ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2022;(2):139-149
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 622.81 DOI: 10.25018/0236_1493_2022_2_0_139

ФАКТОРЫ ВЛИЯНИЯ НА РЕЗЕРВ ВРЕМЕНИ ДЛЯ ВЫХОДА ИЗ ПОДЗЕМНЫХ АВАРИЙ В ШАХТАХ

В.В. Куприянов[1], И.С. Бондаренко[1]

[1] НИТУ «МИСиС», Москва, Россия, e-mail: kupriyanov.vv@misis.ru

Аннотация: Рассмотрены проблемы, связанным с обеспечением безопасности на горнодобывающих предприятиях при авариях. Выполнены статистический, технический и экспертный анализы, используя доступные исследования и данные о причинах и условиях возникновения подземных аварий (взрывы метана и угольной пыли, завалы и обрушения, эндогенные пожары и т.п.) за последние 15 лет в угольных шахтах России и других стран. Исследование, основанное на природных, технических и организационных факторах (причины и условия), показало, что в настоящее время существует тенденция к увеличению числа таких аварий. Выделено несколько возможных причин достаточно высокой аварийности в шахтах и наличия смертельных травм: неучтенные запасы времени для выхода из шахты не используются в действиях персонала и руководства по управлению безопасностью при авариях; принятие решений по локализации аварий ведется на основе недостоверных сведений; неконтролируемые и трудноуправляемые факторы влияют на развитие аварий. Предложена временная модель развития аварии. Установлено наличие структурной закономерности в шести различных авариях, которую выражает «золотой вурф». Это свидетельствует о присутствии оптимальной временной зависимости между резервом времени и временем выхода из аварий любой сложности. Обсуждены природные, технические и организационные факторы, влияющие на запас времени по выходу из аварий. Показана важность информационной фильтрации засоренных численных и лингвистических сообщений для персонала шахт при анализе аварий. Сформулирована идея процедуры их фильтрации.

Ключевые слова: безопасность, временная модель, прогнозирование, трудноуправляемые факторы, оценка опасности, природные, технические и организационные факторы, взрыв, авария, угольные шахты.

Для цитирования: *Куприянов В. В., Бондаренко И. С.* Факторы влияния на резерв времени для выхода из подземных аварий в шахтах // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 2. – С. 139–149. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_2_0_139.

Factor of influence on time allowance in emergency preparedness in underground mines

V.V. Kupriyanov[1], I.S. Bondarenko[1]

[1] National University of Science and Technology «MISiS», Moscow, Russia,
e-mail: kupriyanov.vv@misis.ru

Abstract: The article focuses on problems connected with safety of mines in case of accidents. The authors have accomplished the statistical, geotechnical and expert analyses using available studies and data on the conditions and causes of accidents in underground coal mines (explo-

© В.В. Куприянов, И.С. Бондаренко. 2022.

sions of methane and coal dust, avalanches and falls, endogenous fires, etc.) for the last 15 years in Russia and in other countries. The analysis of natural, engineering and managerial factors (causes and conditions) shows the current increasing trend in the number of the listed above accidents. The authors highlight some causes of high accident rate and lethal injuries in coal mines: unaccounted time allowance unused in emergency preparedness actions by mine personnel and management; decision-making on accident isolation is often based on unreliable information; uncontrollable and unhandy factors influence progression of accidents. A time-dependent model of accident development is proposed. A structural pattern is revealed in 6 different accidents — a 'gold wurf'. This means that there exists an optimal ratio of the time allowance and the time of elimination and recovery in case of accident of any severity. The natural, technical and managerial factors that affect time allowance in emergency preparedness are discussed. The importance of filtration of noisy numerical and verbal messages sent to mine personnel in the course of an accident is emphasized.

Key words: safety, time-dependent model, prediction, unhandy factors, hazard assessment, natural/technical/managerial factors, explosion, accident, coal mines.

For citation: Kupriyanov V. V., Bondarenko I. S. Factor of influence on time allowance in emergency preparedness in underground mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(2):139-149. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_2_0_139.

Введение

Извлечение полезного ископаемого является одним из наиболее опасных видов деятельности человека. Это связано с тем, что все работы ведутся в стесненных условиях и замкнутом пространстве [1]. Практически все работы по извлечению ресурсов из недр влекут за собой нарушения земной поверхности, зачастую непрогнозируемые [2], они вызывают амплитудные колебания [3], оказывающие влияния на подземные и наземные сооружения [4]. Риски возникновения аварий на горнодобывающих предприятиях с каждым годом возрастают. [5]. Из-за аварий и затрат на их ликвидацию снижается экономическая эффективность предприятия [6] и его финансовая устойчивость на международном рынке в условиях глобализации [7, 8]. Вопросы снижения рисков возникновения аварийных ситуация путем внедрения цифровых технологий и автоматизированных систем рассматривались в работах [9—11].

Разработка угольных месторождений в настоящее время остается наиболее аварийным и опасным видом добычи ископаемых. Общий анализ статистики аварий за 2003—2017 гг. в рамках государственной научно-технической программы «Безопасность населения и народнохозяйственных объектов с учетом риска возникновения природных и техногенных катастроф» (ГНТП «Безопасность»), а также материалов их расследования [12—19] показал, что наиболее высокий уровень аварий приходится на оборудование, доля в общей аварийности шахт — 28,7%, причем среди них на шахтный подъем и стволы приходится 18,6%, на подземный транспорт, крепь и конвейерное оборудование — 6,0%, на вентиляцию — 4,1%. Пожары составляют за тот же период 23,7%, загазирование выработок — 14,6%, обрушения и завалы — 11%, взрывы метанопылевоздушной смеси — 8,9%, затопления выработок водой — 4,3%, внезапные выбросы пыли, угля и газа — 6,1%, проры-

вы в выработки скоплений заиловочных материалов и глины — 2,7%. Свыше 72% человек от числа пострадавших получили смертельные травмы.

Из всех приведенных типичных аварий в шахтах можно выделить три класса: аварии прогнозируемые, возникновение которых можно предвидеть из закономерных условий и причин их возникновения; аварии определяемые, причины возникновения которых можно определить после их свершения или ликвидации, т.е. они происходят в результате непредвиденных или неизвестных априори причин, но само их возникновение вскрывает их причины; аварии непредсказуемые, причины которых нельзя достоверно определить ни до аварии, ни после. Эта классификация свидетельствует о возможности обобщения аварий по причинам и условиям их возникновения в виде некоторых перечней [13, 15]. Обзор и обобщение статистики аварий позволили получить по подземным авариям свыше 140 причин и более 160 условий их возникновения в угольных шахтах. Наиболее полные сведения, позволяющие разработать конкретные меры повышения безопасности горных работ при авариях, могут быть получены при расследовании аварий с применением методов прогнозирования и экспертных оценок. Этот вывод подтверждается в [13].

В работе [20] была выполнена оценка прогнозируемости тридцати нештатных ситуаций (НшС), характеризующих аварии (завалы и обрушения выработок, их затопление, останов шахтного подъема и вентилятора главного проветривания). В качестве прогнозирующих моделей использовались переборные алгоритмы селекции по критерию непротиворечивости и паттерн-анализа. Было установлено, что только 7 НшС прогнозируются удовлетворительно, остальные дают размытый прогноз. Это объясняется тем, что каждая из непредсказанных НшС описывается не одной, а несколькими моделями в виде разностных уравнений, переключаемыми в зависимости от условий действия как отдельного опасного фактора (ОФ), так и других ОФ. Характерно, что прогнозируемыми НшС являются число падений в ствол людей и техники, отказы водоотливных установок, число нарушений режима работы подъемной машины, число зависаний клети. Следовательно, существует устойчивая отрицательная тенденция к стабилизации их числа: среднее число каждой из этих НшС стремится к некоторой постоянной величине, повторяющейся из года в год в течение полутора десятилетий. Аналогичные результаты были получены при краткосрочном (на 1 год) прогнозе 12 контролируемых технологических ситуаций с конвейером и крепью лавы в очистном забое с помощью сплайн-функций [21]. Из них успешно прогнозируемыми оказались лишь семь ситуаций. Непредсказуемыми являются такие ситуации, как заштыбовка конвейера, обрывы гидростоек от опор крепи лавы, заваливания секций крепи, порывы проушин крепи и т.д.

Процессы обеспечения безопасности при авариях определяются всеми факторами, присущими горному производству, — природными, техническими, организационными, которые проявляются в наличии ряда закономерностей в поведении объекта мониторинга. Часто в одной общей формулировке причины скрыты несколько различных по природе факторов. В частности, каждой причине аварии соответствует определенный состав ОФ, недостоверная информация может возникнуть в любой момент функционирования горного производства. Структурная формула причинно-следственных взаимосвязей показана на рис. 1.

Рис. 1. Структурная формула причинно-следственных взаимосвязей
Fig. 1. Structural formula of cause-and-effect

Оценки развития аварий и ее последствий формируются в ходе информационной деятельности (ИД) персонала и определяют направление его производственных действий (ПД). Обеспечение адекватности этих оценок требует формализации связей в этой формуле. Раскрытие их смысла достигается на основе информационного моделирования сценариев возникновения и развития возможных аварий, которые интерпретируются причинными диаграммами появления цепочки аварии и позволяют указать места ее локализации. Вводится дополнительная информация, например, в виде временных характеристик аварий. Результаты исследования показали, что при анализе причин и условий возникновения аварий часто не учитывается запас времени на их локализацию (ограничение их дальнейшего развития без устранения причин возникновения). Даже при наличии слабоподконтрольных или трудноуправляемых факторов, например, барометрического давления, есть резерв времени в такой аварии, как загазирование выработок.

Среди всех факторов (природных, технических, организационных) всегда присутствуют засоренные сведения. Как известно, сведения достоверны, если они соответствуют действительности, и недостоверны, если противоречат ей. Поэтому необходимо фильтровать информационные сообщения, причем как численные, так и лингвистические. Взаимодействия НшС, обусловленных неподконтрольными и трудноуправляемыми факторами, имеющими природный или смешанный природно-техногенный

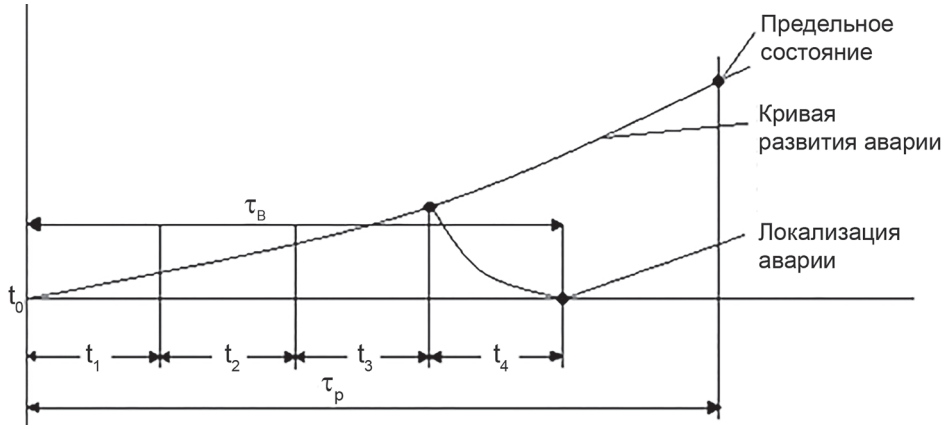

Рис. 2. Временная модель развития аварии: t_0 — время до начала обнаружения аварии, t_1 — время восприятия информации человеком, t_2 — время переработки информации человеком, t_3 — время принятия решения по локализации аварии, t_4 — время на осуществление мероприятий (на моторику)

Fig. 2. Time-dependent model of accident development: t_0 *— time before accident detection;* t_1 *— time of information perception by a man;* t_2 *— time of information processing by a man;* t_3 *— time of decision-making on accident isolation;* t_4 *— time of implementation activities*

характер, описываются фрактальными моделями при большом числе обстоятельств за пределами вероятностных оценок. Редкие природные факторы, например, горные удары, внезапные выбросы, обрушение пород кровли в выработках и т.п. приводят к тяжелым последствиям. Их плотности вероятностей располагаются выше «хвостов» теоретических распределений.

Временная модель развития аварии

Известно, что необходимым условием обеспечения безопасности при аварии является запас времени для выхода из нее (рис. 2), т.е. $\tau_р > \tau_В$ или $\tau_р - \tau_В > 0$, где $\tau_р$ — резерв времени в аварии (время достижения аварийным параметром предельного состояния); $\tau_В$ — время, необходимое для благополучного выхода из данной аварии (ее локализации), или это время цикла регулирования (принятия и реализации мер по локализации аварии). Время цикла регулирования — это время, за которое осведомительная информация идет от объекта к человеку и обратно через принятые меры.

Условие $\tau_р = \tau_В$ очень опасно, так как $\tau_В$ — переменная величина из-за того, что t_1, t_2, t_3, t_4 обусловлены человеком, и они флюктуируют. Следовательно, нужен запас времени $t_П = \tau_р - \tau_В$. Величина $t_П$ должна быть большой, так как от нее зависят последствия аварии.

При нахождении соотношения между величинами $\tau_р$ и $\tau_В$ в разных авариях, если оно существует, учитывалось, что природные, технические и организационные факторы определяют появление НшС. Для динамики образования аварий свойственны переходы НшС в более опасные состояния. Вначале НшС протекают во времени постепенно, неявно. Однако, взаимодействуя, они достигают определенного предела, в силу чего не могут протекать в прежних границах, повышая риск появления аварии, т.е. они выходят за границы прежнего уровня. Распознать эти взаимодействия и управлять ими теми методами и средствами обеспечения безопасности, которые имеются на вооружении горных предприятий, достаточно сложно. Для успешного выхода из аварий необходимо и достаточно выполнения условия $\tau_р > \tau_В$ и наличия соответствующего обеспечения (технического, информационного, материального и пр.). А для этого требуется вычисление вероятности выхода из возникшей аварии, зависящей от величин $\tau_р$, $\tau_В$. Эти величины являются случайными, им присуща переменчивость. Поэтому практическое применение этой вероятности требует априорного знания законов распределения времени резерва в аварии и времени, необходимого для выхода из нее, а это фактически невозможно. Вопрос: существуют ли какие-то устойчивые, количественные соотношения между $\tau_В$ и $\tau_р$?

«Золотое сечение», численно равное 1,618 и отражающее соразмерность, присуще многим природным объектам. Это подтолкнуло автора выявить подобную закономерность применительно к $\tau_В$ и $\tau_р$. Искалось сравнение с «золотым вурфом» Леонардо да Винчи, понятием, отражающим баланс, соразмерность. В проективной геометрии вурф описывается формулой:

$$W_В = (A + B)(B + C)/B(A + B + C).$$

Рассматривались три варианта соотношения $\tau_В$ и $\tau_р$: $\tau_р$ довольно большой по сравнению с $\tau_В$; $\tau_р$ большой в сравнении с $\tau_В$; $\tau_р$ сопоставим с $\tau_В$, т.е. запаса времени нет. В таблице приведены данные исследований различных аварий, полученные в рамках ГНТП «Безопасность» и характеризующие распределение соответствующих вариантов связи $\tau_р$ и $\tau_В$. Методом экспертных оценок были об-

работаны данные опросов 30 экспертов (начальники ВТБ шахт и их помощники). При вычислении вурфа принималось, что *A* — максимальная доля аварий, приходящихся на один из трех вышеназванных вариантов; *B* — средняя и *C* — минимальная.

В среднем по всем авариям вурф равен 1,244±0,076, что очень близко к числу 1,309, т.е. к величине «золотого вурфа». Расчеты показали, что среднее значение в доверительном интервале с 95%-м уровнем составляет $1{,}101 \leqslant W_B \leqslant 1{,}387$. Таким образом, соотношение τ_B и τ_p подчиняется закономерности, которую выражает «золотой вурф».

Для подтверждения сделанного вывода проводилась еще одна проверка. «Золотой вурф» тесно связан с «золотым сечением», поэтому в оценках τ_p оно должно также присутствовать. Результаты опросов, проведенных по 6 авариям, показали, что среднее арифметическое распределение по четырехбалльной шкале равно 3,161. Эта величина делит шкалу на две части в пропорции 1,625. При условной двухбалльной шкале (есть резерв времени — нет резерва) эта пропорция соответствует 63% аварий, в которых резерв времени существует и достаточен для выхода из аварий. Поразительная цифра, т.к. «золотое сечение» приходится на 62% аварий.

Анализ таблицы показывает, что ближе всего к оптимуму распределение оценок τ_p/τ_B , если тип аварии завал и обрушение («золотой вурф» равен 1,309). Эндогенные пожары ближе к появлению взрывоопасных скоплений газов и пыли. В обоих случаях одинаковая доля отсутствия запаса времени (по 30%), и остальные показатели отличаются не существенно. Однако при сравнении значений вурфов имеем иную картину: эндогенные пожары заметно ближе к завалам и обрушениям, чем к образованию взрывоопасных скоплений газов и пыли. Другими словами, смысловые и структурные аспекты могут не совпадать. Но чем это обусловлено и, вообще, от чего зависит значение вурфа?

Выполненный с помощью множественной линейной регрессии анализ данных по авариям, приведенным в таблице, показал разную степень влияния природных, технических, организационных факторов, недостоверности информации на величину вурфа: природные и технические факторы — до 50%, от 40% до 42% — организационные факторы, 8–10% — недостоверность информационных сведений при авариях. Этот анализ позволил установить наличие факторов, контроль и управление которыми затруднены. Кроме того, среди них есть непредсказуемые факторы.

Распределение вариантов соотношения величин τ_B и τ_p по разным авариям, %
Distribution of different τ_B / τ_p ratios per accidents, %

Авария	Вариант для τ_p			Значение вурфа
	довольно большой	большой	нет резерва	
1. Образование взрывоопасных скоплений газов и пыли	8	62	30	1,165
2. Завалы и обрушения	29	60	11	1,228
3. Эндогенные пожары	11	59	30	1,216
4. Взрывы метанопылевоздушной смеси	18	50	32	1,293
5. Затопления выработок	22	60	18	1,464
6. Внезапные выбросы пыли, угля и газа	7	41	52	1,098

При использовании переборных алгоритмов селекции ошибки прогноза в случае завалов и обрушений составили: метеоусловия — 368%; тектонические нарушения — 68%; плотность крепи — 430%; выбивка крепи транспортными средствами — 7%; горные удары — 430% [20]. При анализе взрывов трудно выявить единственного виновника аварии. Например, организационные факторы часто являются следствием целого ряда технических и природных факторов. На величину вурфа при взрывах газопылевоздушной смеси наибольшее влияние оказывают пожары — более 30%, нарушения в работе дегазационных систем — до 25%, неисправности электрооборудования — до 20%, курение — 10%, а в 10–12% случаев факторы влияния достоверно не удалось установить.

Во всех 6 авариях в шахтах заметное влияние на запас времени для выхода из аварий оказывает человеческий фактор. Это ошибки при контроле состояния горно-технических элементов (неполнота контроля, неправильная оценка состояния), ошибки при ведении связи (неполнота и неконкретность передачи информации, нечеткость ведения связи), ошибки при выполнении действий при авариях (несвоевременность выполнения действий, неправильный выбор действий), непредусмотренные случайности и т.д. Человеческие ошибки нельзя исключить полностью, т.е. ошибки персонал будет совершать и тем самым попадать в зону действия ОФ, приводящих к тяжелым последствиям. Модель возникновения организационных факторов при ведении горных работ сводится к формированию экрана защиты, включающего два компонента: выполнение требований ведения работ, правил безопасности и способность избежать опасности при работе с нарушениями (при вероятностях отказа соответственно 0,9993 и 8×10^{-4}). Последняя цифра характеризует вероятность опасности при работе с нарушениями. Видно, что второй компонент экрана в 1000 раз эффективнее первого. Но в настоящее время отсутствуют методики определения предрасположенности человека к ошибочным действиям. Человеческий фактор прямо или косвенно присутствует во всех 6 авариях. Но возможности человека по управлению ситуацией, направленные на предотвращение развития аварий, ограничены и не превышают, например, при внезапных выбросах пыли, угля и газа 28% [13, 16].

Регрессионный анализ в отношении образования взрывоопасных скоплений газов и пыли показал, что величину вурфа на 50% определяют природные и технические факторы (внезапные выбросы угля и газа, суфляры; интенсивное выделение метана из отбитого угля, груди забоя, зоны обрушения; изменение горно-геологических условий; нарушение режимов проветривания; остановы вентиляторов главного и местного проветривания; отсутствие дегазации; ограничение подачи воздуха в шахту; наличие утечек воздуха, пустот), в том числе на 43% — одновременность наступления разных способов нарушения нормального функционирования шахты при определенном сочетании сопутствующих условий или трудноуправляемых факторов, которые практически не контролируются в ходе технологических процессов; на 5,9% — отказы измерительной аппаратуры и каналов связи, сбои телеинформации; на 1,1% — неисправность основного технологического оборудования. Остальные 40% приходятся на оргфакторы (ошибки персонала, инженерные просчеты при ведении горных работ) и 8% — на недостоверность информации.

К сопутствующим условиям отнесены: изменение барометрического дав-

ления в течение нескольких суток, неустойчивое перераспределение воздуха из-за изменения утечек в зону обрушения, тепловая депрессия при эндогенных пожарах, обрушение пород основной кровли в выработанном пространстве, образование местных скоплений метана в застойных зонах, отложения взрывоопасных скоплений пыли в труднодоступных местах. Изменение барометрического давления в выработанном пространстве относится к природным факторам, которые считаются неподконтрольными воздействию и являются непрогнозируемыми факторами.

Ошибка параметрического прогноза методом селекции на 1 год составила 42,0% при норме в 1%, когда тот или иной параметр считается прогнозируемым. Результат совместного действия этого фактора с другим природным (обрушение пород кровли) является обстоятельством, способствующим увеличению в течение короткого времени загазирования рабочей зоны. Для выхода из этой аварии диспетчерскому персоналу необходимо самостоятельно оценить резерв времени (с начала появления последствий, влияющих на режим угледобычи), исходя из значения вурфа в ней, и принять меры по недопущению, по крайней мере, нарушений при разгазировании выработок, инженерных ошибок в расчетах и при замерах воздуха, нарушений режима проветривания, обеспечить контроль проветривания (все источники), опираться на отфильтрованные информационные сведения.

Процедура информационной фильтрации основана на идее имитации поведения персонала при эвристическом отборе сообщений с наиболее типичным для конкретной ситуации набором сведений. Формализация этой задачи сводится к идентификации в исходном множестве сообщений $\{X_i\}$, $i = 1, l$ — индекс сообщений, таких, чья «существенность» $\lambda_i \geqslant \lambda_0$, где λ_0 — значимая «существенность» сообщений. Способы и адекватность решения этой задачи определяются видом и структурой сведений в сообщениях: для численных сведений — степенью их засоренности ложной информацией, а для лингвистических — степенью их упорядоченности и объемом высказываний. Очевидно, сбор сведений, их информационная фильтрация должны осуществляться на основе автоматизированных систем.

Заключение

Временные характеристики типичных подземных аварий таковы, что в них обеспечивается связь между $\tau_р$ и $\tau_В$ в виде: $\tau_р/\tau_В \geqslant 1{,}244$, т.е. в пределах гомеостазиса природа дает запас времени более 20% для выхода из аварии любой сложности. Присутствие в авариях соотношения, определяющего, где существует довольно большой, большой резерв времени, и где его нет, не случайно, а подчиняется общим структурным закономерностям, свойственным природным и природно-техногенным факторам. Наличие вурфа подтверждает существование в авариях структурно-временной зависимости, определяемой всеми ОФ горного производства. Эти результаты могут использоваться при разработке и реализации алгоритмов действий персонала и руководства шахт по выходу из аварий в полном объеме или по частичному выходу из них. Временная модель аварий может служить основой построения карт прогноза их развития. Своевременный учет всех факторов, влияющих на запас времени для успешного выхода из аварий в угольных шахтах, увеличение достоверности используемых сведений позволят значительно смягчить последствия аварий в цикле непрерывного автоматизированного обеспечения безопасности ведения горных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Хайрутдинов М. М.*, *Конгар-Сюрюн Ч. Б.*, *Хайрутдинов А. М.*, *Тюляева Ю. С.* Повышение безопасности при извлечении водорастворимых руд путем оптимизации параметров закладочного массива // Безопасность труда в промышленности. — 2021. — № 1. — С. 53 — 59. DOI: 10.24000/0409-2961-2021-01-53-59.

2. *Lijiang Yu, Ignatov Y., Ivannikov A., Khotchenkov E., Krasnoshtanov D.* Common features in the manifestation of natural and induced geodynamic events in the eastern regions of Russia and China // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019, vol. 324, no. 1, 012004. DOI: 10.1088/1755-1315/324/1/012004.

3. *Mashinskii E. I.* Amplitude-dependent hysteresis of wave velocity in rocks in wide frequency range: An experimental study // Mining Science and Technology. 2021, vol. 6, no. 1, pp. 23 — 30.

4. *Herbut A., Khairutdinov M. M., Kongar-Syuryun Ch., Rybak J.* The surface wave attenuation as the effect of vibratory compaction of building embankments // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019, vol. 362, no. 1, article 012131. DOI: 10.1088/1755-1315/362/1/012131.

5. *Сухорукова М. А.*, *Иванников А. Л.* Оценка рисков аварий на транспортных средствах на рудниках // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 6-1. — С. 224–232. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-61-0-224-232.

6. *Evsukov S. G.*, *Sigarev A. V.*, *Ustyuzhanina E. V.*, *Zaytseva E. V.* Comparative analysis of pricing policies in the market for network goods // Journal of Internet Banking and Commercethis. 2016, vol. 21, special issue 6.

7. *Vostrikov A. V.*, *Prokofeva E. N.*, *Goncharenko S. N.*, *Gribanov I. V.* Analytical modeling for the modern mining industry // Eurasian Mining. 2019, no. 2, pp. 30 — 35.

8. *Sychev A. E.*, *Zaytseva E. V.*, *Tolkachyov P. S.* Economic digitalization: contradictions and prospects / Socio-economic Systems: Paradigms for the Future. Studies in Systems, Decision and Control, Springer, Cham. 2021, vol. 314, pp. 353–359. DOI: 10.1007/978-3-030-56433-9_37.

9. *Темкин И. О.*, *Мясков А. В.*, *Конов И. С.*, *Дерябин С. А.* О методах построения и функционировании цифровой платформы управления транспортно-технологическими процессами в карьерах // Горный журнал. — 2019. — № 11. — С. 82–86. DOI: 10.17580/gzh.2019.11.15.

10. *Умербеков Ж. Ж., Гончаренко С. Н.* Обоснование эффективности внедрения целевой модели управления производственной безопасностью горнодобывающей компании // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — № 8. — С. 225–234. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-08-0-225-234.

11. *Myaskov A., Temkin I., Deryabin S., Marinova D.* factors and objectives of sustainable development at the implementation of digital technologies and automated systems in the mining industry // E3S Web of Conferences. 2020, vol. 174, article 04023. DOI: 10.1051/e3sconf/202017404023.

12. *Скопинцева О. В.*, *Ганова С. Д.*, *Демин Н. В.*, *Паничев В. И.* Комплексный метод снижения пылевой и газовой опасностей в угольных шахтах // Горный журнал. — 2018. — № 11. — С. 97 — 100. DOI: 10.17580/gzh.2018.11.18.

13. *Смирняков В. В.*, *Смирнякова В. В.* Трудноуправляемые факторы в статистике причин аварийных пылегазовых взрывов в угольных шахтах России // Горный журнал. — 2016. — № 1. — С. 30 — 34. DOI: 10.17580/gzh.2016.01.07.

14. *Кубрин С. С.* Многофункциональная система прогноза опасных газодинамических явлений в угольных шахтах // Горный журнал. — 2017. — № 11. — С. 97 — 100. DOI: 10.17580/gzh. 2017.11.18.

15. *Мурашев В. И.*, *Тимошенко А. М.*, *Сухоруков В. А.*, *Казанцев В. Г.*, *Ермолаев А. М.* К анализу техногенных аварий с катастрофическими последствиями, произошедшими на предприятиях угольной промышленности России // Вестник Научного Центра по безопасности работ в угольной промышленности. — 2010. — № 1. — С. 55 — 60.

16. *Brune J.* The methane-air explosion hazard within coal mine gobs // Mining Engineering. 2014, no. 2, pp. 1 — 7.

17. *Jones A. P.*, *Lyle R. R.*, *Wrixon S.* Proactive safety programs provided to help protect workers at the face // Canadian Mining Journal. 2015, available at: http://www.canadian-miningjournal.com/features/proactive-safety-programs-provided-to-help-protect-workers-at-the-face/ (accessed 19.02.2019).

18. *Kavanagh P.* Health and safety are about prevention and response // Canadian Mining Journal. 2015, available at: https://www.canadianminingjournal.com/features/health-and-safety-are-about-prevention-and-response/ (accessed 19.02.2019).

19. *Modern* American coal mining: methods and applications. Bise C. J. (Ed.). Englewood, Colorado: SME, 2013, 576 p.

20. *Куприянов В. В.*, *Мацкевич О. А.*, *Бондаренко И. С.* Параметрические и непараметрические модели прогнозирования нештатных ситуаций в подземных горных выработках // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2018. — № 3. — С. 200—207. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-3-0-200-207.

21. *Куприянов В. В.* Комплексирование прогнозов технологических ситуаций с оборудованием в очистном забое угольной шахты // Восточно-Европейский научный журнал. — 2019. — № 42. — С. 25—31. ГИАБ

REFERENCES

1. Khairutdinov M. M., Kongar-Suryun Ch. B., Khairutdinov A., Tyulyaeva Yu. S. Improving safety in the extraction of water-soluble ores by optimizing the parameters of the laying array. *Occupational Safety in Industry*. 2021, no. 1, pp. 53—59. [In Russ]. DOI: 10.24000/0409-2961-2021-01-53-59.

2. Lijiang Yu, Ignatov Y., Ivannikov A., Khotchenkov E., Krasnoshtanov D. Common features in the manifestation of natural and induced geodynamic events in the eastern regions of Russia and China. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019, vol. 324, no. 1, 012004. DOI: 10.1088/1755-1315/324/1/012004.

3. Mashinskii E. I. Amplitude-dependent hysteresis of wave velocity in rocks in wide frequency range: An experimental study. *Mining Science and Technology*. 2021, vol. 6, no. 1, pp. 23—30.

4. Herbut A., Khairutdinov M. M., Kongar-Syuryun Ch., Rybak J. The surface wave attenuation as the effect of vibratory compaction of building embankments. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019, vol. 362, no. 1, article 012131. DOI: 10.1088/1755-1315/362/1/012131.

5. Sukhorukova M. A., Ivannikov A. L. Risk assessment of accidents on vehicles at mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 6-1, pp. 224—232. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-61-0-224-232.

6. Evsukov S. G., Sigarev A. V., Ustyuzhanina E. V., Zaytseva E. V. Comparative analysis of pricing policies in the market for network goods. *Journal of Internet Banking and Commercethis*. 2016, vol. 21, special issue 6.

7. Vostrikov A. V., Prokofeva E. N., Goncharenko S. N., Gribanov I. V. Analytical modeling for the modern mining industry. *Eurasian Mining*. 2019, no. 2, pp. 30—35.

8. Sychev A. E., Zaytseva E. V., Tolkachyov P. S. Economic digitalization: contradictions and prospects. *Socio-economic Systems: Paradigms for the Future*. Studies in Systems, Decision and Control, Springer, Cham. 2021, vol. 314, pp. 353–359. DOI: 10.1007/978-3-030-56433-9_37.

9. Temkin I. O., Myaskov A. V., Konov I. S., Deryabin S. A. Construction and functioning of digital platform for transportation control in opencast mines. *Gornyi Zhurnal*. 2019, no. 11, pp. 82–86. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2019.11.15.

10. Umerbekov Zh. Zh., Goncharenko S. N. Validation of efficiency of the target production safety management model introduction in the mining industry. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019, no. 8, pp. 225–234. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-08-0-225-234.

11. Myaskov A., Temkin I., Deryabin S., Marinova D. factors and objectives of sustainable development at the implementation of digital technologies and automated systems in the

mining industry. *E3S Web of Conferences*. 2020, vol. 174, article 04023. DOI: 10.1051/e3sconf/202017404023.

12. Skopintseva O. V., Ganova S. D., Demin N. V., Panichev V. I. Complex method of reducing dust and gas hazards in coal mines. *Gornyi Zhurnal*. 2018, no. 11, pp. 97—100. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2018.11.18.

13. Smirnyakov V. V., Smirnyakova V. V. Hard-to-control factors in the statistics of causes of emergency dust and gas explosions in coal mines of Russia. *Gornyi Zhurnal*. 2016, no. 1, pp. 30—34. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2016.01.07.

14. Kubrin S. S. Multifunctional forecasting system of hazardous gas-dynamic phenomena in coal mines. *Gornyi Zhurnal*. 2017, no. 11, pp. 97—100. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh. 2017.11.18.

15. Murashev V. I., Timoshenko A. M., Sukhorukov V. A., Kazantsev V. G., Ermolaev A. M. To the analysis of man-made accidents with catastrophic consequences that occurred at the enterprises of the coal industry of Russia. *Industrial safety*. 2010, no. 1, pp. 55—60. [In Russ].

16. Brune J. The methane-air explosion hazard within coal mine gobs. *Mining Engineering*. 2014, no. 2, pp. 1—7.

17. Jones A. P., Lyle R. R., Wrixon S. Proactive safety programs provided to help protect workers at the face. *Canadian Mining Journal*. 2015, available at: http://www.canadian-miningjournal.com/features/proactive-safety-programs-provided-to-help-protect-workers-at-the-face/ (accessed 19.02.2019).

18. Kavanagh P. Health and safety are about prevention and response. *Canadian Mining Journal*. 2015, available at: https://www.canadianminingjournal.com/features/health-and-safety-are-about-prevention-and-response/ (accessed 19.02.2019).

19. *Modern American coal mining: methods and applications*. Bise C. J. (Ed.). Englewood, Colorado: SME, 2013, 576 p.

20. Kupriyanov V. V., Matskevich O. A., Bondarenko I. S. Parametric and nonparametric models for predicting off-normal situations in underground mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018, no. 3, pp. 200—207. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-3-0-200-207.

21. Kupriyanov V. V. Complexion of forecasts of technological situations with equipment in the coal mine cleaning face. *East European Scientific Journal*. 2019, no. 42, pp. 25—31. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Куприянов Вячеслав Васильевич[1] — д-р техн. наук,
профессор, e-mail: kupriyanov.vv@misis.ru,
ORCID ID: 0000-0003-3793-8361,
Бондаренко Инна Сергеевна[1] — канд. техн. наук,
доцент, e-mail: innasbondarenko@gmail.com,
ORCID ID: 0000-0002-4160-8413,
[1] НИТУ «МИСиС».
Для контактов: Куприянов В.В., e-mail: kupriyanov.vv@misis.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

V.V. Kupriyanov[1], Dr. Sci. (Eng.), Professor,
e-mail: kupriyanov.vv@misis.ru, ORCID ID: 0000-0003-3793-8361,
I.S. Bondarenko[1], Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor,
e-mail: innasbondarenko@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-4160-8413,
[1] National University of Science and Technology «MISiS»,
119049, Moscow, Russia.
Corresponding author: V.V. Kupriyanov, e-mail: kupriyanov.vv@misis.ru.

Получена редакцией 24.11.2021; получена после рецензии 20.12.2021; принята к печати 10.01.2022.
Received by the editors 24.11.2021; received after the review 20.12.2021; accepted for printing 10.01.2022.