

## К ВОПРОСУ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ РИСКОВ АВАРИЙ НА РУДНИКАХ

М.В. Пелипенко<sup>1</sup>, С.В. Баловцев<sup>2</sup>, И.И. Айнбиндер<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ООО «Технологии безопасности», Москва, Россия

<sup>2</sup> НИТУ «МИСиС», Москва, Россия, e-mail: Balovcev@yandex.ru

<sup>3</sup> ИПКОН РАН, Москва, Россия

**Аннотация:** Актуальность работы обусловлена необходимостью развития горнорудных предприятий в сложных горно-геологических и горнотехнических условиях. К авариям и чрезвычайным ситуациям приводит невозможность в проектных решениях учитывать особенности проявления свойств массива горных пород. Проблема комплексной оценки риска возникновения аварий, чрезвычайных ситуаций и несчастных случаев на рудниках не решена. Применяемые в настоящее время методы по анализу и оценке рисков аварий на рудниках имеют невысокую точность результатов, не позволяют учитывать взаимосвязь всех идентифицированных опасностей. Необходимы совершенствование действующих методик оценки риска и разработка научно-обоснованных предложений по оценке и управлению рисками на рудниках. Алгоритмическое обеспечение расчетов оценки и снижения рисков аварий на рудниках должно быть основано на построении дерева отказов, учитывающего причинно-следственные связи горнотехнических, горно-геологических и организационных факторов. Идентификация основных опасностей аварий выполнена на основе сведений, представленных в проектной документации горнорудных предприятий, планах мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий, статистических сведений об аварийности, материалов технического расследования причин аварий. Проведенный анализ статистических данных по рудникам, условий разработки рудных месторождений позволил построить сценарии для различных видов аварий: экзогенный пожар, взрыв газа и пыли, взрыв взрывчатых материалов, горный удар, разрушение горных выработок, затопление. При построении дерева отказов определены минимальные аварийные сочетания и минимальные траектории, учтен «эффект домино». Установлена взаимосвязь опасностей, влияющих на развитие аварийной ситуации и приводящих к возникновению аварии и (или) чрезвычайной ситуации на рудниках.

**Ключевые слова:** обоснование безопасности, горнорудное предприятие, оценка риска аварий, чрезвычайная ситуация, аэрологический риск аварий, горные удары, рудничные пожары, обрушение, затопление, взрыв.

**Для цитирования:** Пелипенко М. В., Баловцев С. В., Айнбиндер И. И. К вопросу комплексной оценки рисков аварий на рудниках // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 11. – С. 180–192. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-11-0-180-192.

### Integrated accident risk assessment in mines

M.V. Pelipenko<sup>1</sup>, S.V. Balovtsev<sup>2</sup>, I.I. Aynbinder<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ООО «Security and Safety Technologies», Moscow, Russia

<sup>2</sup> Mining Institute, National University of Science and Technology «MISIS», Moscow, Russia,  
e-mail: Balovcev@yandex.ru

<sup>3</sup> Institute of Problems of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources  
of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

---

**Abstract:** The mining is carried out in highly complicated geological and geotechnical conditions nowadays, which determines the relevance of this study. Accidents and emergencies result from ignorance of rock mass properties in project designs. The problem on integrated assessment of risk of injuries, accidents and emergencies yet remains to be solved in mines. The current techniques of accident risk analysis and risk management in mines provide inaccurate results and lack interconnection of all identified hazards. It is necessary to improve the existing procedures of risk assessment and to develop and scientifically substantiate new approaches to risk assessment and risk management in mines. The algorithms of accident risk assessment and reduction in mines should be based on construction of a fault tree with regard to cause-and-effect relations between geotechnical, geological and organizational factors. The main accident risks are identified based on the information from mine project documents, accident localization and management plans, accident statistics, and data of accident investigations. The accomplished analysis of the statistical evidence and mining conditions produced scenarios of various accidents: exogenous fire, gas and dust explosion, blasting of explosives, rock burst, mine damage and flooding. In drawing a fault tree, the minimal combinations of accidents and their minimal paths are determined, and a domino effect is taken into account. The interplay of risks initiating and advancing accidents and (or) emergencies in mines is found.

**Key words:** safety substantiation, mine, accident risk assessment, emergency, aerological accident risk, rock bursts, mine fires, rock falls, flooding, explosion.

**For citation:** Pelipenko M. V., Balovtsev S. V., Aynbinder I. I. Integrated accident risk assessment in mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019;(11):180-192. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-11-0-180-192.

---

## Введение

Современный этап развития горного производства проходит при резком ухудшении горно-геологических и горнотехнических условий разработки, связанных с увеличением глубины горных работ, ростом напряженного состояния массива, необходимостью при проектировании учета нарушенности пород, обводненности, газоносности и температуры массива, геодинамических проявлений горного давления, горных ударов [1].

Невозможность в проектных решениях полностью учесть особенности состояния и свойства разрабатываемого массива приводит к необходимости совершенствования технологических схем проходки и отработки запасов на стадии эксплуатации рудников, в некоторых случаях к отступлениям от действующих Федеральных норм и правил или разработке требований промышленной безопасности к его эксплуатации в обосновании безопасности опасного производственного объекта, которое должно включать

в себя результаты оценки риска возможных аварий [2, 3].

Согласно данным Ростехнадзора, материалам технического расследования причин аварий за последние 5 лет основными причинами аварий являются нарушение технологии ведения работ (50% случаев от общего числа аварий) неудовлетворительная организация производства работ (25% случаев) и низкий уровень производственного контроля (25% случаев).

Проблема комплексной оценки риска аварий и несчастных случаев, оценки риска возникновения чрезвычайных ситуаций на рудниках требует своего решения, поскольку предлагаемые апробированные количественные методы по анализу и оценке рисков аварий в соответствии с действующими нормативными требованиями имеют невысокую точность результатов. В связи с отсутствием критериев допустимого риска некоторые показатели риска, полученные расчетным путем, не могут быть адекват-

ватно оценены [4]. По каждому из показателей риска необходимо научно обоснованное ранжирование степеней опасности аварий.

Рекомендуемые отечественными [5–11] и зарубежными авторами [12–15] методики по оценке риска аварий в рудниках решают «узкую» задачу и не могут в полной мере быть использованы без дополнительных исследований при обосновании безопасности. Зачастую принимаемые решения в области обеспечения безопасности в рудниках, в том числе аэрологической, геодинамической, геомеханической безопасности, основаны только на мнении специалистов, имеющих производственный опыт, и не имеют научно-методического обоснования. В связи с недостатком, отсутствием, частичной недостоверностью исходной информации следует отметить сложность реализации предлагаемых количественных методов по анализу и оценке рисков аварий, результаты оценки имеют невысокую точность. Действующие методики оценки риска не позволяют учитывать взаимосвязь всех идентифицированных опасностей. Необходима разработка научно-обоснованных предложений по оценке и управлению рисками на рудниках.

Алгоритмическое обеспечение расчетов оценки и снижения рисков аварий на рудниках основано на построении дерева отказов, которое позволяет учесть взаимосвязи горно-геологических, горно-технических и организационных факторов, приводящих к возникновению аварий и чрезвычайных ситуаций.

### **Принципы построения дерева отказов**

Дерево отказов представляет логико-графовую структуру возникновения отказов и аварий. Наиболее доступные для исследования причины — это отказы компонентов, по которым имеется достаточное количество достоверных

статистических данных. Дерево отказов состоит из последовательности событий, образующихся с помощью логических символов И, ИЛИ, которые ведут к конечному событию, расположенному сверху; исходные причины располагают снизу [16].

Расчет вероятности возникновения отказов и аварий производится по формулам:

$$S(A) = \prod_{i=1}^n S(A_i), \quad (1)$$

$$S(A) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - S(A_i)], \quad (2)$$

где  $S(A_i)$  — вероятность события  $A_i$ .

При логическом символе И вероятность определяют по формуле (1), при символе ИЛИ по формуле (2).

### **Причинно-следственные связи между событиями, приводящими к авариям и чрезвычайным ситуациям на руднике**

Идентификация основных опасностей аварий выполнена на основе сведений, представленных в проектной документации горнорудных предприятий, планах мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий, статистических сведений об аварийности, материалов технического расследования причин аварий.

Проведенный анализ основных опасностей позволил получить деревья отказов для следующих аварий: экзогенный пожар, взрыв газа и пыли, взрыв взрывчатых материалов, горный удар, разрушение горных выработок, затопление; установить взаимосвязи между событиями, приводящими к чрезвычайной ситуации на рудниках (рис. 1).

### **Аэрологический риск (загазирование)**

Интенсивность проветривания рудника, наличие нефтегазонасыщенных и

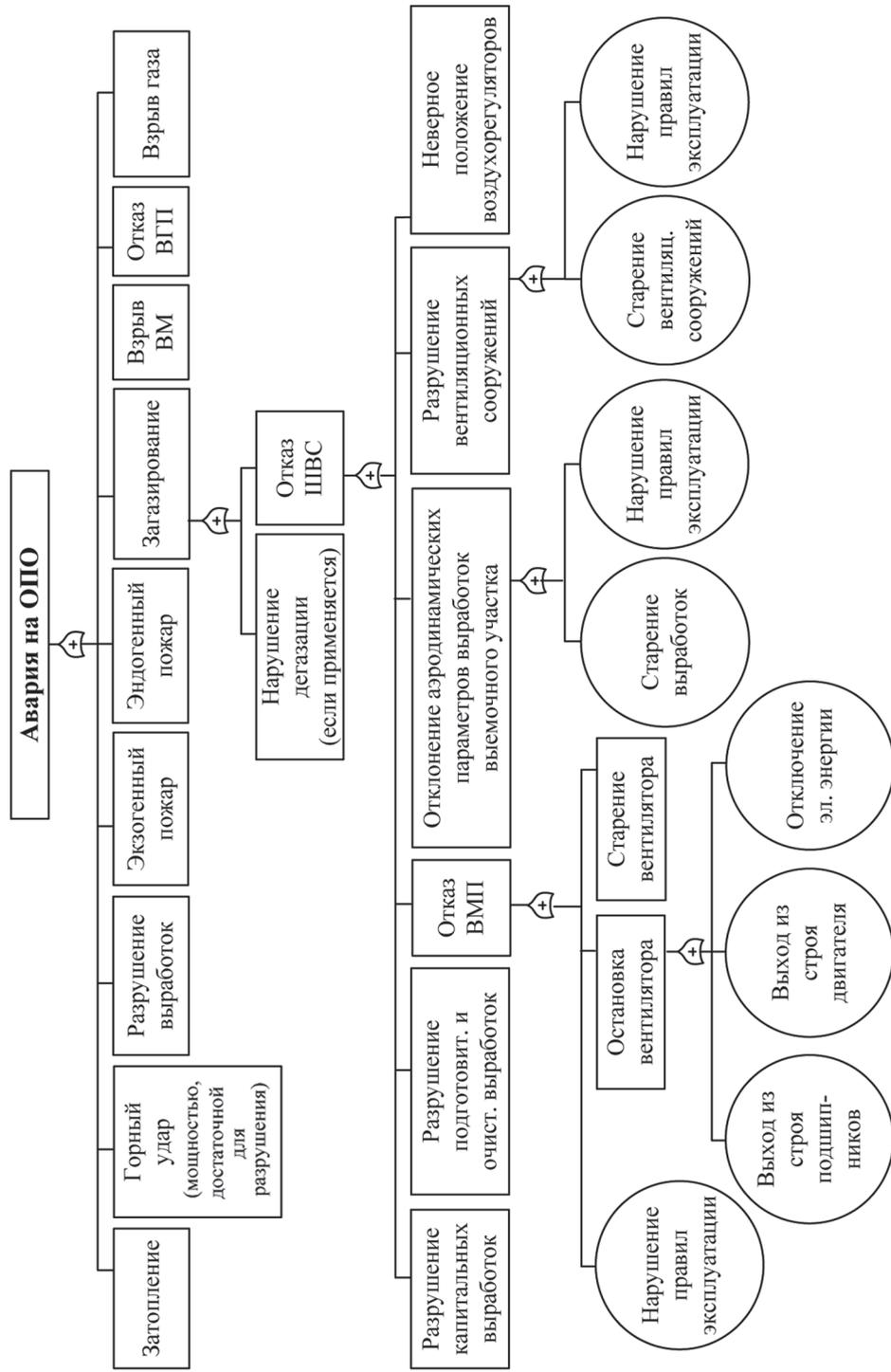


Рис. 1. Причинно-следственные связи между нежелательными событиями, приводящими к авариям, чрезвычайными ситуациями  
 Fig. 1. Cause-and-effect relations between unwanted events resulting in accidents and emergencies

углесодержащих отложений основных типов нахождения газовой составляющей влияют на безопасную и эффективную разработку месторождения с газодинамическими явлениями. Для успешного функционирования шахтных вентиляционных систем необходима бесперебойная работа вентиляторов, оптимальный режим проветривания, обеспечивающий аэрологическую безопасность рудника. Представленное на рис. 1 дерево отказов позволяет оценить аэрологический риск аварий [17–19]. Методика оценки аэрологических рисков горных предприятий, разработанная С.В. Баловцевым, позволяет оценить влияние разрушений горных выработок, вентиляционных сооружений, влияние горно-геологических и горнотехнических факторов на степень аэрологического риска, а также позволяет осуществлять прогнозирование аэрологического риска при обосновании безо-

пасности опасного производственного объекта в случаях отступлений от действующих Федеральных норм и правил.

### Разрушение капитальных, подготовительных и очистных выработок

На рис. 2 и 3 представлены причинно-следственные связи между нежелательными событиями, приводящими к разрушению горных выработок. Критическая деформация крепи может быть вызвана:

- разрушением бетонной рубашки, тубинга, сдвигами пород вследствие неправильной геологической оценки;
- неверным выбором места расположения ствола (в зонах сдвижения, геологических нарушений);
- ошибками расчетов типа крепления; несоответствием крепления выработок проекту.



Рис. 2. Причинно-следственные связи между нежелательными событиями, приводящими к разрушению капитальных выработок

Fig. 2. Cause-and-effect relations between unwanted events resulting in destruction of permanent roadways

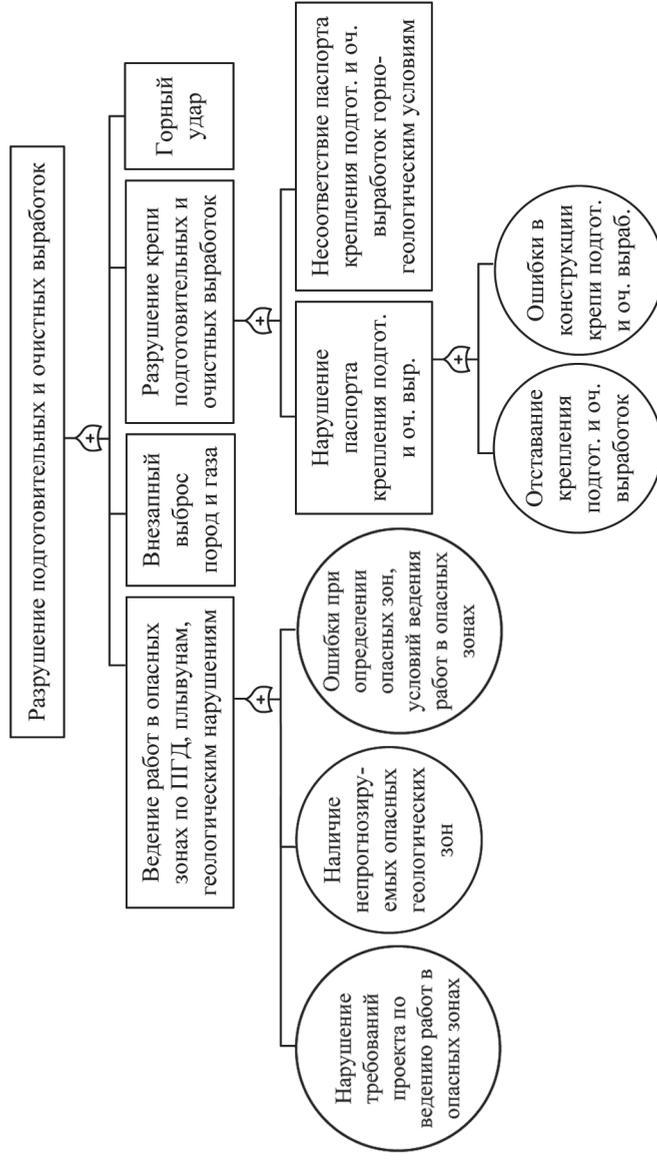


Рис. 3. Причинно-следственные связи между нежелательными событиями, приводящими к разрушению подготовительных и очистных выработок  
 Fig. 3. Cause-and-effect relations between unwanted events resulting in destruction of development drives and stores



Несвоевременное обнаружение недопустимой деформации крепи может привести к ее разрушению, обрушению пород, образованию завалов.

Обрушение горных пород в подготовительных и очистных выработках может произойти в результате допущенных ошибок при возведении крепи, при проведении контроля за установкой и ее состоянием.

Обрушение горных пород наиболее вероятно на незакрепленных участках и участках с постоянной крепью в случае несоответствия параметров крепи горно-геологическим и горнотехническим условиям проходки выработок, их срока службы, по причине несвоевременного обнаружения признаков смещения горных пород.

### **Горный удар**

Причиной обрушения горных пород может стать нарушение крепи выработок вследствие горного удара (рис. 4), внезапного выброса горных пород и газа. Ущерб от геодинамических явлений в основном заключается в различной степени разрушения горных выработок [7].

Возникновение горного удара может быть вызвано наличием в массиве горных пород тектонических нарушений, ошибками в прогнозе удароопасности. Опасность горного удара рассматривается только для месторождений, склонных или опасных по горным ударам.

### **Затопление**

Одним из основных условий отработки месторождений является сохранение водонепроницаемости пород предохранительного целика (рис. 5), если отработка ведется ниже водоносных горизонтов с возможностью прорыва воды. К факторам, влияющим на опасность, следует отнести геомеханические изменения, приводящие к образованию водопроводящих трещин (связано с нали-

чием зон дизъюнктивных нарушений, с недостаточной изученностью шахтного поля), формированию неоднородного поля напряжений в подработанном массиве (связано с отсутствием мониторинга массива, отсутствием геолого-геофизических исследований), изменение параметров очистных работ, небезопасная подработка водозащитной толщи. Отдельно рассматриваются риски затопления на соляных рудниках, включая Верхнекамское месторождение, а также рудники, обрабатываемые под карьерами (учитывают притоки с карьера).

Аномальные зоны, которые в основном характеризуются изменениями структуры, состава и прочностных характеристик пород водозащитной толщи представляют наибольшую опасность.

### **Взрыв взрывчатых материалов**

Непосредственные причины аварий с взрывчатыми материалами (ВМ) и несчастных случаев связаны с нарушением правил безопасности, приведшим к преждевременным взрывам зарядов ВМ, недостаточной подготовкой забоев перед заряданием, самовольной передачей взрывниками ВМ горнорабочим для зарядания забоя и монтажа взрывной сети, несоблюдением требований возврата неиспользованных ВМ, нарушением правил транспортировки и доставки ВМ к местам ведения работ, а также хранения ВМ на местах работ, нарушением правил ввода и охраны зоны при проведении взрывных работ (рис. 6).

### **Экзогенные пожары**

На рис. 7 приведена установленная взаимосвязь опасностей, событий, приводящих к экзогенным пожарам.

По результатам анализа горно-геологических и горнотехнических условий, а также данных по аварийности и травматизму на рудниках, причинами экзогенных пожаров являются:

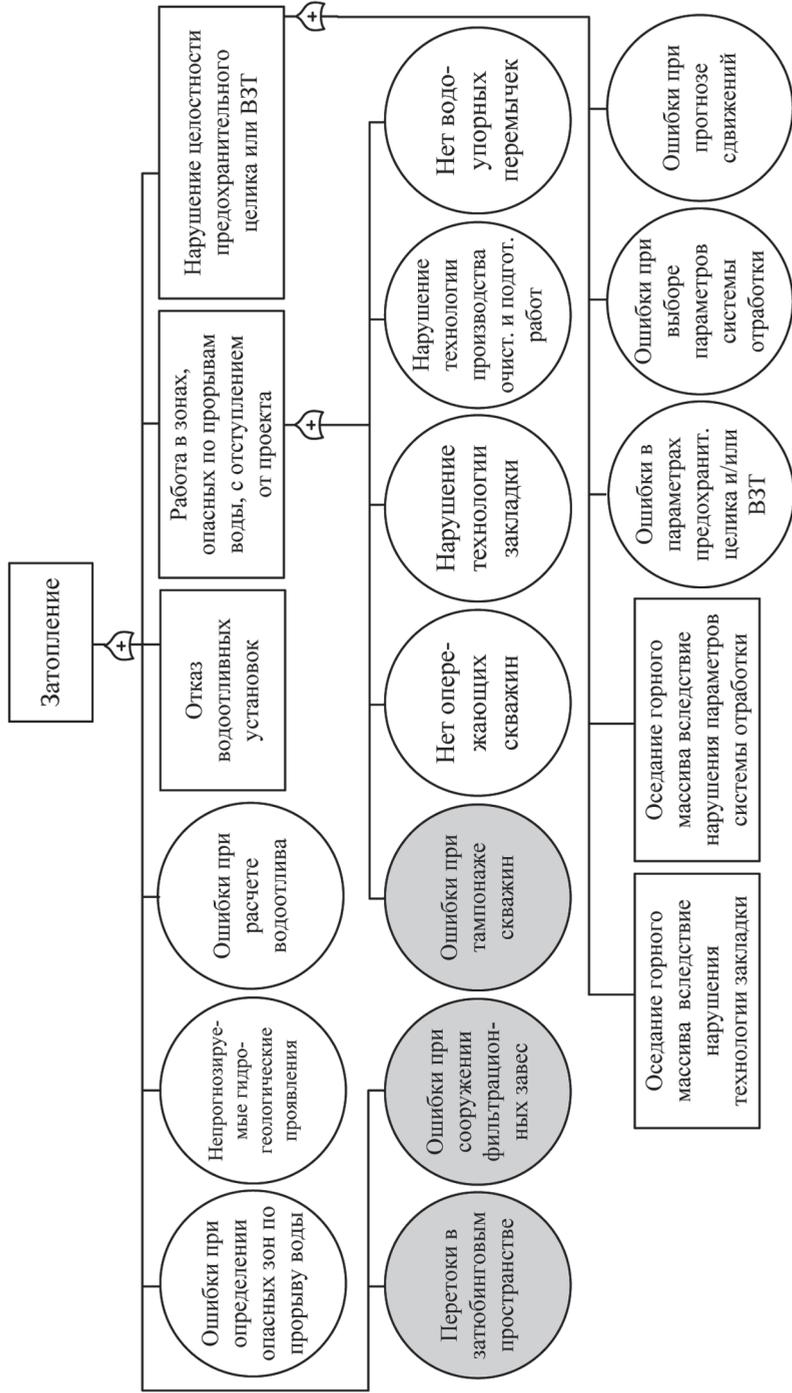


Рис. 5. Причинно-следственные связи между нежелательными событиями, приводящими к затоплению  
 Fig. 5. Cause-and-effect relations between unwanted events resulting in flooding

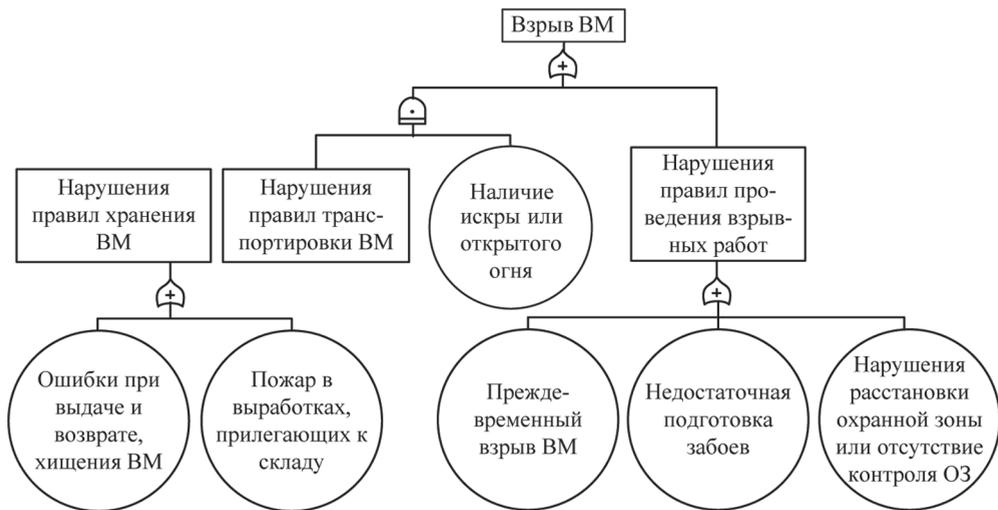


Рис. 6. Причинно-следственные связи между нежелательными событиями, приводящими к взрыву взрывчатых материалов

Fig. 6. Cause-and-effect relations between unwanted events resulting in blasting of explosives

- взрывные работы, а именно последствия выгорания взрывчатых веществ из-за нарушения правил безопасности при зарядании скважин и шпуров, а также применения нестандартных взрывчатых веществ;

- неисправные кабельные сети и электрооборудование;
- нарушение правил ведения сварочных работ;
- трение зубков рабочих органов машин о породу и твердые включения, тре-

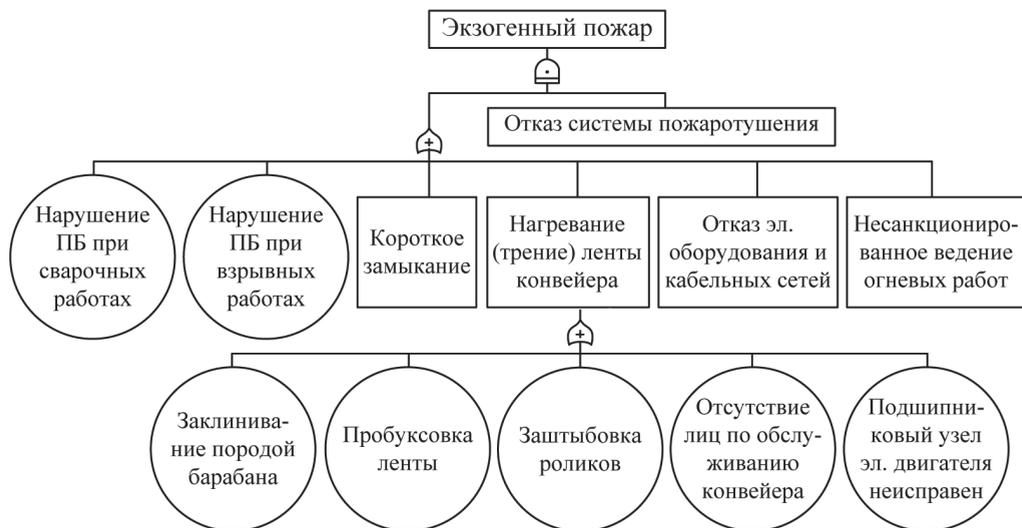


Рис. 7. Причинно-следственные связи между нежелательными событиями, приводящими к экзогенным пожарам

Fig. 7. Cause-and-effect relations between unwanted events resulting in exogenous fires

ние канатов о шпалы, крепь и полезное ископаемое, конвейерной ленты, наличие пробуксовывающих барабанов и неисправных подшипников и редукторов и др.

Распространение пожара возможно в случае отказа систем пожаротушения, принятия диспетчером неверных решений по реверсированию потоков воздуха.

### **Заключение**

При постоении приведенного в настоящей статье дерева отказов учитывалась степень детализации горнотехнических, горно-геологических и организационных факторов.

Проведенный анализ статистических данных по рудникам, условий разработки рудных месторождений, позволил построить сценарии для различных видов аварий. При построении дерева опреде-

лены минимальные аварийные сочетания и минимальные траектории, учтен «эффект домино».

Установленные с помощью дерева отказов причинно-следственные связи между опасностями, событиями, приводящими к авариям, позволяют определить наиболее вероятные сценарии возникновения и развития аварии на руднике, принять меры по снижению риска аварий.

Для оценки риска аварий при добыче пильного камня, при наличии радиационных опасных факторов, при разработке многолетнемерзлых месторождений и месторождений калийно-магниевой и каменной солей необходима корректировка и внесение дополнений в представленные деревья отказов, что является одной из поставленных задач дальнейших исследований авторов.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Айнбиндер И. И., Каплунов Д. Р. Риск-ориентированный подход к выбору геотехнологий подземной разработки месторождений на больших глубинах // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — № 4. — С. 5—19. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-04-0-5-19.
2. Приказ Ростехнадзора от 15.07.2013 № 306 «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Общие требования к обоснованию безопасности опасного производственного объекта».
3. Приказ Ростехнадзора от 11.12.2013 № 599 (ред. от 21.11.2018) «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых».
4. Приказ Ростехнадзора от 11.04.2016 № 144 «Об утверждении Руководства по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах».
5. Костарев С. Н., Середа Т. Г., Лапаева Н. А. Разработка автоматизированного мониторинга по уменьшению рисков затопления рудников второго соликамского калийного рудоуправления. Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета // Безопасность и управление рисками. — 2015. — № 3. — С. 94—102.
6. Зубов В. П., Смычник А. Д. Снижение рисков затопления калийных рудников при прорывах в горные выработки подземных вод // Записки Горного института. — 2015. — Т. 215. — С. 29—37.
7. Федотова Ю. В., Панин В. И. Величина геодинамического риска — объективный показатель эффективности противоударной профилактики (на примере хибинских апатитовых рудников) // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. — 2017. — Т. 4. — № 3. — С. 97—103.
8. Куликова Е. Ю. Оценка экологичности полимерных материалов в подземном строительстве // Экология и промышленность России. — Т. 20. — №3. — 2016. — С. 28—31.
9. Дудко К. Л., Шиканов А. И. К методике прогноза горных ударов на рудниках // Вестник Кузбасского государственного технического университета. — 2015. — № 4 (110). — С. 3—9.

10. Ловчиков А. В. Различие в опасности горных ударов на рудниках и угольных шахтах // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. — 2017. — Т. 4. — № 2. — С. 105—111.
11. Filin A. E., Zinovieva O. M., Kolesnikova L. A., Merkulova A. M. Prospects of safety control in combination of mining and metallurgy industries // Eurasian Mining. 2018. No. 1. pp. 31—34. DOI: 10.17580/em.2018.01.07.
12. Owoseni J. O., Tamarautobou E. U., Asiwaju-Bello Y. A. Application Sequential Analysis and Geographic Information Systems for Hydrochemical Evolution Survej, Shagari Environ, South-western Nigeria // Amerikan International Journal of Contemporary Reserch. 2013. Vol. 3. No 3, pp. 38—48.
13. Hisafumi Asaue, Naoyuki Tadakumsa, Katsuaki Koike Application of GIS to Hydrogeological Structure Modeling Aimed at Conservation of Groundwater Resources // Geoinformatics. 2014. Vol. 25, Iss. 3. pp. 159—168.
14. Belkhir L., Narany T.S. Using multivariate statistical analysis, geostatistical techniques and structural equation modeling to identify spatial variability of Groundwater quality // Water Resources Management. 2015. Vol. 29, Iss. 6. pp. 2073—2089.
15. Jalbout A., Simser B. Rock mechanics tools for mining in high stress ground conditions at Nickel Rim South Mine // Newsletter (Australian Centre for Geomechanics), vol. 46, December 2017.
16. Алымов В. Т., Тарасова Н. П. Техногенный риск: Анализ и оценка. — М.: ИКЦ «Академ-книга». — 2004. — 118 с.
17. Баловцев С. В. Анализ причинно-следственных связей между событиями, приводящими к чрезвычайной ситуации на угольных шахтах // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2014. — № 7. — С. 328—332.
18. Баловцев С. В. Прогнозирование аэрологического риска аварий на выемочных участках угольных шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2015. — СБ 16. — С. 3—8.
19. Лебедев В. С., Скопинцева О. В. Остаточные газовые компоненты угольных пластов: состав, содержание, потенциальная опасность // Горный журнал. — 2017. — № 4. — С. 84—86. DOI: 10. 17580/gzh.2017.04.17. **МИАБ**

## REFERENCES

1. Aynbinder I. I., Kaplunov D. R. Risk-based approach to selection of deep-level mining technology. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.*, 2019;4:5-19. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-04-0-5-19.
2. *Prikaz Rostekhnadzora ot 15.07.2013 № 306 «Ob utverzhdenii Federal'nykh norm i pravil v oblasti promyshlennoy bezopasnosti «Obshchie trebovaniya k obosnovaniyu bezopasnosti opasnogo proizvodstvennogo ob'ekta»* [Authorization of Federal Code of Industrial Safety: General requirements to substantiation of hazard object safety. Rostekhnadzor Decree No. 306 dated Jul 15, 2013]. [In Russ].
3. *Prikaz Rostekhnadzora ot 11.12.2013 № 599 (red. ot 21.11.2018) «Ob utverzhdenii Federal'nykh norm i pravil v oblasti promyshlennoy bezopasnosti «Pravila bezopasnosti pri vedanii gornyx rabot i pererabotke tverdykh poleznykh iskopaemykh»* [Authorization of Federal Code of Industrial Safety: Safety regulation in mining and processing of solid minerals. Rostekhnadzor Decree No. 599 dated Dec 11, 2013 (amended Nov 21, 2018)]. [In Russ].
4. *Prikaz Rostekhnadzora ot 11.04.2016 № 144 «Ob utverzhdenii Rukovodstva po bezopasnosti «Metodicheskie osnovy po provedeniyu analiza opasnostey i otsenki riska avariya na opasnykh proizvodstvennykh ob'ektakh»* [Authorization of Safety Manual: Procedures for hazard analysis and accident risk assessment at hazardous production objects. Rostekhnadzor Decree No. 144 dated Apr 11, 2016]. [In Russ].
5. Kostarev S. N., Sereda T. G., Lapaeva N. A. Development of automated monitoring toward flooding risk reduction in Solikamsk 2 potash mines. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Bezopasnost' i upravlenie riskami*. 2015, no 3, pp. 94—102. [In Russ].
6. Zubov V. P., Smychnik A. D. Flooding risk reduction due to ground water inrush in potash mines. *Zapiski Gornogo instituta*. 2015. Vol. 215, pp. 29—37. [In Russ].

7. Fedotova Yu. V., Panin V. I. Geodynamic risk value—An objective index of rockburst hazard prevention efficiency (in terms of the Khibiny apatite mines). *Fundamental'nye i prikladnye voprosy gornykh nauk*. 2017. Vol. 4, no 3, pp. 97—103. [In Russ].

8. Kulikova E. Yu. Estimation of ecological properties of polymeric materials in underground construction. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. Vol. 20. №3. 2016, pp. 28—31. [In Russ].

9. Dudko K. L., Shikanov A. I. Prediction procedure of rock bursts in mines. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2015, no 4 (110), pp. 3—9. [In Russ].

10. Lovchikov A. V. Difference in rock burst hazards in metal and coal mines. *Fundamental'nye i prikladnye voprosy gornykh nauk*. 2017. Vol. 4, no 2, pp. 105—111. [In Russ].

11. Filin A. E., Zinovieva O. M., Kolesnikova L. A., Merkulova A. M. Prospects of safety control in combination of mining and metallurgy industries. *Eurasian Mining*. 2018. No. 1. pp. 31—34. DOI: 10.17580/em.2018.01.07.

12. Owoseni J. O., Tamarautobou E. U., Asiwaju-Bello Y. A. Application Sequential Analysis and Geographic Information Systems for Hydrochemical Evolution Survej, Shagari Environ, South-western Nigeria. *Amerikan International Journal of Contemporary Reserch*. 2013. Vol. 3. No 3, pp. 38—48.

13. Hisafumi Asaue, Naoyuki Tadakumsa, Katsuaki Koike Application of GIS to Hydrogeological Structure Modeling Aimed at Conservation of Groundwater Resources. *Geoinformatics*. 2014. Vol. 25, Iss. 3. pp. 159—168.

14. Belkhir L., Narany T. S. Using multivariate statistical analysis, geostatistical techniques and structural equation modeling to identify spatial variability of Groundwater quality. *Water Resources Management*. 2015. Vol. 29, Iss. 6. pp. 2073—2089.

15. Jalbout A., Simser B. Rock mechanics tools for mining in high stress ground conditions at Nickel Rim South Mine. *Newsletter (Australian Centre for Geomechanics)*, vol. 46, December 2017.

16. Alymov V. T., Tarasova N. P. *Tekhnogennyy risk: Analiz i otsenka* [Anthropogenic risk: Analysis and assessment], Moscow, IKTS «Akademkniga». 2004. 118 p.

17. Balovtsev S. V. Analysis of cause-and-effects between events resulting in emergencies in coal mines. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2014, no 7, pp. 328—332. [In Russ].

18. Balovtsev S. V. Prediction of aerological accident risk in working areas in coal mines. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2015. Special edition 16, pp. 3—8. [In Russ].

19. Lebedev V. S., Skopintseva O. V. Residual gas components in coal seams: Composition, content, potential hazard. *Gornyy zhurnal*. 2017, no 4, pp. 84—86. DOI: 10.17580/gzh.2017.04.17. [In Russ].

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Пелипенко Михаил Вадимович* — генеральный директор,  
ООО «Технологии безопасности», e-mail: pelipenkomv@mail.ru,

*Баловцев Сергей Владимирович* — канд. техн. наук, доцент,  
МГИ НИТУ «МИСиС», e-mail: Balovcev@yandex.ru,

*Айнбиндер Игорь Израилевич* — д-р техн. наук, профессор,  
зав. отделом, ИПКОН РАН, e-mail: geoexpert@yandex.ru.

**Для контактов:** Баловцев С. В., e-mail: Balovcev@yandex.ru.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*M.V. Pelipenko*, General Director, e-mail: pelipenkomv@mail.ru,  
ООО «Security and Safety Technologies», Moscow, Russia,

*S.V. Balovtsev*, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor,  
Mining Institute, National University of Science and Technology «MISIS»,  
119049, Moscow, Russia, e-mail: Balovcev@yandex.ru,

*I.I. Aynbinder*, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of Department,  
Institute of Problems of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources  
of Russian Academy of Sciences, 111020, Moscow, Russia.

**Corresponding author:** S.V. Balovtsev, e-mail: Balovcev@yandex.ru.