarasova O., Ianovskii A. How to conduct a technology audit. In: *Science and commercialization of technologies: Europeaid project*. 2006. (In Russ.) Available from: <https://v4.conf.udsu.ru/files/1239804611.pdf>
11. Detter H., Hinterhuber H., Wörndl-Alchriedler H. Technical audit: How to assess the technological standard of a company. *International Journal of Production Economics*, 1991; 24(1-2): 41–47. Available from: [https://doi.org/10.1016/0925-5273\(91\)90151-I](https://doi.org/10.1016/0925-5273(91)90151-I)
12. Levashov S. P., Karmachev I. P., Cheltybashev A. A. Occupational risk management strategies through the analysis of key indicators of occupational safety monitoring. *Izvestiia Tul'skogo Gosudarstvennogo Universiteta. Nauki o Zemle = Proceedings of the Tula State University. Earth Sciences*. 2018; 2: 146–153. (In Russ.)
13. 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.) Available from: doi: [10.21440/0536-1028-2023-1-89-100](https://doi.org/10.21440/0536-1028-2023-1-89-100)
14. Robson L. S., Ibrahim S., Hogg-Johnson S., Steenstra I. A., Van Eerd D., Amick B. C. Developing leading indicators from OHS management audit data: Determining the measurement properties of audit data from the field. *Journal of Safety Research*. 2017; 61: 93–103. Available from: doi: <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2017.02.008>

15. Ma J., Dai H. A methodology to construct warning index system for coal mine safety based on collaborative management. *Safety Science*. 2017; 93: 86–95. Available from: doi: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.11.012>

16. Junsheng Du, Jie Chen, Yuanyuan Pu, Deyi Jiang, Linlin Chen, Yunrui Zhang. Risk assessment of dynamic disasters in deep coal mines based on multi-source, multi-parameter indexes, and engineering application. *Process Safety and Environmental Protection*. 2021; 155: 575–586. Available from: doi: [10.1016/j.psep.2021.09.034](https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.09.034)

17. Zelin Wu, Yuntao Li, Qi Jing. Quantitative risk assessment of coal mine gas explosion based on a Bayesian network and computational fluid dynamics. *Process Safety and Environmental Protection*. 2024; 190(B): 780–793. Available from: doi: [10.1016/j.psep.2024.08.080](https://doi.org/10.1016/j.psep.2024.08.080)

Received 18 July 2024

#### Information about the authors:

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

**Igor L. Kravchuk** – DSc (Engineering), Director of Chelyabinsk branch of the Institute of Mining UB RAS (Chelyabinsk branch). E-mail: [kravchuk65@mail.ru](mailto:kravchuk65@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-3432-1449>

**Viacheslav A. Pikalov** – DSc (Engineering), section head of OOO NTTs-Geotekhnologiiia. E-mail: [pikalov@ustup.ru](mailto:pikalov@ustup.ru); <https://orcid.org/0009-0003-9251-5190>

**Для цитирования:** Корнилков С. В., Кравчук И. Л., Пикалов В. А. О прогнозе возникновения опасных производственных ситуаций на угольных разрезах // Известия вузов. Горный журнал. 2024. № 6. С. 59–71. DOI: [10.21440/0536-1028-2024-6-59-71](https://doi.org/10.21440/0536-1028-2024-6-59-71)

**For citation:** Kornilkov S. V., Kravchuk I. L., Pikalov V. A. Hazardous production situations forecast at coal pits. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = Minerals and Mining Engineering*. 2024; 6: 59–71 (In Russ.). DOI: [10.21440/0536-1028-2024-6-59-71](https://doi.org/10.21440/0536-1028-2024-6-59-71)