

УДК 622.81

ТРУДНОУПРАВЛЯЕМЫЕ ФАКТОРЫ В СТАТИСТИКЕ ПРИЧИН АВАРИЙНЫХ ПЫЛЕГАЗОВЫХ ВЗРЫВОВ В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ РОССИИ

В. В. СМИРНЯКОВ¹, доцент, канд. техн. наук, smirnyakovvv@yandex.ru
В. В. СМИРНЯКОВА¹, доцент, канд. техн. наук

¹ Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург, Россия

Введение

Выделение горючих газов наблюдается практически на всех разрабатываемых в настоящее время угольных месторождениях России. Свыше 86 % угольных шахт опасны по взрывам газа и угольной пыли, в том числе более 50 % отнесены к сверхкатегорийным по метану и опасным по внезапным выбросам [1–4]. Обеспечение безопасности ведения работ в условиях газового и пылевого факторов требует всестороннего анализа причин, обстоятельств, условий возникновения и развития аварий, прежде всего — выявления структурной схемы возникновения аварии с установлением элементов, в разной степени поддающихся управлению теми средствами и методами обеспечения безопасности, которые имеются на вооружении современных горных предприятий. По результатам анализа структуры и взаимосвязей причин необходимо установить роль и тех факторов, эффективное управление которыми в настоящее время либо не представляется возможным, либо не предусмотрено технологией ведения работ и действующими нормативными документами по аэрологической безопасности. Практическим результатом анализа является разработка мероприятий, максимально направленных на предотвращение сочетания условий и обстоятельств, при стечении которых и с учетом воздействия так называемых трудноуправляемых факторов происходит та или иная авария.

Как свидетельствует статистика взрывов газа и пыли в течение последних двух десятилетий, Россия занимает промежуточную позицию между развивающимися и развитыми странами. В настоящее время на шахтах России в среднем один раз в два года происходит групповой несчастный случай с человеческими жертвами, вызванный взрывами метана и пыли, а также три-четыре меньшие по масштабам и последствиям аварии [5–7].

Анализ причин пылегазовых взрывов в угольных шахтах

Для получения достоверных результатов исследований причин аварий, позволяющих разработать конкретные меры повышения безопасности горных работ по газовому фактору, необходимо выполнение комплекса не только статистического, но и детально-

Статья посвящена актуальной проблеме обеспечения безопасности труда персонала и эксплуатации угольных шахт, опасных (категорийных) по пылегазовым взрывам.

Показаны природные, технические и организационные факторы, обуславливающие накопление метана и взрывоопасной пыли в горных выработках с последующим аварийным возгоранием и взрывом. Обозначена задача поисков методов установления, прогноза и учета трудноуправляемых факторов и их взаимодействия с контролируруемыми.

Ключевые слова: угольные шахты, пылегазовые взрывы, статистический и технический анализ, число, виды и места аварий, природные, технические и организационные факторы, прогнозирование и учет, трудноуправляемые факторы, структурные связи.

DOI: <http://dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.01.07>

го технического анализа. Обзор и обобщение статистики аварий за 1991–2014 гг., а также материалов их расследования [1–9] позволили получить следующие данные. Всего за исследуемый период произошло 207 пылегазовых взрывов, из которых по последствиям 27 можно отнести к катастрофам. Максимальное число взрывов в год составило 17 (1992 г.), минимальное — 2 (2008 г.). Все зафиксированные взрывы произошли в 60 % шахт от общего их числа. При этом на 30 % шахт (от общего числа) произошло более 80 % взрывов. Пострадали 1544 человека, в том числе 775 человек получили смертельные травмы. Анализ данных по регионам показал, что наибольшее число взрывов (в среднем более 76 % в год) произошло в шахтах Кузбасса, в отдельные периоды этот показатель достигал 100 % (1999 г.). Отдельные случаи взрывов имели место на рудниках, опасных по выделению горючих газов. Актуальность проблемы усиливается тем, что относительные показатели аварий (приведенные к числу действующих шахт), связанных со взрывами газа и пыли в шахтах России, после прекращения добычи и ликвидации более 100 наиболее опасных шахт остаются практически неизменными за последние два десятилетия (рис. 1).

Статистический анализ опубликованных в работах [1, 3, 7, 8, 10–12] данных показывает, что доли источников воспламенения метана в угольных шахтах составляют: пожары — 34 %; неисправности электрооборудования — 27 %; БВР — 21 %; курение — 8 %; другие причины — 5 %; в 5 % случаев причины достоверно не были установлены. К природным причинам загазиро-

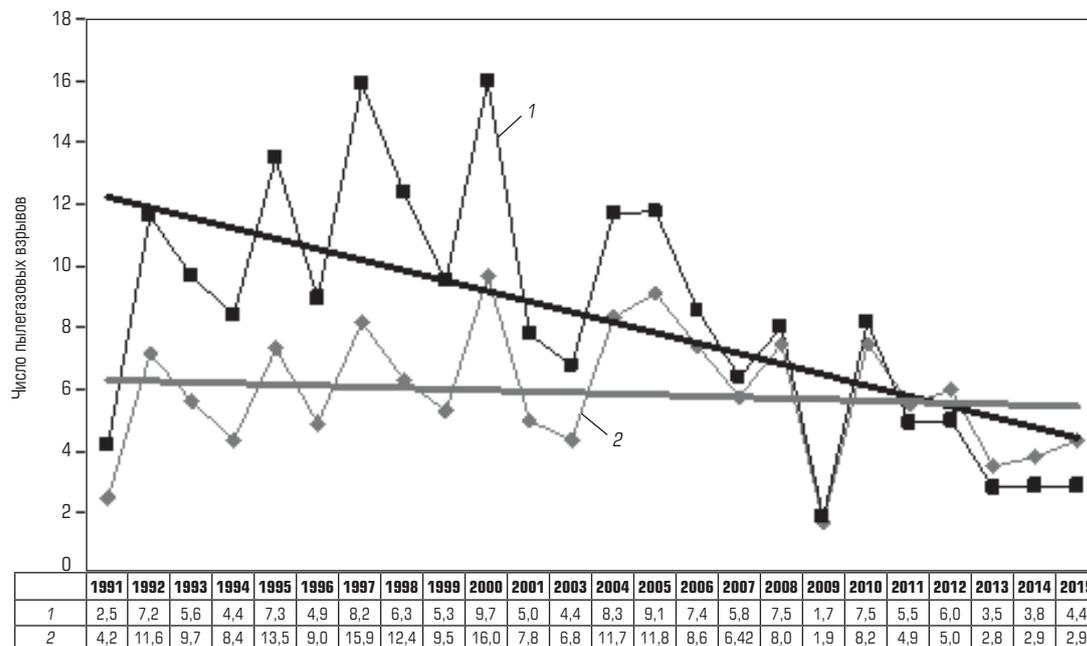


Рис. 1. Статистика и динамика (тенденция) пылегазовых взрывов на 100 действующих в России угольных шахтах и 100 млн т добытого угля:

1 — число взрывов на 100 действующих шахтах; 2 — число взрывов на 100 млн т добытого угля

вания выработок отнесены: газовыделение из выработанного пространства — 33 %; газовыделение из массива — 23 %; выбросы и суфляры — 18 %; газовыделение из-за тепловой депрессии эндогенных пожаров — 10 %. Технические причины загазирования выработок включают: нарушение проветривания — 68 %; отсутствие дегазации — 18 %; неудовлетворительное состояние выработок — 7 %; газовыделение из-за тепловой депрессии экзогенных пожаров — 7 %. Организационные причины загазирования выработок включают: неудовлетворительный контроль — 39 %; непринятие во внимание изменения режима добычи — 34 %; нарушения при разгазировании выработок — 18 %; неверный аварийный режим проветривания — 5 %; ошибки в расчетах количества воздуха — 5 %. Исследования воздействия так называемых контролируемых и слабоподконтрольных факторов позволили установить, что подавляющее число аварий произошло в области первых, а из-за влияния слабоподконтрольных факторов за последние 25 лет произошло 13,7 % общего числа аварий. Результаты топографического анализа мест, где произошли взрывы газа и пыли, показали тенденцию к росту аварий на участках разработки пластов пологого залегания при наибольшей доле выработанного пространства (рис. 2) [1, 5, 10–17]. Проведенная статистическая обработка данных об авариях показала, что существует устойчивая положительная тенденция к стабилизации их числа: среднее число аварий стремится к постоянной величине, которую в настоящее время можно оценить в 4 взрыва в год.

В ходе исследований аварий установлено, что характерной особенностью большинства взрывов является недостаточное количество воздуха для создания безопасной концентрации метана, хотя при этом подача воздуха в забои превышала расчетные значения [9]. Это свидетельствует о влиянии на аэрологическую без-

опасность выработок в период, предшествующий аварии, неучтенных факторов и возможности их комплексного воздействия.

Характерные общие причины аварий в горных выработках, прямо или косвенно обусловленные нарушением режима их проветривания, в материалах исследований приводят обычно в виде некоторого перечня [3, 7]. Эти данные позволяют получить представление о причинах нарушений, но не отражают количественного соотношения и структуры взаимосвязей между ними. Часто в одной общей формулировке причины скрыты несколько различных по природе факторов. Для установления всех обстоятельств, характера развития аварии и вероятных виновников такой классификации недостаточно. Наиболее полные и достоверные сведения, позволяющие максимально полно выявить нарушения, могут быть получены при расследованиях аварий с применением методов технического анализа и экспертных оценок. Основная задача при изучении обстоятельств подобных аварий — выявление причин и источников, во-первых, появления взрывоопасных концентраций газов и пыли в горных выработках; во-вторых, их воспламенения и взрыва. С этой целью для систематизации всех причин аварий принято их кластерное деление по основным факторам, присущим горному производству, — природным, техническим, организационным (табл. 1, 2).

На основе технического анализа данных о причинах и источниках взрывов можно сделать вывод о сложном характере структуры и взаимосвязи причин взрывов газа и пыли в горных выработках. Ни одна из причин при расследовании не может быть принятой по результатам расследования как единственная, в результате которой произошла авария. Например, такая организационная причина, как неудовлетворительный контроль проветривания (состояния) горных выработок, часто является следствием цело-

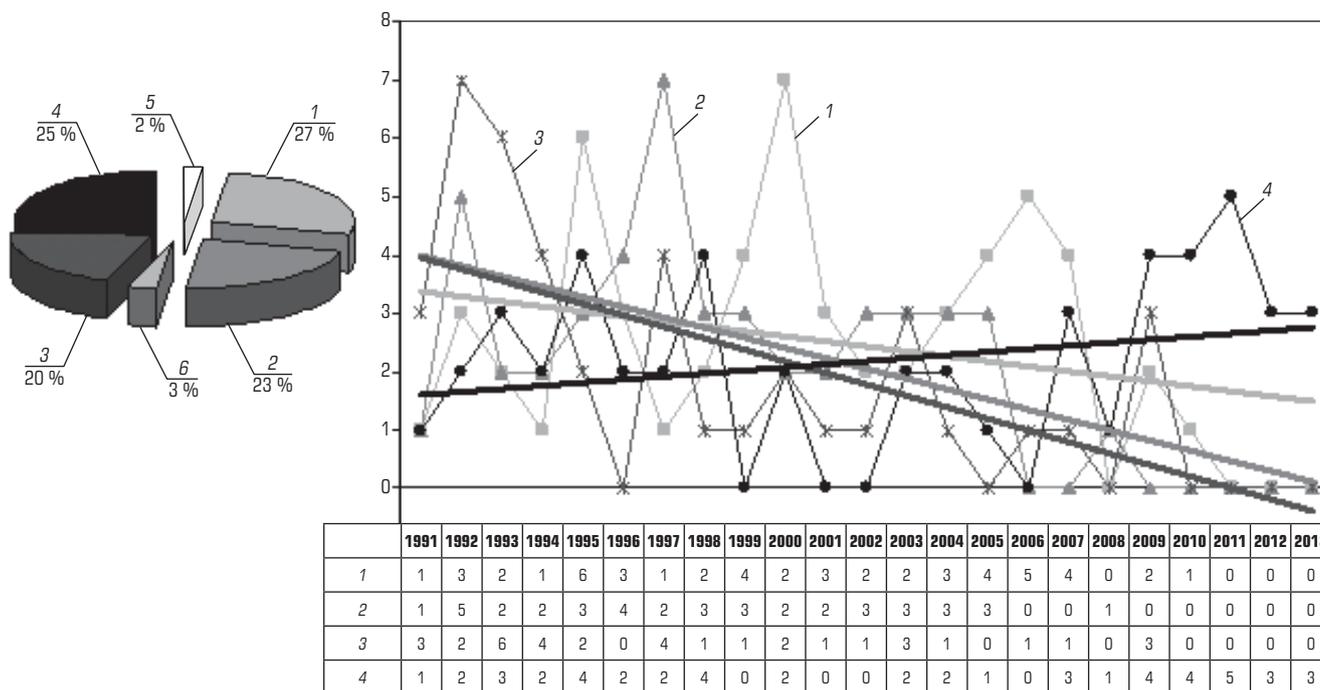


Рис. 2. Результаты топографического анализа мест возникновения аварийных пылегазовых взрывов: статистика и тенденция (прямые линии):

1 — выработанное пространство; 2 — туликовые выработки; 3, 4 — ВУ на крутом и пологом падении соответственно; 5 — скважины; 6 — дегазационная сеть;

го ряда технических и природных факторов. Поэтому существующая классификация причин аварий в виде перечня, разнесенного по факторам горного производства, по мнению авторов, не полностью отражает его специфику: так называемый человеческий фактор в качестве основной причины присутствует прямо или косвенно в 98 % всех аварий и инцидентов, однако возможности человека по управлению ситуацией, направленные на предотвращение возникновения и развития аварий, существенно ограничены и не превышают в отдельных случаях 30 %, так как факторы влияния на газовую обстановку в пределах выемочного участка объективно разделяются на управляемые и трудноуправляемые.

К управляемым относятся все факторы, предусмотренные организацией и технологией ведения работ в виде мероприятий, способных воздействовать на их влияние, например вентиляция выработок и дегазация массива. Воздействие на управляемые факторы при строгом соблюдении норм промышленной безопасности и технологии ведения работ минимизирует опасность до приемлемого риска. К трудноуправляемым относятся факторы, не поддающиеся контролю и управлению теми методами и средствами, которыми располагает производство. Они практически не контролируются в ходе технологических процессов, но при этом влияют на эффективность проветривания или способствуют появлению до-

Таблица 1. Классификация источников воспламенения метана и пыли в шахтах

Факторы	Источник воспламенения
Природные	1. Повреждения оборудования от внешних природных причин. 2. Процессы самовозгорания (эндогенные пожары). 3. Взаимодействие кусков породы между собой при обрушении
Технические	1. Повреждения оборудования от внешних технических причин. 2. Экзогенные пожары. 3. Взрывные работы, в том числе: детонирующий заряд взрывчатого вещества; выгорающий заряд; искрение во взрывной сети. 4. Нагретые тела, в том числе: от процесса трения; от неисправностей в электрических сетях; сварочные работы; курение как источник воспламенения. 5. Фрикционное искрение, в том числе: при взаимодействии оборудования и породы; при взаимодействии частей оборудования. 6. Разряды статического электричества, в том числе: при работе оборудования; при взаимодействии одежды. 7. Возгорание изолирующих самоспасателей. 8. Повреждения головных светильников
Организационные	1. Нарушения правил эксплуатации и ремонта оборудования. 2. Нарушение трудовой и производственной дисциплины: факты курения, сварочные работы и др. 3. Неудовлетворительный контроль за состоянием оборудования и выработок

Таблица 2. Причины загазирования и запыленности выработок

Факторы	Причины и источники
Природные	1. Изменение горно-геологических условий (горный массив). 2. Интенсивное выделение метана из отбитого угля, обнаженного массива, груди забоя, бортов выработки и зоны обрушения. 3. Внезапные выбросы угля и газа, суфляры (горный массив). 4. Изменение барометрического давления (выработанное пространство). 5. Обрушение пород кровли (выработанное пространство). 6. Тепловая депрессия, возникающая при эндогенных пожарах (выработанное пространство)
Технические	1. Нарушение режима проветривания из-за перераспределения воздуха между выработками (все источники). 2. Неудовлетворительная изоляция выработанного пространства, наличие пустот, больших утечек воздуха (выработанное пространство, горный массив). 3. Нарушение проветривания тупиковых забоев (призабойная зона). 4. Низкие скорости движения воздуха в выработках (все источники). 5. Остановки вентиляторов главного и местного проветривания (все источники). 6. Ограничение подачи воздуха в шахту или на участок (все источники). 7. Применение несовершенных схем вскрытия, подготовки и отработки пластов, систем разработки (все источники). 8. Отсутствие дегазации (выработанное пространство, горный массив). 9. Неудовлетворительное состояние вентиляторов главного проветривания и вентиляционной сети (все источники). 10. Тепловая депрессия, возникающая при экзогенных пожарах (выработанное пространство, горный массив). 11. Неудовлетворительное управление кровлей (выработанное пространство, горный массив)
Организационные	1. Рост добычи без увеличения количества воздуха (все источники). 2. Нарушения при разгазировании выработок (все источники). 3. Инженерные ошибки в расчетах и замерах воздуха (все источники). 4. Нарушения режима проветривания при ликвидации аварий (все источники). 5. Неудовлетворительный контроль проветривания (все источники)

полнительных аварийных ситуаций, имеют природный или смешанный природно-техногенный характер. К ним можно отнести, например, следующие факторы: природные — изменение барометрического давления и температуры воздуха; природно-техногенные — неустойчивое перераспределение воздуха из-за изменения величины утечек в зону обрушения, влияние тепловой депрессии эндогенных пожаров; геомеханические — изменение структуры зоны обрушения, обрушение пород кровли в выработанном пространстве; техногенные — образование местных скоплений метана в отдельных застойных зонах, отложение взрывоопасных скоплений пыли в труднодоступных местах.

Изучение материалов расследований позволило установить частичное воздействие трудноуправляемых факторов более чем в 51 % общего числа аварий. Таким образом, хотя для подавляющего числа аварий основными причинами признаны организационно-технические нарушения в действиях людей, трудноуправляемые факторы нельзя не учитывать, классифицируя их как способствующие или сопутствующие, а при определенных условиях — как основные или непосредственные составляющие причин аварии. В качестве организационно-технических мер необходима разработка методов прогноза не только отдельных трудноуправляемых факторов, но и возможности их сочетания и комплексного воздействия с другими.

Заключение

Дополнительный учет и классификация трудноуправляемых факторов в комплексе с другими причинами позволит в ходе расследования более полно оценить места, обстоятельства и структу-

ру их взаимосвязи, пути развития и характер аварий, максимально полно выявить нарушения и, как следствие, установить всю временную и пространственную цепь от способствующих и сопутствующих до основных и непосредственных причин. По мнению авторов, повысить возможности управления безопасностью горного производства возможно при дифференцированном подходе к роли каждого фактора, способного повлиять на возникновение и развитие аварии. При этом необходимо оценивать возможные изменения влияния каждого фактора во времени и в пространстве.

Например, практически неподконтрольный воздействию такой природный фактор, как изменение барометрического давления, способен влиять на газовую обстановку выемочного участка в течение длительного времени — до нескольких суток. На его фоне способен резко и в течение короткого времени повлиять на газовыделение из выработанного пространства другой трудноуправляемый природно-техногенный фактор — обрушение пород основной кровли. Результат совместного действия этих факторов можно оценить как обстоятельства, способствующие ухудшению газовой обстановки в выработках выемочного участка, т. е. возрастает загазирование рабочей зоны и, как следствие, вероятность возникновения аварии.

Таким образом комплексный анализ обстоятельств и причин аварий, связанных со взрывами пыли и газа при ведении горных работ (в том числе, по результатам расследования аварий), позволит установить наличие факторов, контроль и управление которыми затруднены. Своевременный учет подобных факторов на основе разработанных методов их прогноза существенно повысит аэрологическую безопасность горного производства.

Библиографический список

1. Айруни А. Т., Клебанов Ф. С., Смирнов О. В. Взрывоопасность угольных шахт. — М. : Горное дело, Киммерийский центр, 2011. Т. 9. Рудничная аэрология. Кн. 2. — 264 с.
2. Колесничико Е. А., Артемьев В. Б., Колесниченко И. Е. Внезапные выбросы метана: теоретические основы. — М. : Горное дело, Киммерийский центр, 2013. Т. 9. Рудничная аэрология. Кн. 6. — 232 с.
3. Костарев А. П. О предупреждении взрывов метана и пыли и снижении взрывоопасности шахт // Уголь. 2002. № 1. С. 56.
4. Качурин Н. М., Воробьев С. А., Качурин А. Н., Сарычева И. В. Прогноз метано-выделения в подготовительные и очистные забои угольных шахт // Обогащение руд. 2014. № 6. С. 16–19.
5. Палеев Д. Ю., Васенин И. М., Костеренко В. Н., Шрагер Э. Р., Крайнов А. Ю., Лукашов О. Ю., Руденко Ю. Ф. Ударные волны при взрывах в угольных шахтах. — М. : Горное дело, Киммерийский центр, 2011. Т. 6. Промышленная безопасность. Кн. 3. — 312 с.
6. Таразанов И. Г. Итоги работы угольной промышленности России за 2005–2014 годы // Уголь. 2005–2015.
7. Лебецки К. А., Романченко С. Б. Пылевая взрывоопасность горного производства. — М. : Горное дело, Киммерийский центр, 2012. Т. 6. Промышленная безопасность. Кн. 10. — 464 с.
8. Медведев А. Е. Методики оценки риска на угольных шахтах // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2009. № 8. С. 86–90.
9. Мурашев В. И., Тимошенко А. М., Сухоруков В. А. и др. К анализу техногенных аварий с катастрофическими последствиями, произошедших на предприятиях угольной промышленности России // Вестник НЦ по безопасности работ в угольной промышленности. 2010. № 1. С. 55–60.
10. Колесниченко Е. А., Колесниченко И. Е. Анализ причин и возможные методы предотвращения взрывов метана и пожаров в шахтах России // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2004. № 8. С. 130–137.
11. The Coalmining History Resource Centre : [официальный сайт]. URL: <http://www.cmhrc.co.uk/site/disasters/> (дата обращения 10.12.2015)
12. Modern American coal mining: methods and applications / Ed. by C. J. Bise. — Englewood, Colorado : SME, 2013. — 576 p.
13. Hartman H. L. Mine ventilation and air conditioning. — 3rd ed. — NY : John Wiley & Sons, 2012. — 752 p.
14. Lebecki K. A. Zagorenia pulowe w gornictwie. — Katowice : CYG, 2004 — 486 c.
15. Smirniakov V. V., Smirniakova V. V. Comprehensive Analysis and Assessment of the Role of Hard-to-Handle Factors in the Reasons of Methane and Coal Dust Explosions in Mines in Russia // Biosciences Biotechnology Research Asia. 2015. Vol. 12(1). P. 56–69.
16. Abbasi T., Abbasi S. A. Dust explosions — cases, causes, consequences and control // Journal of hazardous materials. 2007. Vol. 140. Iss. 1–2. P. 7–44.
17. Brune J. The methane-air explosion hazard within coal mine gobs // Mining engineering, 2014, No. 2, pp. 1–7. **DOI**

«GORNYI ZHURNAL»/«MINING JOURNAL», 2016, № 1, pp. 30–34
DOI: <http://dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.01.07>

Unhandy factors in statistics of accidental gas and dust explosions in coal mines in Russia

Information about author

V. V. Smirnyakov¹, Assistant Professor, Candidate of Engineering Sciences, smirnyakovvv@yandex.ru

V. V. Smirnyakova¹, Assistant Professor, Candidate of Engineering Sciences

¹ National Mineral Resources University (Mining University), Saint-Petersburg, Russia

Abstract

The article deals with the current problem of safety of personnel and operation in gas and dust explosion-hazardous coal mines.

The authors have carried out statistical and technical analyses using evidence of investigation into circumstances and causes of accidents due to gas and dust explosions in the recent 25 years in coal mines in Russia and other coal producing countries.

The research findings on natural, technical and organizational causes of the accidents show that there is a steady trend of stabilization in the number of such accidents. The authors think that the reason of this is the fact that aerological safety in coal mines is affected by factors that can be divided into adjustable and unhandy. The features to distinguish between the adjustable factors being conditioned by mining technology and the unhandy factors that are natural or of combined natural and induced character are presented. The review of investigation evidence, including details and development of gas and dust explosions, after-effect and inferences on causes of accidents, shows that additional accounting and classification of the unhandy factors in combinations with the other causes will allow more detailed assessment of explosion place, environment and structure of interaction between the unhandy factors, their development and nature, and will enable revealing the maximum number of disturbances.

Finally, it is concluded that enhancement of aerological safety of a mine is only possible with differential approach to the role of each groups of factors, including unhandy factors, capable to exert influence on initiation and development of an accident.

Having stated insufficient efficiency of gas explosion hazard control methods and means, the authors designate the objective of finding methods to determine, predict and record unhandy factors and features of their interaction with adjustable (controllable) factors.

Keywords: Coal mines, gas and dust explosions, statistical and technical analyses, number, accident types and places, technical and organizational factors, prediction and record-keeping, unhandy factors, structural bonds.

References

1. Ayruni A. T., Klebanov F. S., Smirnov O. V. Vzryvoopasnost ugolnykh shakht (Explosibility of coal mines). *Tom 9. Rudnichnaya aerologiya. Kniga 2* (Volume 9. Mine aerology. Book 2). Moscow : Gornoe delo, Kimmeriyskiy tsentr, 2011. 264 p.
2. Kolesnichiko E. A., Artemev V. B., Kolesnichenko I. E. Vnezapnye vybrosy metana: teoreticheskie osnovy (Sudden methane emissions: theoretical basis). *Tom 9. Rudnichnaya*

aerologiya. Kniga 6 (Volume 9. Mine aerology. Book 6). Moscow : Gornoe delo, Kimmeriyskiy tsentr, 2013. 232 p.

3. Kostarev A. P. O preduprezhdenii vzryvov metana i pyli i snizhenii vzryvoopasnosti shakht (About the prevention of methane and dust blasts and decreasing of mine explosibility). *Ugol = Russian coal*. 2002. No. 1. p. 56.
4. Kachurin N. M., Vorobev S. A., Kachurin A. N., Sarycheva I. V. Prognoz metanovydeleniya v podgotovitelnye i oчитstnye zaboи ugolnykh shakht (Predication of methane-emission rate in development and production faces of coal mines). *Obogashchenie Rud = Mineral processing*. 2014. No. 6. pp. 16–19.
5. Paleev D. Yu., Vasenin I. M., Kosterenko V. N., Shragер E. R., Kraynov A. Yu., Lukashov O. Yu., Rudenko Yu. F. Udarnye volny pri vzryvakh v ugolnykh shakhtakh (Blast waves during the blasts in coal mines). *Tom 6. Promyshlennaya bezopasnost. Kniga 3* (Volume 6. Industrial safety. Book 3). Moscow : Gornoe delo, Kimmeriyskiy tsentr, 2011. 312 p.
6. Tarazanov I. G. Itogi raboty ugolnoy promyshlennosti Rossii za 2005-2014 gody (Results of Russian coal industry work for 2005-2015). *Ugol = Russian coal*. 2005–2015.
7. Lebitski K. A., Romanchenko S. B. Pylevaya vzryvoopasnost gornogo proizvodstva (Dust explosibility of mining). *Tom 6. Promyshlennaya bezopasnost. Kniga 10* (Volume 6. Industrial safety. Book 10). Moscow : Gornoe delo, Kimmeriyskiy tsentr, 2012. 464 p.
8. Medvedev A. E. Metodiki otsenki riska na ugolnykh shakhtakh (Methods of risk assessment at coal mines). *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten = Mining informational-analytical bulletin*. 2009. No. 8. pp. 86–90.
9. Murashev V. I., Timoshenko A. M., Sukhorukov V. A. et al. K analizu tekhnogennykh aviariy s katastroficheskimi posledstviyami, proizoshedshikh na predpriyatiyakh ugolnoy promyshlennosti Rossii (To the analysis of technological accidents with catastrophic consequences on Russian coal industry enterprises). *Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugolnoy promyshlennosti = Bulletin of the science center of the safety of works in coal industry*. 2010. No. 1. pp. 55–60.
10. Kolesnichenko E. A., Kolesnichenko I. E. Analiz prichin i vmozozhnyye metody predotvrashcheniya vzryvov metana i pozharov v shakhtakh Rossii (Analysis of the reasons and possible methods of prelimitation of methane blasts and fires in Russian mines). *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten = Mining informational-analytical bulletin*. 2004. No. 8. pp. 130–137.
11. The Coalmining History Resource Centre. Available at: <http://www.cmhrc.co.uk/site/disasters/> (accessed: December 10, 2015)
12. Modern American coal mining: methods and applications. Edited by C. J. Bise. Englewood, Colorado : SME, 2013. 576 p.
13. Hartman H. L. Mine ventilation and air conditioning. Third edition. NY : John Wiley & Sons, 2012. 752 p.
14. Lebecki K. A. Zagorenia pulowe w gornictwie. Katowice : CYG, 2004. 486 p.
15. Smirniakov V. V., Smirniakova V. V. Comprehensive Analysis and Assessment of the Role of Hard-to-Handle Factors in the Reasons of Methane and Coal Dust Explosions in Mines in Russia. *Biosciences Biotechnology Research Asia*. 2015. Vol. 12(1). pp. 56–69.
16. Abbasi T., Abbasi S. A. Dust explosions – cases, causes, consequences and control. *Journal of hazardous materials*. 2007. Vol. 140, Iss. 1–2. pp. 7–44.
17. Brune J. The methane-air explosion hazard within coal mine gobs. *Mining engineering*. 2014. No. 2. pp. 1–7.