

## АНАЛИЗ ПРИЧИН ВЗРЫВОВ, ВСПЫШЕК И ВОСПЛАМЕНЕНИЙ МЕТАНА В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ РОССИИ В 2005–2019 гг.

Е.И. Кабанов<sup>1</sup>, Г.И. Коршунов<sup>1</sup>, А.В. Корнев<sup>1</sup>, В.В. Мяков<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский горный университет

**Аннотация:** Представлены актуальные данные по аварийности в угольных шахтах России, обусловленной взрывами, вспышками и воспламенениями метана (в том числе с участием угольной пыли) в период с 2005 по 2019 гг., полученные в ходе системного анализа материалов технических расследований причин аварий. Указаны причины снижения показателей аварийности за последнее десятилетие и обоснована необходимость повышения противоаварийной устойчивости угольных шахт в существующих условиях. В работе представлены распределения случаев аварий по местам возникновения и условиям эксплуатации шахт, приведены сравнения полученных данных с результатами анализа в более ранний период 1990–2004 гг. Авторами представлена статистика травматизма в рассматриваемых авариях с указанием случаев смертельного травмирования в зависимости от должности пострадавших и вида аварии. Дана характеристика опасного воздействия поражающих факторов при взрывах метановоздушных смесей. Приведены результаты системного анализа причин взрывов, вспышек, воспламенений метана (в том числе с участием угольной пыли). Указаны основные технические и организационные причины возникновения взрывоопасных воздушных смесей и высокотемпературных источников инициирования в горных выработках и выработанных пространствах. Приведено сопоставление полученных данных с результатами анализа в период с 1990 по 2004 гг. Выявлено, что на возникновение источников опасности при подземных горных работах существенное влияние оказывают организационные и субъективные факторы. Предложены возможные пути снижения вероятности человеческих ошибок при эксплуатации защитных систем.

**Ключевые слова:** угольная шахта, взрыв, вспышка, воспламенение метана, взрыв пыли, аварийность и травматизм, причины аварий, противоаварийная устойчивость шахт.

**Для цитирования:** Кабанов Е.И., Коршунов Г.И., Корнев А.В., Мяков В.В. Анализ причин взрывов, вспышек и воспламенений метана в угольных шахтах России в 2005–2019 гг. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 2–1. – С. 18–29. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-18-29.

### Analysis of the causes of methane explosions, flashes and ignitions at coal mines of Russia in 2005–2019

E.I. Kabanov<sup>1</sup>, G.I. Korshunov<sup>1</sup>, A.V. Kornev<sup>1</sup>, V.V. Myakov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Saint Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, Russia

**Abstract:** The paper contains up-to-date data on accidents at Russia's coal mines in due to methane explosions, methane flashes and methane ignitions (including that involving coal dust)

in the period 2005–2019. The data were obtained during a systematic analysis of materials of technical investigations of accidents causes. The reasons for the decrease in accident rates over the past decade are indicated and the urgency of emergency resistance increasing at coal mines in the existing conditions is substantiated. The paper presents the accidents distributions by occurrence places and operating conditions of mines and compares the obtained data with the analysis results in the earlier period of 1990–2004. The authors presented injuries statistic due to the accidents with indicating of the fatal injuries cases, depending on the victims' profession and the accidents' type. The characteristic of the hazardous impact of damaging factors during methane-air mixtures' explosions is given. The results of system analysis of causes of methane explosions, methane flashes and methane ignitions (including that involving coal dust) are presented. The main technical and organizational reasons for occurrence of explosive air mixtures and high-temperature initiation sources in mine workings and mined-out spaces of coal mines are indicated. The comparison of the obtained data with the analysis results in the period 1990–2004 is given. The significant influence of organizational and subjective factors on the hazard sources occurrence risk during underground mining is indicated. Also in the conclusion, the authors indicate possible ways to reduce human errors probability during protective systems exploitation.

**Key words:** coal mine; methane explosion, methane flash, methane ignition; dust explosion; accident and injury rate; accidents causes; mines' accident resistance.

**For citation:** Kabanov E.I., Korshunov G.I., Kornev A.V., Myakov V.V. Analysis of the causes of methane explosions, flashes and ignitions at coal mines of Russia in 2005–2019. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(2–1):18–29. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-18-29.

---

## Введение

В последние десятилетия частота аварий, происходящих в угольных шахтах России вследствие взрывов, вспышек и воспламенений газопылевоздушных смесей, имеет тенденцию к снижению [1]. Это является результатом успешного проведения реструктуризации угольной промышленности [2], активного развития систем менеджмента и управления промышленной безопасностью, внедрения эффективных защитных мероприятий (в том числе мер по обеспечению аэрологической безопасности, борьбе с пылью [3–5]. Вместе с тем, следует отметить существующую периодичность возникновения крупных промышленных аварий по причинам взрывов метана (2007 г. — шахта «Ульяновская»; 2010 г. — шахты «Распадская», «Юбилейная»; 2013 г. — шахта «Воркутинская»; 2016 г. — шахта «Северная»). Регулярный характер подобных аварий свидетельствует о необходимости

проявления пристального внимания к вопросам противоаварийной устойчивости угольных шахт со стороны хозяйствующих субъектов и надзорных органов даже в период устойчивого снижения показателей аварийности.

Для последующего снижения показателей аварийности и смертельного травматизма необходимо развивать направления по использованию защитных мероприятий комплексного характера с учетом принципов риск-ориентированного подхода и системного анализа источников опасностей [6–9]. При этом особое внимание следует уделять выявлению источников опасностей, возникающих при совместном влиянии горно-геологических и горнотехнических факторов с одной стороны, а также субъективных и организационных факторов — с другой [10–12]. В этой связи ценным источником информации об опасностях является накопленная статистическая база и результаты системного ретроспектив-

ного анализа материалов технических расследований причин аварий.

С учетом вышесказанного основными задачами настоящего исследования являются выявление коренных причин и типовых сценариев возникновения взрывов, вспышек и воспламенений газопылевоздушных смесей в угольных шахтах, получение актуальных количественных данных об аварийности и сопутствующем травматизме. Поскольку анализ краткосрочных этапов функционирования угледобывающей отрасли не позволяет выявлять репрезентативные тенденции, в настоящем исследовании рассматривается временной период 2005–2019 гг., а также производится сопоставление ряда полученных показателей с более ранним периодом 1990–2004 гг.

Взрывы, вспышки и воспламенения метановоздушных смесей являются результатом горения метана в присутствии кислорода воздуха. Однако существенные различия условий возникновения и поражающей способности свидетельствуют о необходимости их раздельного учета при анализе аварийности. Так, в ходе данного исследования рассматриваются следующие события (приведены в порядке увеличения поражающей способности) [13–15]:

1) воспламенение метановоздушной смеси – медленное горение газовой смеси с выделением тепловой энергии и распространением фронта пламени со скоростью до  $\sim 0,6$  м/с;

2) вспышка метановоздушной смеси – быстрое горение газовой смеси с выделением тепловой энергии и распространением фронта пламени со скоростью до  $\sim 37,0$  м/с;

3) взрыв метановоздушной смеси (в том числе с участием угольной пыли) – быстрое горение газовой (газопылевоздушной) смеси с выделением тепловой энергии и обра-

зованием воздушной ударной волны, способной производить механическое разрушение, и распространяющейся со скоростью до  $\sim 700,0$  м/с.

Статистика аварийности. В период с 2005 по 2019 гг. на угольных шахтах России было зарегистрировано 50 аварий вследствие взрывов, вспышек или воспламенений метановоздушных смесей (в том числе с участием угольной пыли). Среднее значение частоты указанных аварий составляет 3 случая в год при максимальном количестве 8 случаев в 2005 г. При этом в 2015 г., а также в период 2017–2019 гг. не были зарегистрированы аварии рассматриваемого типа.

В 2005–2019 гг. взрывы/вспышки/воспламенения метана произошли на одной трети шахт, производивших добычу угля в России в течение анализируемого периода (на 33 из 98 предприятий), из которых 57 % – на шахтах Кузбасса, 8 % – на шахтах Печорского бассейна. При этом 79 % случаев произошли в штатном режиме функционирования шахты, 9 % – при проведении аварийно-спасательных работ, 8 % – при проведении ремонтных работ, 4 % – в процессе ликвидации шахты. 58 % случаев зарегистрировано в сверхкатегорийных по метану шахтах, 30 % – в шахтах III категории, 4 % – в шахтах II категории, 8 % – в шахтах, опасных по внезапным выбросам метана.

Основными местами возникновения взрывов/вспышек/воспламенений метана явились добычные забои и выработанные пространства (табл. 1). Сопоставление статистических данных за период 2005–2019 гг. с результатами анализа [16] за период 1990–2004 гг. свидетельствует о сохранении доли аварий на данных участках в диапазоне 20–26 %:

– добычные забои – 24 % в 1990–2004 гг., 26 % в 2005–2019 гг.;

– выработанные пространства – 26 % в 1990–2014 гг., 20 % в 2005–2019 гг.

В соответствии с данными, приведенными в табл. 1, к основным местам возникновения взрывов/вспышек/воспламенений метана также стоит отнести забои тупиковых горных выработок. Вместе с тем доля аварий на данных участках снизилась с 28 % в период 1990–2004 гг. до 18 % – в период 2005–2019 гг.

### Статистика травматизма

В период 2005–2019 гг. в результате взрывов/вспышек/воспламене-

ний метана (в том числе с участием угольной пыли) было травмировано 645 человек, из них смертельно травмировано 367 человек, в том числе 44 человека – члены военизированных горноспасательных отрядов. Распределение случаев смертельного травматизма в зависимости от должностей пострадавших представлено в табл. 2.

Поражающая способность взрывов/вспышек/воспламенений воздушных смесей в подземных горных выработках определяется наличием сопутствующих опасных факторов: воздушных ударных волн, теплового излучения зон

Таблица 1  
Места возникновения аварий в 2005–2019 гг.  
Locations of accidents in 2005–2019

Тип аварии	Место возникновения							
	Добычной забой	Выработанное пространство	Забой тупиковой выработки	Изолированная выработка	Вспомогательная выработка выемочного участка	Дегазационная скважина	Ствол	Прочее
Взрыв метана с участием пыли	4	–	–	–	–	–	–	1
Взрыв метана	2	7	4	4	1	1	1	3
Вспышка метана	–	2	4	1	2	–	1	–
Воспламенение метана	7	1	1	1	–	2	–	–
Всего	13	10	9	6	3	3	2	4
Доля, %	26	20	18	12	6	6	4	8

Таблица 2  
Распределение смертельного травматизма по должностям  
Distribution of fatal injuries by job position

Показатель	Наименование должности									
	Электрослесарь подземный	Горнорабочий очистного забоя	Проходчик	Горнорабочий подземный	Машинист горных выемочных машин	Машинист подземных установок	Горный мастер	Начальник участка	Машинист буровой установки	Прочие
Число погибших, чел.	57	57	53	38	25	16	15	10	7	89
Доля, %	15	15	14	11	7	5	4	3	2	24

горения, токсичных продуктов горения. В целях оценки поражающего воздействия в табл. 3 приведены результаты анализа распределения случаев смертельного травматизма в зависимости от поражающего фактора [17].

Результаты анализа в табл. 4 показывают, что взрывы метановоздушных смесей с участием угольной пыли обладают наибольшей поражающей способностью: так показатели травматизма  $K_1$ , чел./случай, и смертельного травматизма  $K_2$ , чел./случай, для данных аварий в десятки раз превышают

аналогичные показатели для аварий других типов.

### Анализ причин аварий

При анализе причин взрывов/вспышек/воспламенений метана (в том числе с участием угольной пыли) причины возникновения взрывоопасных воздушных смесей и высокотемпературных источников зажигания были рассмотрены отдельно ввиду их принципиально различных путей образования.

Взрывы метановоздушных смесей. В период 2005 – 2019 гг. наибольшее

Таблица 3

**Распределение причин смертельного травмирования персонала угольных шахт Кузбасса при взрывах метановоздушных смесей (в том числе с участием пыли) [17]**  
**Distribution of causes of fatal injuries to the personnel of coal mines of Kuzbass during explosions of methane-air mixtures (including those involving dust)**

Поражающий фактор	Вид поражения	Воздействие на пострадавших, %	Причина гибели пострадавших, %
Ударные волны воздушной среды	Травмы различных систем организма, механические повреждения тела	62	53
Токсичные продукты горения газозвушных и газопылевоздушных смесей	Отравление газообразными химическими веществами	47	46
Тепловое излучение зон горения и фронта пламени	Термические ожоги	28	1

Таблица 4

**Распределение случаев травматизма в зависимости от вида аварии**  
**Distribution of injuries depending on the type of accident**

Вид аварии	Число аварий	Всего травмировано, чел.	$K_1$ , чел./случай	Всего смертельно травмировано, чел.	$K_2$ , чел./случай
Взрыв метановоздушной смеси с участием угольной пыли	5	445	89,0	283	56,6
Взрыв метановоздушной смеси	22	136	6,2	71	3,2
Вспышка метановоздушной смеси	11	38	3,4	9	0,8
Воспламенение метановоздушной смеси	12	26	2,2	4	0,3

количество взрывов метана произошло в пределах выработанных и изолированных пространств, а также в очистных забоях и забоях тупиковых выработок. 48 % аварий произошли по причине образования местных и слоевых скоплений. В случаях взрывов в выработанных и изолированных пространствах загазирования происходили за счет естественного выделения метана из породного массива в условиях отсутствия проветривания, причем в 50 % случаев были выявлены отступления от технологии ведения работ, в 30 % — снижение эффективности дегазации. В 67 % случаев взрывов метана в забоях очистных и тупиковых выработок отмечалось загазирование в результате несоответствия расчетного количества подаваемого воздуха фактическому дебиту метана; в 35 % случаев были выявлены отступления от технологии ведения работ; 30 % взрывов были связаны с образованием локальных скоплений метана в результате возникновения местных аэродинамических сопротивлений.

Взрывы метановоздушных смесей с участием пыли. Все зарегистрированные в рассматриваемый период аварии произошли в пределах очистных забоев и конвейерных выработок — участков с наиболее активным выделением пыли и пылеотложением. Причем во всех случаях было отмечено пренебрежение необходимыми мероприятиями по обеспечению пылевзрывобезопасности горных выработок и нарушение регламента контроля пылевзрывобезопасности шахт.

Вспышки метановоздушных смесей. 80 % аварий данного типа произошли в пределах забоев тупиковых выработок, во вспомогательных выработках выемочных участков и в изолированных пространствах. В качестве основной причины возникновения вспышек

метана следует рассматривать образование местных скоплений метана у груди забоя и обнаженной поверхности угольного пласта, у скоплений отбитого угля и возле разгерметизированных изолирующих перемычек. Причем более чем в 25 % случаев загазирование происходило в результате несоответствия расчетного количества воздуха, подаваемого для проветривания, фактическому выделению метана. До 50 % вспышек в забоях тупиковых выработок произошли при нарушении проветривания по причине повреждения вентиляционного трубопровода или его отставания от груди забоя. Стоит отметить, что к наиболее частым сопутствующим причинам возникновения вспышек метана были отнесены отступления от технологии ведения работ и низкая эффективность дегазации выработанного пространства.

Воспламенения метановоздушных смесей. За рассматриваемый период 58 % случаев воспламенений метана зарегистрированы в пределах добычных забоев, 43 % из них произошли по причине образования местных и слоевых скоплений метана в застойных зонах из-за нарушения проветривания. Также в 29 % случаев были отмечены существенные отступления от технологии ведения работ.

В табл. 5 приведено распределение причин формирования взрывоопасных воздушных смесей, повлекших за собой проанализированные аварии.

Результаты анализа на рис. 1 показывают, что в период 2005—2019 гг. основными высокотемпературными источниками инициирования взрывов/вспышек/воспламенений метановоздушных смесей явились электрические искровые и дуговые разряды, доля которых по сравнению с более ранним периодом 1991—2004 гг. сохранилась на уровне 32 %. К основным причинам

Таблица 5

**Основные причины возникновения взрывоопасных воздушных смесей**  
**The main reasons for the occurrence of explosive air mixtures**

Причина		Число случаев
Технические причины		
1	Нарушение проветривания выработок и забоев (в т. ч. образование местных и слоевых загазирования)	11
2	Неравномерная работа вентиляторов и дегазационных систем, повреждение вентиляционного трубопровода	7
3	Нарушение герметичности изолирующих перемычек	3
4	Посадка кровли в выработанном пространстве	2
Организационные причины		
5	Нарушение контроля проветривания и газовой обстановки в выработках (в т. ч. блокировка или отсутствие систем аэрогазового контроля)	39
6	Нарушение контроля газовой обстановки в выработанном пространстве	13
7	Наличие нарушений в проектной документации (в т. ч. некорректный расчет требуемого расхода воздуха, пренебрежение необходимыми мерами безопасности)	13
8	Нарушение технологии ведения работ (в т. ч. отступление от проектных решений, невыполнение требуемых мер по дегазации)	12
9	Нарушение пылевого режима шахты	5
10	Нарушение регламента разгазирования выработок	4

возникновения искровых и дуговых разрядов при авариях 2005 – 2019 гг. следует отнести повреждение электрических кабелей – 16 % и использование электрооборудования с нарушенной (отсутствующей) взрывозащитой – 10 %.

Вторым по частоте возникновения источником инициирования явились очаги самовозгорания угля, доля которых увеличилась с 17 % в период 1991 – 2004 гг. до 26 % в период 2005 – 2019 гг. При этом 18 % случаев загораний связаны с самовоспламенением угля в выработанных пространствах (в том числе по причине некачественной изоляции изолирующими перемычками).

Как и в более ранний период 1991 – 2004 гг., не менее 16 % аварий связаны с фрикционным воспламенением метановоздушных смесей (в том числе с фрикционным загоранием угля при трении частей конвейера); половина случаев фрикционного вос-

пламенения произошли в результате неисправности фрикционной защиты проходческих и добычных комбайнов.

Следует отметить снижение доли взрывных работ среди источников инициирования со значения 25 % в 1991 – 2004 гг. до 6 % в 2005 – 2019 гг. Во всех проанализированных случаях в ходе расследования было отмечено грубое нарушение правил безопасности при взрывных работах.

К прочим источникам высокотемпературного инициирования следует отнести: применение курительных принадлежностей – 4 %, проникновение раскаленных продуктов через скважину в выработанное пространство в результате попадания молнии в поверхностную дегазационную установку – 4 %, неустановленные причины – 2 %.

В табл. 6 приведено распределение причин образования высокотемпературного источника инициирования



Рис. 1. Источники иницирования метановоздушных смесей  
Fig. 1. Sources of initiation of methane-air mixtures

Таблица 6

Основные причины образования источника иницирования смесей  
The main reasons for the formation of a source of initiation of mixtures

Причина		Число случаев
Технические причины		
1	Самовозгорание угля и угольной пыли (в т. ч. в выработанном пространстве)	13
2	Нарушение взрывобезопасности электрооборудования (в т. ч. повреждение электрических кабелей)	8
3	Рудничный пожар (действующий или активизировавшийся)	4
4	Нарушение фрикционной защиты комбайна	3
5	Попадание молнии в поверхностную дегазационную установку	2
6	Загорание угля при трении частей конвейера	1
Организационные причины		
7	Нарушение правил безопасности при использовании электрооборудования (в т. ч. использование электрооборудования с неисправной взрывозащитой)	9
8	Нарушение технологии ведения работ	8
9	Нарушение техники безопасности при ведении взрывных работ	7
10	Применение курительных принадлежностей	2
11	Отсутствие защитных мероприятий при отработке лавы в контуре пожара	1

взрывоопасных воздушных смесей в 2005 – 2019 гг.

### Заключение

Систематизация данных о причинах возникновения аварий и комплексный учет результатов их расследования

позволяют получить ценную информацию для детального понимания природы источников опасностей, анализа взаимосвязей и обстоятельств неблагоприятных событий, разработки превентивных защитных мероприятий. По результатам проведенного анализа стоит отметить,



что несмотря на снижение частоты возникновения аварий за последние 15 лет влияние организационных причин и человеческого фактора (выражающегося в неверных действиях или бездействиях людей [18, 19]) остается существенным: в 64 % проанализированных аварий был отмечен неудовлетворительный контроль за выполнением работ со стороны инженерно-технического персонала, в 40 % — низкий уровень производственной дисциплины, 50 % случаев формирования взрывоопасной среды было связано с существенными отступлениями от проектных решений, с нарушением технологии ведения работ и ошибками в проектной документации; во всех проанализированных авариях было отмечено нарушение контроля за проветриванием и газовой обстановкой в выработках и выработанном пространстве. Вместе с тем, в 48 % случаев образование источников инициирования взрывоопасных смесей явилось следствием грубых нарушений технологий ведения взрывных и горных работ, а также существенных отступлений от правил безопасности при использовании электрооборудования.

Проведенный ретроспективный анализ аварийности показал, что во всех рассмотренных авариях существовала техническая возможность устранения источников опасностей и минимизации риска возникновения опасных ситуаций. Однако пагубное влияние человеческих ошибок на различных уровнях управления привело к тому, что регламентированные уровни защиты не использовались в должном порядке, следствием чего явилась недостаточная эффективность систем противоаварийной защиты шахт. По мнению авторов, это лишний раз подтверждает, что безопасное функционирование горнодобывающих предприятий даже при наличии соответствующего технического обеспечения невозможно без должной подготовки персонала. В этой связи стоит отметить высокую актуальность использования в системах безопасности принципов защиты от очевидно неверных действий («защита от ошибки», «fool proof concept»), совершенствования систем профессионального отбора и обучения специалистов [20], а также развития принципов управления мотивацией работников на безопасный труд.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору: ежегодные отчеты о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору [Электронный ресурс]. URL: [http://www.gosnadzor.ru/public/annual\\_reports/](http://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/) (дата обращения: 20.09.2020)
2. *Краснянский Г.Л.* Реструктуризацию угольной промышленности России следует изучать в профильных вузах [Электронный ресурс] // Forbes: [сайт]. [2017]. URL: <http://www.forbes.ru/biznes/343035-georgiy-krasnyanskiy-restrukturizaciyu-ugolnoy-promyshlennosti-rossii-sleduet-izuchat> (дата обращения: 15.10.2020).
3. *Скопинева О.В., Вертинский А.С., Иляхин С.В., Савельев Д.И., Прокопович А.Ю.* Обоснование рациональных параметров обеспыливающей обработки угольного массива в шахтах // Горный журнал. — 2014. — № 5. — С. 17 — 20.
4. *Kazanin O.I., Sidorenko A.A., Vinogradov E.A.* Choosing and substantiating the methods of managing gas emission in the conditions of the Kotinskaya mine of JSC Suek-Kuzbasses // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 2017, Vol. 12, no 6, pp. 1822 — 1827.
5. *Магомет Р.Д., Серегин А.С.* Повышение эффективности предварительной дегазации угольных пластов // Горный журнал. — 2017. — № 7. — С. 92 — 95. DOI: 10.17580/gzh.2017.07.18.

6. Баловцев С.В., Скопинцева О.В., Коликов К.С. Управление аэрологическими рисками при проектировании, эксплуатации, ликвидации и консервации угольных шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 6. — С. 85–94. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-6-0-85-94.
7. 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.
8. Rudakov M.L., Rabota E.N., Kolvakh K.A. Assessment of the individual risk of fatal injury to coal mine workers during collapses // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2020, no 4, pp. 88–93. DOI: 10.33271/nvngu/2020–4/088.
9. Tripathy D.P., Ala C.K. Risk Assessment in Underground Coalmines Using Fuzzy Logic in the Presence of Uncertainty // Journal of The Institution of Engineers (India): Series D. 2018, Vol. 99, pp. 157–163.
10. Korshunov G.I., Rudakov M.L., Kabanov E.I. The use of a risk-based approach in safety issues of coal mines // Journal of environmental management and tourism. 2018, no 9, pp. 181–186. DOI: 10.14505/jemt.v9.1(25).23.
11. Kumar R., Ghosh A.K. Mines Systems Safety Improvement Using an Integrated Event Tree and Fault Tree Analysis // Journal of The Institution of Engineers (India): Series D. 2017, Vol. 98, pp. 101–108.
12. Shi L., Wang J., Zhang G., Cheng X., Zhao X. A risk assessment method to quantitatively investigate the methane explosion in underground coal mine // Process Safety and Environmental Protection. 2017, Vol. 107, pp. 317–333.
13. Александров С.Н., Булгаков Ю.Ф., Яйло В.В. Охрана труда в угольной промышленности: учебное пособие для студентов горных специальностей высших учебных заведений. — Донецк: РИА ДонНТУ, 2012. — 480 с.
14. Ушаков К.З., Каледина Н.О., Кирич Б.Ф. Безопасность ведения горных работ и горноспасательное дело: учебник для вузов. — М.: МГГУ, 2002. — 487 с.
15. Айруни А.Т., Клебанов Ф.С., Смирнов О.В. Взрывоопасность угольных шахт. — М.: Изд-во. «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2011. — 264 с.
16. Костеренко В.Н., Тимченко А.Н. Факторы, оказывающие влияние на возникновение взрывов газа метана и угольной пыли в шахтах // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2011. — № 7. — С. 368–377.
17. Уварова В.А. О причинах отравлений при крупных авариях на угольных шахтах // Технологии техносферной безопасности. — 2012. — № 6 (46). — С. 1–7.
18. Grabara J., Cehlar M., Babylova M. Human factor as an important element of success in the implementation of new management solutions // Polish Journal of Management Studies. 2019, Vol. 20, no 2, pp. 225–235. DOI 10.17512/pjms.2019.20.2.19.
19. Виноградова О.В. Ошибки человека как фактор производственного риска в горнодобывающей промышленности // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 6–1. — С. 137–145. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-61-0-137-145.
20. Кречманн Ю., Плиен М., Нгуен Т.Х. Н., Рудаков М.Л. Эффективное наращивание потенциала в горном деле за счет обучения, расширяющего возможности в области управления охраной труда // Записки Горного Института. — 2020. — Т. 242. — С. 248–256. DOI:10.31897/pmi.2020.2.248 **PLAB**

## REFERENCES

1. Federal'naya sluzhba po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru: ezhegodnye otchety o deyatel'nosti Federal'noj sluzhby po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru [Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision: annual reports on the activities of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision], available at: [http://www.gosnadzor.ru/public/annual\\_reports/](http://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/) (accessed 20.09.2020).

2. Krasnyanskiy G.L. *Restrukturizaciyu ugol'noj promyshlennosti Rossii sleduet izuchat' v profil'nyh vuzah* [Krasnyanskiy G.L. The restructuring of the Russian coal industry should be studied in specialized universities], available at: <http://www.forbes.ru/biznes/343035-georgiy-krasnyanskiy-restrukturizaciyu-ugolnoy-promyshlennosti-rossii-sleduet-izuchat> (accessed 15.10.2020).

3. Skopintseva O.V., Vertinskiy A.S., Ilyakhin S.V., Savelev D.I., Prokopovich A. Yu., Substantiation of efficient parameters of dust-controlling processing of coal massif in mines. *Gornyi Zhurnal*. 2014, no. 5, pp. 17 – 20. [In Russ].

4. Kazanin O.I., Sidorenko A.A., Vinogradov E.A. Choosing and substantiating the methods of managing gas emission in the conditions of the Kotinskaya mine of JSC Suek-Kuzbasses. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2017, Vol. 12, no. 6, pp. 1822 – 1827.

5. Magomet R.D., Seregin A.S. Improving the efficiency of preliminary degassing of coal seams. *Gornyi zhurnal*. 2017, no. 7, pp. 92 – 95. [In Russ] DOI: 10.17580/gzh.2017.07.18

6. Balovtsev S.V., Skopintseva O.V., Kolikov K.S. Aerological risk management in designing, operation, closure and temporary shutdown of coal mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 6, pp. 85 – 94. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236 – 1493 – 2020 – 6-0 – 85 – 94.

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

8. Rudakov M.L., Rabota E.N., Kolvakh K.A. Assessment of the individual risk of fatal injury to coal mine workers during collapses // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2020, no. 4, pp. 88 – 93. DOI: 10.33271/nvngu/2020 – 4/088

9. Tripathy D.P., Ala C.K. Risk Assessment in Underground Coalmines Using Fuzzy Logic in the Presence of Uncertainty. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series D*. 2018, Vol. 99, pp. 157 – 163.

10. Korshunov G.I., Rudakov M.L., Kabanov E.I. The use of a risk-based approach in safety issues of coal mines. *Journal of environmental management and tourism*. 2018, no. 9, pp. 181 – 186. DOI: 10.14505/jemt.v9.1(25).23.

11. Kumar R., Ghosh A.K. Mines Systems Safety Improvement Using an Integrated Event Tree and Fault Tree Analysis. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series D*. 2017, Vol. 98, pp. 101 – 108.

12. Shi L., Wang J., Zhang G., Cheng X., Zhao X. A risk assessment method to quantitatively investigate the methane explosion in underground coal mine. *Process Safety and Environmental Protection*. 2017, Vol. 107, pp. 317 – 333.

13. Aleksandrov S.N., Bulgakov YU.F., YAjlo V.V. *Ohrana truda v ugol'noj promyshlennosti: uchebnoe posobie dlya studentov gornyh special'nostej vysshih uchebnyh zavedenij* [Labor protection in the coal industry: training manual for students of mining fields universities], Donetsk, RIA DonNTU, 2012, 480 p. [In Russ]

14. Ushakov K.Z., Kaledina N.O., Kirin B.F. *Bezopasnost' vedeniya gornyh rabot i gornospasatel'noe delo: uchebnik dlya vuzov* [Safety of mining operations and mine rescue: textbook for universities], Moscow, MGGU, 2002, 487 p. [In Russ].

15. Ajruni A.T., Klebanov F.S., Smirnov O.V. *Vzryvoopasnost' ugol'nyh shaht* [Explosiveness of coal mines], Moscow, Publ. «Gornoe delo» OOO «Kimmerijskij centr», 2011, 264 p. [In Russ].

16. Kosterenko V.N., Timchenko A.N. Factors which influence the occurrence of methane gas and coal dust explosions in mines *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2011, no. 7, pp. 368 – 377. [In Russ].

17. Uvarova V.A. On the causes of intoxication in major accidents at coal mines. *Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti*. 2012, no. 6 (46), pp. 1 – 7. [In Russ].

18. Grabara J., Cehlar M., Babylova M. Human factor as an important element of success in the implementation of new management solutions // Polish Journal of Management Studies. 2019, Vol. 20, no. 2, pp. 225 – 235. DOI 10.17512/pjms.2019.20.2.19

19. Vinogradova O.V. Human errors as a factor of production risk in the mining industry. *MIAB.Mining Inf. Anal. Bull.*, 2020, no. 6 – 1, pp.137 – 145 [In Russ]. DOI: 10.25018/0236 – 1493 – 2020 – 61 – 0-137 – 145

20. Krechmann YU., Plien M., Nguen T.H. N., Rudakov M.L. Effective capacity building by empowerment teaching in the field of occupational safety and health management in mining. *Zapiski Gornogo instituta.* 2020, no. 242, pp. 248 – 256. [In Russ]. DOI: 10.31897/pmi.2020.2.248.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Кабанов Евгений Игоревич*<sup>1</sup> – ассистент кафедры безопасности производств, e-mail: kabanov\_ei@pers.spmi.ru;

*Коршунов Геннадий Иванович*<sup>1</sup> – профессор кафедры безопасности производств;

*Корнев Антон Владимирович*<sup>1</sup> – доцент кафедры безопасности производств;

*Мяков Владислав Владимирович*<sup>1</sup> – магистрант кафедры безопасности производств;

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский горный университет.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Kabanov E.I.*<sup>1</sup>, Assistant, Safety Department;

*Korshunov G.I.*<sup>1</sup>, Professor, Safety Department;

*Kornev A.V.*<sup>1</sup>, Associate Professor, Safety Department;

*Myakov V.V.*<sup>1</sup>, Graduate Student, Safety Department;

<sup>1</sup> Saint Petersburg Mining University, Russia.

Получена редакцией 21.12.2020; получена после рецензии 15.01.2021; принята к печати 01.02.2021.

Received by the editors 21.12.2020; received after the review 15.01.2021; accepted for printing 01.02.2021.

