

# **ВЕСТНИК**

**Научного центра по безопасности работ  
в угольной промышленности**

**Научно-технический журнал**



**Кемерово**

**4-2018**

**ВЕСТНИК**  
**Научного центра**  
**по безопасности работ**  
**в угольной промышленности**  
**ISSN 2072-6554**

---

**№ 4-2018**

**Выходит 4 раза в год**

Подписной индекс  
в Каталоге Агентства  
«Роспечать» 2018 г. – 35939

---

**ЖУРНАЛ ЗАРЕГИСТРИРОВАН**

Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-71529 от 13.11.2017 г.

**ЖУРНАЛ ВКЛЮЧЕН**

в «Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук», сформированный ВАК при Минобрнауки России

**Учредитель и издатель**

**научно-технического журнала «Вестник...»:**

**Общество с ограниченной  
ответственностью «ВостЭКО»  
(ООО «ВостЭКО»)**

Адрес учредителя и издателя:

650002, Россия, Кемеровская область, г. Кемерово,  
Сосновый бульвар, дом 1, кабинет 415

Адрес редакции:

650002, Россия, Кемеровская область, г. Кемерово,  
Сосновый бульвар, дом 1

Редакторы: *М. В. Ярош, Л. С. Кузавкова,  
Д. А. Трубицына*

Компьютерная верстка *Д. А. Трубицына*

тел. 77-86-62, 64-26-51.

e-mail: yarosh\_mv@mail.ru

dtrubitsyna@gmail.com

[www.ind-saf.ru](http://www.ind-saf.ru)

---

Позиция редакции не всегда совпадает  
с точкой зрения авторов публикуемых материалов

---

В номере использованы материалы сайтов  
[www.lori.ru](http://www.lori.ru), [www.freemages.com](http://www.freemages.com), [www.unsplash.com](http://www.unsplash.com) и  
[www.graphicriver.net](http://www.graphicriver.net)

---

**16+**

© **ООО «ВостЭКО», 2018**

---

Адрес типографии:

650065, Россия, Кемеровская область, г. Кемерово, пр-т  
Октябрьский, 28 офис 215  
тел. 8 (3842) 657889. ООО «ИНТ».

**Главный редактор: Н. В. Трубицына**

**Редакционная коллегия:**

**Н. В. Трубицына** – главный редактор, заместитель  
директора по научной работе ООО «ВостЭКО»,  
д-р техн. наук

**А. С. Ярош** – заместитель главного редактора,  
генеральный директор АО «НИИГД», канд. техн.  
наук

**Д. В. Исламов** - депутат ГД ФС РФ, кандт. техн.  
наук

**А. А. Трубицын** – консультант по научной работе  
ООО «Горный-ЦОТ», НАО «НЦ ПБ», д-р техн. наук,  
проф.

**А. А. Васильев** – заведующий лабораторией  
ФГБУН «Институт гидродинамики им. М.А.  
Лаврентьева СО РАН», д-р физ.-мат. наук, проф.

**А. М. Брюханов** – директор Макеевского научно-  
исследовательского института по безопасности  
работ в горной промышленности (МакНИИ), д-р  
техн. наук

**В. И. Клишин** – директор Института угля  
Федерального исследовательского центра угля и  
углехимии СО РАН, чл.-корр. РАН, д-р техн. наук,  
проф.

**З. Р. Исмагилов** - директор Института углехимии  
и химического материаловедения Федерального  
исследовательского центра угля и углехимии СО  
РАН, чл.-корр. РАН, д-р хим. наук, проф.

**А. В. Шадрин** – ведущий научный сотрудник  
Института угля ФИЦ УУХ СО РАН, д-р техн. наук

**В. Г. Казанцев** – заведующий кафедрой «БТИ»  
(филиал) ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И.  
Ползунова», д-р техн. наук

**В. С. Зыков** – заместитель генерального директора  
АО «НЦ ВостНИИ», д-р техн. наук, проф.

**Д. А. Трубицына** – выпускающий редактор ООО  
«ВостЭКО»

**М. В. Ярош** – редактор ООО «ВостЭКО»

# INDUSTRIAL SAFETY

---

Scientific-technical magazine

Kemerovo

4 - 2018

# INDUSTRIAL SAFETY

## ISSN 2072-6554

№ 4-2018

Is issued 4 times a year

Subscription index  
in «Rospechat» Agency  
Catalogue: Year 2018 – 35939

### MAGAZINE IS REGISTERED

by the Federal Service for Supervision in the Sphere of Communications, Information Technologies and Mass Communications. Registration certificate of mass information means PI № FS77-71529 dated by 13.11.2017 г.

### THE MAGAZINE IS INCLUDED

into «The list of russian reviewed scientific magazines in which main scientific results of dissertations for scientific degrees of a doctor and a candidate of sciences must be published». The list is formed by Higher Attestation Commission of RF Ministry of Education and Science.

**Promoter and publisher of «Industrial Safety» scientific-technical magazine:**  
**Co Ltd «VostEKO»**

Address of the promoter and publisher:

650002, Russia, Kemerovskaja oblast, Kemerovo, Sosnovyi bd., 1, office 415

Address of the editors:

650002, Russia, Kemerovskaja oblast, Kemerovo, Sosnovyi bd., 1

Editors: *M.V. Yarosh, L.S. Kuzavkova, D.A. Trubitsyna*  
Computer layout *D.A. Trubitsyna*

Tel. 77-86-62, 64-26-51.

e-mail: yarosh\_mv@mail.ru  
dtrubitsyna@gmail.com

www.ind-saf.ru  
www.indsafe.ru

**The edition position not always coincides with the point of view of authors of published materials**

**In the issue of the magazine materials of sites**  
**www.lori.ru, www.freemages.com, www.unsplash.com**  
**and www.graphicriver.net are used**

**16+**

**© Co Ltd «VostEKO», 2018**

Address of the printing  
650065, Russia, Kemerovskaja oblast, Kemerovo, prosp.  
Oktyabrsky, 28 of. 215  
tel. 8 (3842) 657889.  
OOO «INT».

**Chief editor: N. V. Trubitsyna**

### Editorial board:

**N. V. Trubitsyna** – chief editor, deputy director for scientific work of OOO «VostEKO», doctor of technical sciences

**A. S. Yarosh** – deputy chief editor, CEO of PC “Scientific Research Mine Rescue Institute”, candidate of technical sciences

**D. V. Islamov** - deputy of the State Duma of the Federal Assembly of the Russian Federation, candidate of technical sciences

**A. A. Trubitsyn** - scientific work consultant, OOO "Gorny COT", NAO "NC PB", doctor of technical sciences, professor

**A. A. Vasil'ev** - Head of the Laboratory FGBUN "M.A. Lavrentyev Institute of Hydrodynamics SB of RAS, doctor of physical and mathematical sciences, professor

**A. M. Brjuhanov** - Director of Makeevka Research Institute for Mining Safety (MakNII), doctor of technical sciences

**V. I. Klishin** - director of the Institute of coal, Federal research center of coal and coal chemistry SB RAS, corresponding member of RAS, doctor of technical sciences, professor

**Z. R. Ismagilov** - director of the Institute of coal chemistry and materials chemistry, Federal research center of coal and coal chemistry SB RAS, corresponding member of RAS, doctor of chemical sciences, professor

**A. V. Shadrin** – Leading researcher of the Institute of Coal FIC UUH SB RAS, doctor of technical sciences

**V. G. Kazantsev** – chairman of «BTI» (branch) FGBOU VPO «AltGTU after I.I.Polzunov», doctor of technical sciences

**V. S. Zykov** – deputy general director JSC «ScC VostNII», doctor of technical sciences, professor

**D. A. Trubitsyna** – OOO «VostEKO» Commissioning Editor

**M. V. Yarosh** – OOO «VostEKO» editor



## Дорогие друзья, читатели «Вестника»!

Благодаря нашим общим усилиям популярность издания выросла. И один из признаков того – солидный редакционный «портфель». Скажу прямо, у нас есть своего рода конкуренция материалов. Это позволило актуализировать и разнообразить публикации. С каждым новым номером журнала под его обложками становится всё теснее и теснее новаторским идеям, концепциям и взглядам. И это радует. Это значит, что мы, дорогие наши партнёры и единомышленники, не стоим на месте, делаем лучше настоящее горнодобывающей отрасли и эффективно работаем на её будущее.

Говоря о редакционных планах, считаем, что нам вместе с авторским активом необходимо в 2019 году ещё больше сосредоточиться на инновационном и научно-прикладном характере публикаций. Этот тренд последнего времени усиливается из года в год и во многом обуславливает эффективность разрабатываемых и реализуемых проектов в области промышленной безопасности на угольных предприятиях. Он, по оценке авторитетных в отрасли экспертов, является основным фактором, влияющим на снижение производственного травматизма и гибели горняков. Это касается как шахт, так и разрезов.

Экологическая составляющая многих проектов говорит о нацеленности властей, научного сообщества и бизнес-структур на эффективное решение задач по сохранению природы и оздоровлению экологической обстановки в городах и населённых пунктах. Причём, очевидно, что интерес к проектам, рождённым в Кузбассе, сегодня проявляют во многих российских регионах. Это, без сомнения, результат того, что коллективы учёных, собственники и топ-менеджеры ведущих горнодобывающих объединений и компаний аккумулируют свой потенциал и вместе отвечают на ключевой запрос общества по решению конкретных задач в сфере промышленной безопасности и экологии. Тесное сотрудничество рождает инновационные технологии, позволяющие уверенно смотреть в будущее и приближать его.

До Нового года остаются считанные дни. Пусть он войдёт с радостью в наши дома, станет успешным и счастливым! В добрый путь по маршрутам 2019 года!



НЭЛЯ ТРУБИЦЫНА,  
главный редактор, д.т.н.



**С.Б. Романченко //**  
**S. B. Romanchenko**  
**romanchenkosb@mail.ru**

д-р техн. наук, доцент, ведущий научный сотрудник ФГБУ ВНИИПО МЧС России, Россия, 143903, Московская область, г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, д. 12  
doctor of technical sciences, assistant professor, leading researcher of FGBU VNIIPPO MChS of Russia, microdistrict 12, VNIIPPO, Balashikha, Moscow Region, 143903, Russia



**В. Н. Костеренко //**  
**V. N. Kosterenko**

канд. физ.-мат. наук, начальник управления противоаварийной устойчивости предприятий АО «СУЭК», Россия, 115054, г. Москва, ул. Дубининская, 53, стр. 7.  
candidate of physical and mathematical sciences, head of the enterprises emergency resistance department AO "SUEK", 53, bdg. 7, Dubininskaja St., Moscow, 115504, Russia

УДК 622.807

## ПОЛНОМАСШТАБНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗРЫВОВ УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ И КРИТЕРИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СРЕДСТВ ЛОКАЛИЗАЦИИ COAL DUST EXPLOSIONS FULL-SCALE RESEARCH AND LOCALIZATION MEANS EFFICIENCY CRITERIA

*В статье рассмотрена экспериментальная база действующих научных центров по проведению полномасштабных взрывов угольной пыли, приведены методы испытаний и условия проведения взрывов угольной пыли. Обобщены данные по средствам первичного инициирования взрывов, выявлены основные факторы, определяющие динамику ударной взрывной волны и фронта пламени взрыва. Приведены результаты экспериментального исследования сильных и слабых взрывов угольной пыли, обобщены их термодинамические параметры. На основании сопоставления экспериментальных данных, полученных в двух научных центрах, изложены требования к проведению испытаний методов и средств обеспечения пылевзрывобезопасности шахт, а также критерии эффективности средств предотвращения и локализации взрывов.*

*The article describes the experimental base of full-scale coal dust explosion conducting existing research centers, test methods and conditions for coal dust explosion conduct are shown.*

*The data on the explosion primary initiation means are generalized, the main factors determining the blast shock wave and the explosion flame front dynamics are revealed. The results of strong and weak coal dust explosions experimental study are presented, their thermodynamic parameters are generalized. On the basis of two research centers experimental data comparison the requirements for testing methods and means of mine dust and explosion safety provision are described, as well as explosion prevention and localization means effectiveness criteria.*

**Ключевые слова:** ВЗРЫВ, ФРОНТ ПЛАМЕНИ, УДАРНАЯ ВОЛНА, КОНЦЕНТРАЦИЯ ПЫЛИ, ПЫЛЕВАЯ ФРАКЦИЯ, ДИСПЕРСНЫЙ СОСТАВ, АЭРОЗОЛЬ, ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ШАХТА, ВЗРЫВНАЯ ГАЛЕРЕЯ, УРОВЕНЬ ЗАПЫЛЕННОСТИ, ИНИЦИАЛ, ДАВЛЕНИЕ, СКОРОСТЬ ПЛАМЕНИ, ЗОНА ГАШЕНИЯ

**Key words:** EXPLOSION, FLAME FRONT, A SHOCK WAVE, DUST CONCENTRATION, DUST FRACTION, PARTICULATE COMPOSITION, AEROSOL, EXPERIMENTAL MINE, BLAST GALLERY, DUSTINESS LEVEL, INITIAL, PRESSURE, FLAME VELOCITY, DAMPING AREA

**В**ведение  
Взрывы угольной пыли являются неизменными сопутствующими событиями для угледобычи, начиная с периода внедрения механического и взрывного разрушения горной массы. Первые систематизированные данные по ликвидации взрывов и горноспасательному делу опубликованы в Лейпциге в 1929 году [1]. Из них следует, что после резкого роста числа взрывов газа и пыли на рубеже XX века, горнодобывающая отрасль столкнулась с катастрофическими последствиями

взрыва пыли на негазовой шахте «Курьер» во Франции в 1906 году<sup>1</sup>. Тогда гибель 1099 горно-

<sup>1</sup> 10 марта 1906 г на руднике «Курьер» (Северная Франция) произошел один из самых грандиозных в истории человечества взрыв угольной пыли, в результате которого из 1664 горнорабочих, находившихся одновременно под землей, официально погибло 1099 человек. В состав рудника «Курьер» входило шесть шахт, горные выработки которых были сбиты между собой. Взрыв охватил выработки общей протяженностью более 120 км. На руднике разрабатывали три пласта угля с выходом летучих веществ 27,3-33,3 %. Следы метана в шахтах ни разу не были обнаружены.





Рисунок 1 – Спасательная акция на «Курьер»  
(фото из MiningWiki) и гравюра 1906г.  
Figure 1 - Rescue action on the "Curier"  
(photo from MiningWiki) and engraving 1906

рабочих<sup>2</sup> ознаменовала собой конец длительного периода бесплодных научных дискуссий на тему: «может ли угольная пыль взрываться при полном отсутствии метана».

В конце XX века общий прогресс технологий и совершенствование систем безопасности горного производства значительно снизил частоту взрывов угольной пыли, однако полностью исключить данное трагическое событие не удалось. Периоды различной длительности без взрывов в угледобывающих странах (например, для США с 1972 по 2010 годы, для Польши с 1987 по 2001 годы и т.д.) [2,3] характеризовались стечением ряда обстоятельств, при которых происходил взрыв угольной пыли как совместно с воспламенением метана, так и при практическом отсутствии  $CH_4$ .

Для шахт РФ в XXI веке сформировался феномен 3-х летнего цикла между крупными взрывами с участием угольной пыли: 2004, 2007, 2010, 2013 (ш. «Воркутинская», Воркута) и 2016 год (ш. «Северная», Воркута).

К главной причине продолжающихся взрывов пыли следует отнести рост удельных энергетических затрат на тонну разрушаемого угля, что приводит к резкому росту выхода пылевых фракций (0-1 мм) в товарном угле. Если в XX веке принималась цифра выхода пыли в угле на уровне 1-3% от добытой массы, то в настоящее время содержание пыли в разрушенном угле составляет 7-8% в лаве [4,5], на магистральных конвейерах фракция 0-1 составляет 13-16% и на выходе из шахты 21-22%.

Ко второй причине продолжающихся взрывов пыли в шахтах следует отнести недостаточную изученность взрывчатых свойств угольной пыли и непосредственно процессов взрыва.

<sup>2</sup> Спасательная операция впервые в истории вынужденно носила международный масштаб. Участвовавшие в горноспасательных работах немецкие подразделения дают число погибших 1230 человек [1].

Объем исследований в данной сфере снижается, полученный ранее объем знаний устаревает. Примером этому могут служить устаревшие сведения о граничной влажности пыли, исключаяющей ее участие во взрывах (взрывы с порядковыми номерами № 3553; № 3605 КД «Барбара» и др. [2,3,4]). Также необходимо отметить экспериментально подтвержденные факты взрыва для угольной пыли с  $V^{daf} < 11,5\%$ , при котором было достигнуто детонационное горение пыли в штреке (скорость пламени – до 2000 м/с) [2]. Исследования ВНИИПО последнего периода на термогравиметрических анализаторах (вместо определения  $V^{daf}$  по стандартной процедуре в муфельной печи) выявили ряд существенных отличий, объясняющих различие в протекании взрывов для углей с различным содержанием  $V^{daf}$ . Были получены новые данные по составу газов, выделяющихся при термодеструкции угля [8]. Взрывчатые свойства угольной пыли и динамику взрывов необходимо изучать на принципиально новой научной базе XXI века.

К третьей «главной» причине взрывов, подтвержденной международными аудитами промышленной безопасности шахт, следует отнести применение устаревших методов и норм в области пылевзрывобезопасности, а также внедрение недостаточно апробированных (и зачастую не имеющих зарубежных аналогов) систем квази-взрывозащиты, оказывающих в лучшем случае нулевое влияние на безопасность горного производства. В настоящей публикации изложены основные методы и условия проведения полномасштабных взрывных испытаний, понимание технологии которых необходимо при допуске новых средств и систем предотвращения взрывов.

1. Обзор экспериментальной базы для полномасштабных взрывных экспериментов (LST)

Для исследования динамики взрывов угольной пыли применяются три основных метода:

- экспериментальное моделирование хода взрыва в штреках с максимальным приближением к шахтным условиям. Такие исследования называются Large Scale Tests или LST исследования. Для их проведения необходимы штреки экспериментальных шахт, в которых величина сечения и её форма, элементы крепления и ряд других параметров подобны шахтным условиям. Наличие системы пересекающихся выработок<sup>3</sup>

<sup>3</sup> Штольни или галереи на поверхности не полностью соответствуют шахтным условиям: они не имеют сопряжений с

является фактором, существенно приближающим условия эксперимента к реальным условиям (рис. 2);

- исследования параметров взрывов в лабораторных взрывных камерах (рис. 3), термометрические исследования динамики выхода и состава летучих веществ, электронно-микроскопические исследования частиц и ряд других лабораторных исследований. Достоинством лабораторных установок является возможность быстрого повторения опытов и их низкая стоимость. Лабораторные установки пригодны для установления характеристик взрывчатости пылей и поствзрывные исследования при установлении факта участия пыли во взрыве. Недостатками являются существенные отличия в физике развития взрыва и ограничение диапазона исследований начальной фазой взрыва;

- компьютерное моделирование процессов взрывов, которое должно было быстро заменить дорогие исследования в больших масштабах и которое не всегда оправдывает оптимистические прогнозы. Сдерживающим фактором является сложность процессов описания взрывов, необходимость введения в расчеты большого количества зависимостей, критериев подобия, параметров и коэффициентов, достоверное определение которых возможно только в процессе натурных экспериментов.

С учетом того, что компьютерное моделирование взрывов является направлением, полностью зависимым от объема экспериментальных данных, роль натурального эксперимента в области исследований взрывов трудно переоценить.

Необходимо отметить существенную разницу физики взрыва в лабораторных взрывных камерах (рис. 1) и взрыва в разветвленной сети горных выработок: взрыв в камере протекает в условиях постоянного и ограниченного объема<sup>4</sup>, а взрыв в условиях подземных выработок хотя и происходит в ограниченном объеме подземного пространства, однако не ограничивается жесткими границами, имеющимися в камере.

Опытные штреки и штольни служат для

другими выработками. Площадь поперечного сечения для труб ( $\varnothing 2-2,5$  м) существенно ниже.

<sup>4</sup> Изохорный (или изохорический) процесс изменения состояния термодинамической системы при постоянном объеме ( $V = \text{const}$ ). Для таких процессов давление прямо пропорционально температуре и, соответственно, рост температуры в камере вследствие реакции горения, приведет к пропорциональному приросту статического давления газа. Ударная волна в камерах, по указанным причинам, не формируется и не может быть исследована.

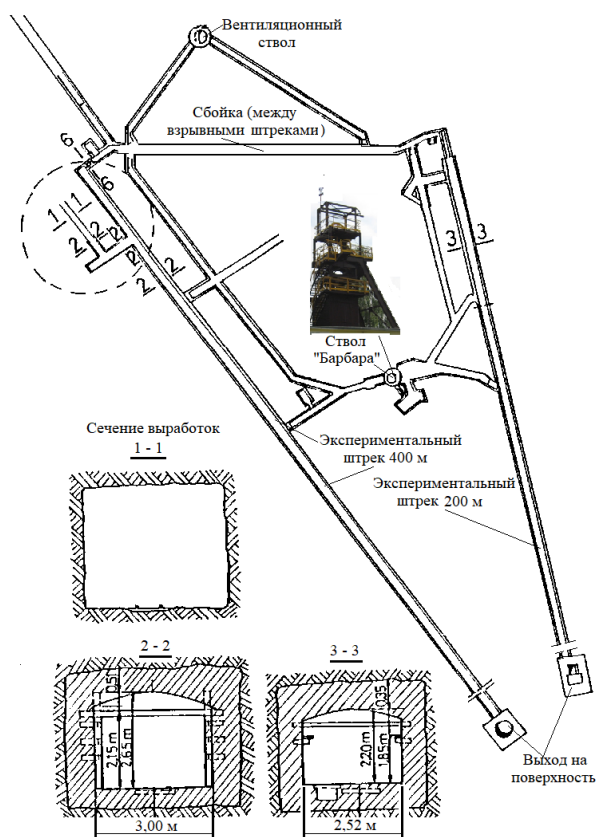


Рисунок 2 – Схема выработок исследовательской шахты «Барбара» (КД «Барбара»)   
 Figure 2 - Experimental mine "Barbara" (KD "Barbara") workings diagram

исследования протекания взрывов в большом масштабе. Эти исследования являются дорогостоящими, требуют больших финансовых, трудовых и временных затрат. Только масса пыли с определенным дисперсным и вещественным составом для одного опыта составляет несколько сот килограммов. Каждый взрыв наносит разрушения, и опытную выработку необходимо восстановить и очистить от осевших частиц предыдущего опыта. Весьма дорогостоящими являются системы регистрации протекания взрывов, основанные на высокоскоростных датчиках, а также компьютерные системы сбора и обработки данных. Высокая стоимость поддержания экспериментальных шахт привела к тому, что на протяжении периода научной деятельности одного поколения прекратили свою работу исследовательские шахты Брюстон (Bruceton) и Лэйк Линн (Lake Linn) в США (используются как туристические объекты), шахта «Тремония» (Германия), полностью утрачен экспериментальный потенциал научных центров бывшего СССР. С учетом этого в последние десятилетия значительно снизилось число реально действующих научных центров для LST исследований.

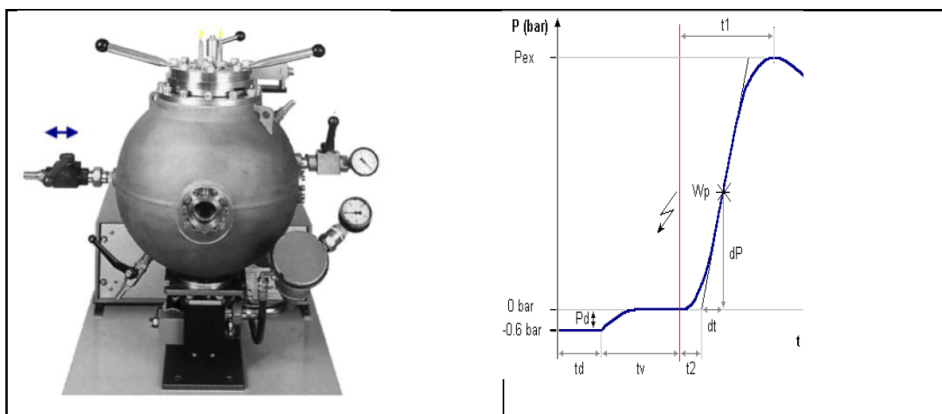


Рисунок 3 – Сферическая взрывная камера объемом 20 дм<sup>3</sup> (Adolf Kühner AG, Швейцария)  
Figure 3 - 20 dm<sup>3</sup> spherical blasting chamber (Adolf Kühner AG, Switzerland)

Из наиболее известных экспериментальных объектов действующих в настоящее время необходимо отметить опытную шахту «Барбара» (далее – КД «Барбара»), организационно входящую в состав Главного института горного дела (Катовице, Польша). Схема горных выработок, задействованных для экспериментальных целей, приведены на рисунке 2. Общий вид исторической части шахты «Барбара» представлен на рисунке 4.

Для исследований взрывов КД «Барбара» имеет ряд крупных объектов, лабораторные и опытные установки:

- сеть подземных горных выработок с исследовательскими опытными штреками длиной 200 и 400 м (рис. 2). При этом штрек длиной 400 м и сечением 7,4 м<sup>2</sup> (гор.-46 м) является основным, в нем проведены наиболее значимые для науки эксперименты;

- штольня длиной 100 м и сечением 3 м<sup>2</sup> в виде стальной трубы диаметром 2 м<sup>2</sup>;

- наземные галереи длиной от 20 до 44 м с компьютерным блоком управления для исследований начальных стадий взрывов и тестирова-



Рисунок 4 – Главный ствол исследовательской шахты «Барбара»  
Figure 4 - Experimental mine "Barbara" main shaft

ния серийных взрывчатых материалов. Галерея 44 м является относительно новым объектом, построенным после 2007 года и имеет максимальное число датчиков для фиксации параметров взрывов.

Все объекты для исследования взрывов как подземные, так и поверхностные контролируются из единого диспетчерского центра. Иницирование взрыва происходит непосредственно после аварийного сигнала, т.е. после включения системы взрывающей запал инициатора взрыва. Электрический импульс, взрывающий запал, фиксирует начало взрыва на оси времени.

В основном 400 метровом исследовательском штреке КД «Барбара» начальные 34 м предназначены для инициации взрыва [2,3]. Кроме этого, взрыв может иницироваться в области, выделенной круглым пунктиром (рис. 2), где имеется вход в сбойку длиной 11 м, по которой имеется проход в параллельный штрек. Длина параллельного штрека составляет 54 м, а сечение 7,5 м<sup>2</sup>. Участок, обозначенный на рисунке 2 кружком, образует сеть выработок, которые являются аналогом сопряжение лавы со штреком.

В экспериментальных штреках находятся детекторы пламени и давления. Базовая система регистрации параметров взрывов состоит из 22 фототранзисторов - датчиков пламени и 15 датчиков давления. Схема измерительной системы показана на рисунке 5.

Аналоговые сигналы от датчиков измерительной системы преобразуются в цифровые данные и накапливаются в памяти компьютера. При нагрузке всех измерительных каналов проводится регистрация процессов на протяжении 2,5 с и циклом опроса датчиков 1 мс.

Система замера изменений статического давления во время взрыва состоит из восьми пьезорезисторных датчиков с диапазоном из-



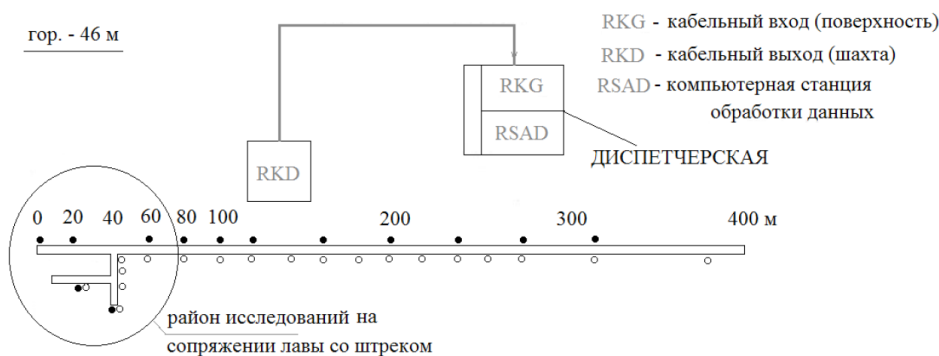


Рисунок 5 – Схема измерений скорости пламени и давления взрыва в исследовательском штреке длиной 400м (КД «Барбара»)

Figure 5 - Flame speed and explosion pressure measurements diagram in a 400 m research gallery (KD "Barbara")

мерений до 1 МПа, а также нескольких датчиков с повышенным диапазоном измерений (до 2 МПа). По длине штрека установлено 12 точек контроля, в которых устанавливается нужный тип датчика для каждого эксперимента.

Кроме датчиков замера давления, в 400 м штольне имеется система замера времени подхода пламени, которая состоит из 18 датчиков пламени, смонтированных по правому борту главного штрека, а также 4 датчиков в параллельном штреке.

С момента инициирования взрыва на экране компьютера вырисовываются графики динамики во времени измеряемых параметров. Окончательно все данные переносятся в память компьютера, что дает возможность их дальнейшей программной обработки.

Другим часто используемым объектом в КД «Барбара» для исследований взрывов в большом масштабе является штольня длиной 100 м и сечением 3 м<sup>2</sup> в виде стальной трубы диаметром 2 м. На рисунке 6 приведена также 44 метровая исследовательская поверхностная

галерея КД «Барбара» с блоком управления и регистрации данных.

Число взрывных экспериментов, выполненных в штреках и штольнях КД «Барбара», достаточно велико (до 10000 суммарно), для доступных по литературным источникам данных [2,3,4]: в 400-метровом штреке – 1450 взрывов; в 200-метровом штреке – 4800 и в 100-метровой штольне 2850 взрывных эксперимента.

Характерные результаты исследований LST взрывов в КД «Барбара» приведены далее в разделах данной статьи.

Вторым действующим в настоящее время научным центром по исследованию динамики взрывов угольной пыли, определению отдельных параметров взрывов и эффективности средств их локализации является экспериментальный центр CSIR (Совет по научным и промышленным исследованиям - CSIR) в г. Клопперсбосе, ЮАР (рис. 7, 8).

Галерея CSIR длиной 200 м и диаметром 2,5 м изготовлена из стального прокатного профиля толщиной 20 мм, закрыта с одного конца и



Рисунок 6 – Взрывная галерея КД «Барбара», длина - 44м (слева - центр управления; справа - открытый выход в атмосферу и шумо-пламегасители)

Figure 6 - KD "Barbara" explosion gallery length - 44m (on the left - the control center; on the right - open air outlet and noise-flame arresters)



Рисунок 7 – Общий вид 200 метровой испытательной галереи CSIR, ЮАР (вид со стороны открытого в атмосферу портала; фото CSIR)

Figure 7 - General view of the 200-meter test gallery CSIR, South Africa (view from the atmosphere open portal; photo CSIR)



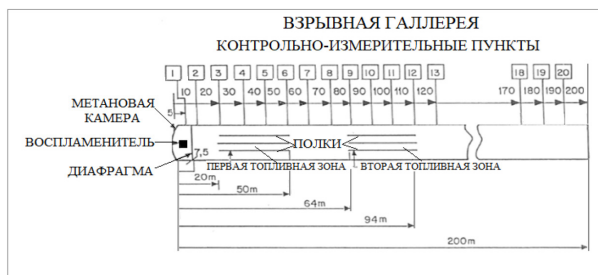


Рисунок 8 – Компоновка инициирующей камеры, «топливных» зон и контрольно-измерительной аппаратуры в исследовательской галерее CSIR, ЮАР [9]  
 Figure 8 - Initiating chamber, "fuel" zones and control instrumentation layout in the CSIR research gallery, South Africa [9]

открыта с другого для выхода продуктов взрыва в атмосферу. На закрытом конце формируется метановая камера объемом 36 м<sup>3</sup> путем монтажа полиэтиленовой перегородки на расстоянии 7,5 м от закрытого конца (рис. 8). Внутри камеры создается близкая к стехиометрической смесь метана с воздухом, взрыв метана инициируется химическим воспламенителем [9].

Контрольно-измерительные пункты устанавливаются через каждые 10 м вдоль галереи. Внутри галереи имеются стальные сетчатые стеллажи, расположенные на расстоянии от 20 м до 50 м от закрытого конца и образующие первую топливную зону (далее – «зона №1»). Совместно с метановой камерой зона №1 является областью взрывного горения. Еще один ряд стеллажей, расположенных на расстоянии от 64 м до 94 м от закрытого конца галереи, образует вторую «топливную» зону (в данной зоне также размещаются испытуемые средства гашения пламени, далее – «зона №2»).

Зоны №1 и №2 являются отдельными участками галереи, где угольная пыль размещается на полках либо на почве для проведения взрывных испытаний. При испытаниях средств локализации и гашения взрыва, в первой зоне располагается угольная взрывчатая пыль, а в зоне № 2 – испытываемые средства инертизации (совместно с определенным количеством угольной пыли).

Относительно небольшое расстояние (14 метров) между областью горения (метановая камера и зона № 1) до мест испытания взрыво-локализирующих средств (зона № 2) не всегда позволяет сформироваться взрывной волне. Так, по данным КД «Барбара», требуется не менее 100 м штрека для «разгона» взрыва, что согласуется с длиной современных очистных забоев 240-350 м, в которых локализация взрывов не может быть размещена, и взрыв может получить

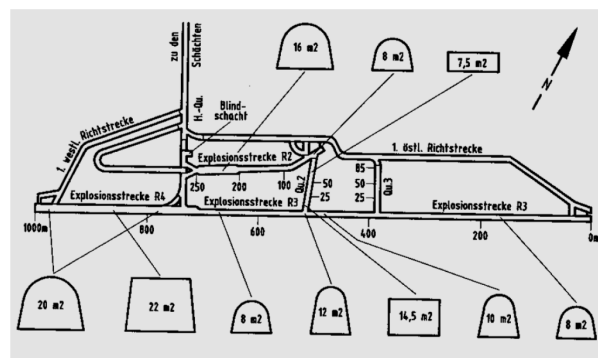


Рисунок 9 – Исследовательские выработки шахты «Тремония» и их сечения  
 Figure 9 - Research workings of the Tremonia mine and their crosssections

существенное развитие по давлению и скорости пламени.

На физическом уровне испытательные галереи представляют собой модель полуоткрытой цилиндрической трубы с гладкими внутренними стенками. Ударная взрывная волна и фронт пламени имеют возможность распространения только в одном направлении - к открытому концу. В шахтах условия, близкие к полуоткрытой трубе, наблюдаются только в тупиковой части проходческого забоя до места пересечения с системой горных выработок. Поэтому исследования на базе трубы диаметром 2-2,5 м моделируют только ограниченные условия движения взрыва в одном направлении и на прямолинейных участках.

Кроме рассмотренных выше действующих экспериментальных штреков и галерей, имеются исследовательские шахты и штреки в состоянии консервации. В США большой объем работ проводился на экспериментальных шахтах и штольнях под руководством Горного Бюро (Bureau of Mines), к которым отнесены экспериментальная шахта Брюстон (Bruceton) и исследовательская шахта Лэйк Линн (Lake Linn), в которой схема экспериментальных штреков ориентирована на камерную систему добычи угля.

Исследования взрывов в шахте Брюстон проводились в первой половине прошлого века (с 1910 г), с 1968 года взрывы в шахте Брюстон не проводились, а выполнялись исследования в области рудничной вентиляции. В настоящее время научные исследования в шахтах Bruceton и Lake Linn не проводятся, шахты используются в целях обучения и демонстрационных целях.

В Германии большой вклад в проведении полномасштабных исследований внесла шахта «Тремония» (Дортмунд, Германия), закрытая для проведения исследований с 1996 года. Сеть горных исследовательских выработок шахты

Таблица 1. Обобщенные параметры экспериментальных шахт, штолен и галерей  
Table 1. Generalized parameters of experimental mines, adits and galleries

Экспериментальная шахта, город, страна	Объект	Длина, м	Сечение, м <sup>2</sup>	Гидравлический диаметр, м	Примечание
«Барбара» Катовице, Польша	Штрек	400 200	7,5	2,9	Действует
	Галерея	44 100	3	2	
CSIR, ЮАР	Галерея	200	4,9	2,5	Действует
«Брюстон» Питтсбург, США	Шахта	Камерная система	н/д	н/д	Используются для обучения
«Лэйк Линн», США	Шахта	Камерная система	н/д	н/д	
«Тремения» Дортмунд, Германия	Шахта, штрек	700	8	3	Не действует
«Гранит», НИИГД, Донецк, Украина	Три штольни	800 / 300	9,5	3,2	На консервации

«Тремения» [7] приведена на рисунке 11. Взрывы исследовались в штреке длиной 700 м, имевшем площадь поперечного сечения 8 м<sup>2</sup> (штрек R3 на рис. 9).

Обобщенные параметры рассмотренных экспериментальных шахт, штолен и галерей приведены в таблице 1.

2. Результаты полномасштабных (LST) исследований взрывов

Для проведения экспериментов необходимы следующие этапы подготовки:

Подготовка значительных объемов<sup>5</sup> угольной пыли с заданными параметрами (выход летучих веществ, зольность, влажность, дисперсный состав).

Размещение угольной пыли. Важную роль здесь играет как длина запыленной части штрека, так и размещение пыли в пределах сечения выработки. Размещение пыли у кровли либо на почве изменяет процесс перевода пыли в аэрозольное состояние и существенно влияет на условия протекания взрыва.

Подготовка инициала для воспламенения пыли. Для этого применяют непосредственные инициалы на основе пороха, метановые инициалы (объемом 4–50 м<sup>3</sup>) или пылевые инициалы, в которых для создания мощных взрывов в зоне инициации, кроме метана, размещается не-

сколько килограммов тонкодисперсной угольной пыли.

Инициация взрыва с одновременным запуском регистрирующей аппаратуры.

Обработка результатов экспериментов, получение и информативное представление полученных зависимостей.

Восстановление возможных разрушений в экспериментальном штреке.

Определение необходимой мощности инициала взрыва в LST экспериментах – один из главных факторов, определяющих дальнейшее протекание химической реакции дефлаграционного или детонационного горения. При этом однозначного определения «мощности» инициала исследователями не представлено, и понятие «мощности» используется при подготовке взрывов как интуитивное. Можно говорить, что данный инициал является более слабым или более сильным, но только на основе практического опыта исследователей.

Влияние мощности инициала на дальнейший процесс протекания взрыва продемонстрировано на сопоставительном графике 2-х взрывов в исследовательском штреке длиной 400 м КД «Барбара» [3,4] (рис. 10: 1 - с мощным инициалом; 2 – с относительно слабым).

В первом случае (кривая 1, рис. 10) взрыв инициировался 50м<sup>3</sup> стехиометрической метано-воздушной смеси, воспламененной 750 граммами черного пороха. Второй взрыв с инициалом 4 м<sup>3</sup> метана имел значительно меньшую ско-

<sup>5</sup> Для взрыва на КД «Барбара», приведенного на рисунке 10 потребовалось около 1,5 тонн пыли с диаметром частиц до 75 мкм.

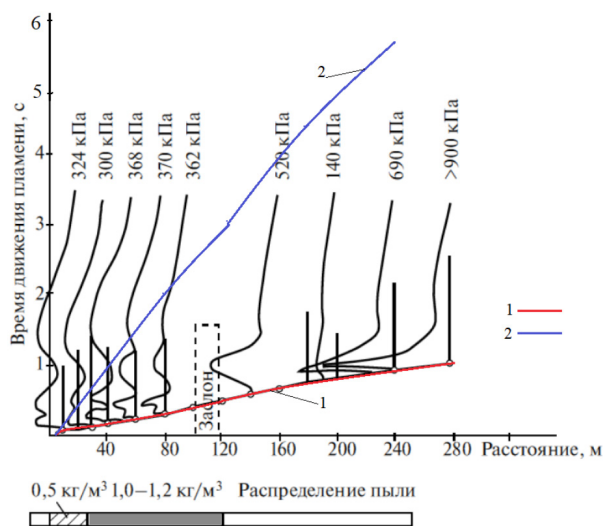


Рисунок 10 – Сопоставление параметров взрывов пыли при различной мощности инициала:

1 – инициал 50 м³ метана-воздушной смеси (МВС);  
2 - инициал 4 м³ МВС

Figure 10 -Comparison of dust explosion parameters with different initial power:

1 - 50 m³ of methane-air mixture (MAM) initial;  
2 - 4 m³ of MAM initial

рость пламени и избыточное давление, поэтому кривая 2 (рис. 10), отражающая время движения фронта пламени до указанных точек контроля проходит существенно выше кривой 1. На расстоянии 240 м от источника воспламенения скорость фронта пламени для первого взрыва составила 500 м/с, а максимальное статическое давление 690 кПа. Во втором случае скорость пламени на расстоянии 240 м была в 12 раз меньше (40 м/с), а давление - около 16 кПа. В обоих случаях использована образцовая пыль «Барбара» одинакового дисперсного состава с выходом летучих веществ 41% , зольностью 14% и влажностью 6-7% [3].

Сопоставление максимального давления УВВ на различном расстоянии от места инициации для рассмотренных на рисунке 10 взрывов приведено в таблице 2.

Как видно из рисунка 10 и таблицы 2, мощность первоначальной инициации реакции

горения оказывает существенное влияние на дальнейшее протекание взрыва угольной пыли. С учетом этого на шахте «Барбара» были установлены три основные группы инициалов:

- непосредственные инициалы на основе взрыва пороха (750 г);
- метановые инициалы, в которых взрывчатая метановоздушная смесь создается у закрытого конца выработки, смесь ограждается и удерживается до взрыва оболочкой (преградой). Объем МВС для распространенных инициалов – от 4 до 50 м³;
- пылевые инициалы, в котором взрывчатое вещество (в проведенных опытах - порох) в количестве 750 г помещается в цилиндрическом стальном блоке, имитирующем взрывную скважину. Рядом с открытым выходом из стального блока размещается угольная пыль, которая при взрыве пороха переходит в аэрозоль и возгорается. В пылевые инициалах применяется тонкая пыль (PII) или пыль средней крупности (PI).

В ряде случаев происходит замена пороха определенным объемом метана, что указывается в начальной части типа инициала (4mPII; 30mPII и т.д.).

Обобщенные параметры взрывов [3,4], показывающие роль инициала взрыва на его дальнейшее протекание, приведены в таблице 3.

В исследовательском центре CSIR (ЮАР) при экспериментах постоянно используется только метановый инициал с объемом стехиометрической смеси 36 м³, поджигание метана производится с использованием воспламенителя мощностью 5 кДж. Это позволяет проводить эксперименты только с постоянной начальной скоростью протекания химической реакции горения и взрыва, вариация возможных условий не проводится.

После инициала взрыва, оказывающего существенное влияние на его дальнейшее протекание, следует отметить влияние факторов размещения пыли в экспериментальном штре-

Таблица 2. Сопоставление параметров взрывов с различными инициалами  
Table 2. Various initial explosion parameters comparison

Номер взрыва	Максимальное статическое давление кПа, на расстоянии от источника взрыва:							
	20 м	40 м	60 м	80 м	160 м	200 м	240 м	280 м
1	324	368	370	362	520	140*	690	>690
2	17	23	20	27	8	15	16	18

\* – снижение давления после взрыволокализирующего заслона

Таблица 3. Величина статического давления и скорости нарастания давления для типичных инициалов взрыва угольной пыли

Table 3. The value of static pressure and pressure rise rate for typical coal dust explosion initials

Тип инициала	Среднее давление, кПа	Максимальное давление, кПа	$(dP/dt)_{sr}$ кПа/с	$(dP/dt)_{max}$ кПа/с
4 mPII	88	150	150	250
30mPII	128,5	175	411	1117
25 м <sup>3</sup> СН <sub>4</sub>	52	75	95	100
50 м <sup>3</sup> СН <sub>4</sub>	120,5	240	370	940
100 м <sup>3</sup> СР <sub>4</sub>	168	240	370	940

ке: длина зоны пыли<sup>6</sup>, размещение пыли по сечению (у кровли, на почве), а также величина концентрации пыли, размещаемой в исследовательском штреке.

Длина областей размещения пыли может состоять из одной зоны или двух зон (до заслона и после заслона). Минимальная длина зоны пыли для проведенных в 200 и 400 метровых штреках взрывов составила 110 м, максимальная – 400 м.

Из практических соображений длина пылевой зоны (не менее 110 м), по длине которой распространяется взрыв без применения средств инертизации, соответствует 30-50% длины очистного забоя. Поэтому распределение пыли и контроль параметров взрыва на удалении 110 - 350 м позволяет проводить экспериментальную проверку условий формирования взрыва в выемочных участках, где в пределах лавы применимо только увлажнение пыли и товарного угля.

На физическом уровне указанные расстояния (не менее 110 м) позволяют получить сформировавшийся взрыв с явно выраженным фронтом давления и фронтом пламени. Экспериментально установлено, что переход от мощного пожара к взрыву (то есть факт полноценного формирования взрыва) происходит при наличии резкого скачка давления (в течении 5-7 миллисекунд) при прохождении ударной волны. На рисунке 11 приведены результаты измерения статического давления в 12 точках контроля на расстояниях от 20 до 400 м от начала штрека. На расстоянии 20-120 м датчики фиксировали синусоидальное (постепенное) нарастание и падение давления (кривая 1-5, рис. 11). Резкий

скачок избыточного давления от 0 до 717 кПа зафиксирован на удалении 160 м (кривая 6, рис. 11). В дальнейших точках (кривые 7-12) пиковый рост давления сохранялся.

Как правило, величина избыточного статического давления для сформировавшихся мощных взрывов превышает 200-350 кПа, взрывы с избыточным давлением от 10-40 кПа до 200 кПа относят к слабым [2,3,4].

Концентрация пыли в штреке и длина области размещения пыли («зона пыли») представляются на графиках, и для результатов эксперимента на рисунке 10 они составили от 500 до 1200 г/м<sup>3</sup> (нижний фрагмент рис. 10), а для распространенных марок углей, определяемых в лабораторных условиях НПВ, составляют 22-70 г/м<sup>3</sup>. На основании опыта в КД «Барбара» установлено, что при размещении в штреке угольной пыли в концентрации, близкой к лабораторному НПВ, взрыв пыли практически не происходит. В работах [2,3,4] отмечено, что минимальной концентрацией пыли в выработке шахты «Барбара», при которой зафиксирован слабый взрыв пыли, следует считать концентрацию 50 г/м<sup>3</sup> – граничная экспериментальная концентрация пыли,

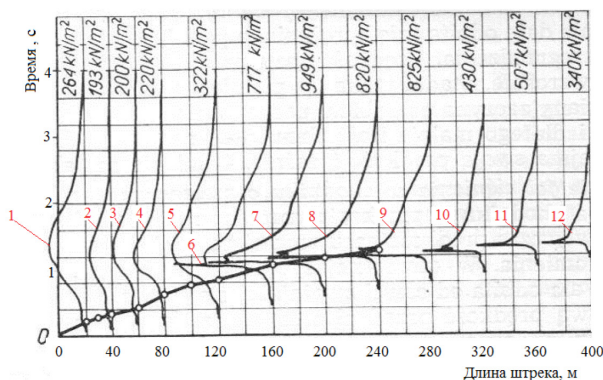


Рисунок 11 – Протекание волны давления в точках контроля (взрыв № 952)  
Figure 11 - Pressure wave passing at control points (explosion No. 952)

<sup>6</sup> Длина штрека, на котором размещается пыль, европейскими исследователями названа «зона пыли» или по терминологии центра CSIR в г. Клопперсбосе (ЮАР) - «зона горения».



способная переносить взрыв в выработке. При этой концентрации ( $50 \text{ г/м}^3$ ) взрывы пыли происходили не всегда. Поэтому в экспериментальных шахтах применяются концентрации пыли, значительно превосходящие лабораторные НПВ.

Значения концентраций пыли для полномасштабных взрывных экспериментов приведены в работах [2,3,4] находятся в пределах  $76-1125 \text{ г/м}^3$  с максимальным значением  $1500-2000 \text{ г/м}^3$  (взрывы на КД «Барбара» с порядковыми номерами 558, 565, 2010, 2011, 2030 и др.).

В динамике распространения взрыва значительную роль играет ударная взрывная волна (УВВ), опережающая фронт пламени, приводящая к росту температуры и плотности среды. Исследования термохимической сущности переноса взрыва в пылевом аэрозоле позволили сделать вывод, что первичным параметром (аргументом) является скорость пламени ( $W_p$ ), скорость УВВ ( $W_{УВВ}$ ) является зависимым показателем, то есть  $W_{УВВ} = F(W_p)$ . Экспериментальные данные [2] по соотношению скорости пламени  $W_p$  и скорости УВВ приведены в таблице 4.

Одним из основных отличий экспериментальной шахты (рис. 2) от экспериментальных галерей (рис. 8) является возможность одновременного изучения распространения взрыва в двух направлениях (двунаправленные взрывы). Для условий КД «Барбара» исследованы:

- взрывы, где инициал располагался посередине 400-метрового штрека, и исследовалась динамика показателей скорости пламени и статического давления в 2-х направлениях: 1- к тупиковому забою; 2 - в направлении выхода в

атмосферу. На рисунке 5 место расположения инициала для двунаправленных взрывов обозначено цифрой 200. Данный вид двунаправленного взрыва позволил достичь детонационного горения угольной пыли при приближении пламени к тупиковой части [2,3,4] во взрыве №1497. Максимальная скорость пламени достигла  $1875 - 2000 \text{ м/с}$  по показаниям различных типов датчиков, скорость пламени в параллельном тупиковом забое (рис. 5, участок обведен кругом) составила  $1600 \text{ м/с}$ . В данном эксперименте датчики регистрации статического давления, рассчитанные на максимальное значение  $2 \text{ МПа}$ , вышли из строя. По показателям разрушений металлических конструкций статическое давление в направлении тупиковой части выработки составило не менее  $4,1 \text{ МПа}$ ;

- взрывы, в которых инициал располагался в сбойке, и исследовалась динамика показателей взрыва одновременно по двум штрекам: по 400-метровому штреку в направлении выхода в атмосферу (направление 1) и 200 метровому штреку (направление 2). Исходя из схемы выработок (рис. 2) суммарная длина двух исследовательских штреков и сбойки составляет  $740 \text{ м}$ . Характерный вид динамики двунаправленных взрывов приведен на рисунке 12. Аналогичные исследования проведены для мест сопряжения выработок, где УВВ изменяет направление движения под различными углами («излом выработок» - рис. 13).

Двунаправленные взрывы в трубах и галереях, как правило, не исследуются.

В галерее CSIR (ЮАР), где инициал взры-

Таблица 4. Термодинамические параметры сильных взрывов угольной пыли [2]

Table 4. Thermodynamic parameters of heavy coal dust explosions [2]

№	$W_p$ , м/с	$W_{УВВ}$ , м/с	Максимальное статическое давление ( $P_{ст}$ ), кПа		Прирост температуры ( $\Delta T$ ), °С	Плотность среды УВВ ( $\rho$ ), кг/м <sup>3</sup>
			диапазон	среднее		
1	260	500	55 - 380	220	90,6	2,22
2	333	550	110- 595	281	140	2,53
3	401	600	226	226	171	2,82
4	465	650	190-680	420	204	3,10
5	528	700	272 - 462	380	240	3,37
6	590	750	н/д	н/д	277	3,62
7	650	800	490 - 550	520	317	3,86
8	780	850	350 - 384	370	360	4,08
9	879	1000	880	880	497	4,66
10	990	1100	н/д	н/д	603	4,97
11	1099	1200	н/д	н/д	720	5,24
12	2000	2000	860-4100	>1000	1638	12,30

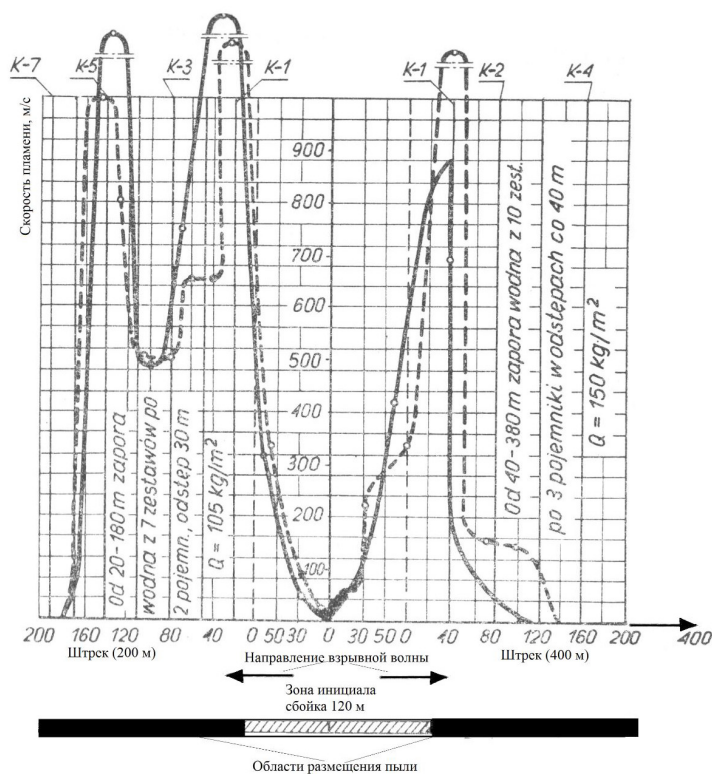


Рисунок 12 – Динамика двунаправленного взрыва (взрыв №900, КД «Барбара» [2])  
 Figure 12 - Bidirectional explosion dynamics (explosion No. 900, KD "Barbara" [2])

ва (метановая камера и воспламенитель) расположен в тупиковой части трубы, исследуются только односторонние взрывы (рис. 8) по направлению к выходу в атмосферу. Так, в испытательном центре проведены сравнительные испытания эффективности продукта Wright Material Mix (WMX) - вспененной инертной пыли, созданной с целью подавления взрывов угольной пыли [9]. По программе испытаний проведено сравнение результатов 12-ти испытаний с использованием продукта WMX и двумя испытаниями с использованием сухой инертной пыли. Два дополнительных испытания с использованием только угля в первой топливной зоне определили исходный уровень распространения пламени в отсутствии инертного материала. По терминологии центра CSIR взрывы делятся на «слабые» или «мощные», а также «одинарные» и «двойные»:

- слабый взрыв достигается при нанесении угольной пыли на почву галереи. Мощный взрыв достигается за счет нанесения угольной пыли полках;

- одинарным называется взрыв, при котором угольная пыль размещается только в зоне №1 (рисунок 8), двойной взрыв – при размещении угольной пыли в обеих топливных зонах (от 20 до 94-го метров галереи с разрывом длиной 14 м между зонами).

Конструктивные особенности галереи и

принятые критерии определения эффективности средств требуют проведения следующих работ:

1. Исходные испытания (одиночный слабый и одиночный мощный взрывы). В исходных испытаниях 35 кг угольной пыли размещается только в зоне №1 (рис. 8). Дальше зоны №1 (после 50-го метра галереи) горючих веществ нет и испытания проводятся для измерения расстояния самозатухания фронта пламени. Фактически измеряется дальность шлейфа пламени  $S_{уsx}$ . Максимально зафиксированное статическое давление таких взрывов при испытании WMX – 101 кПа.

2. Сопоставительные испытания (один мощный и один слабый взрывы), при которых в зоне №1 располагается угольная пыль (35 кг), а во второй зоне – смесь 35 кг угольной и сланцевой пыли в достаточной для предотвращения взрыва концентрации (по методике CSIR). Контролируются также дальности шлейфов пламени для данных экспериментов  $S_{ун,n}$ .

3. Проводятся серии (2 серии по 6 взрывов) мощных и слабых взрывов, в которых в зоне №1 располагается угольная пыль, а во второй зоне – смесь угольной пыли с новым инертизирующим продуктом WMX. Определяется дальность шлейфа пламени  $S_{wmx}$ . Для мощных (по классификации CSIR) взрывов максимально



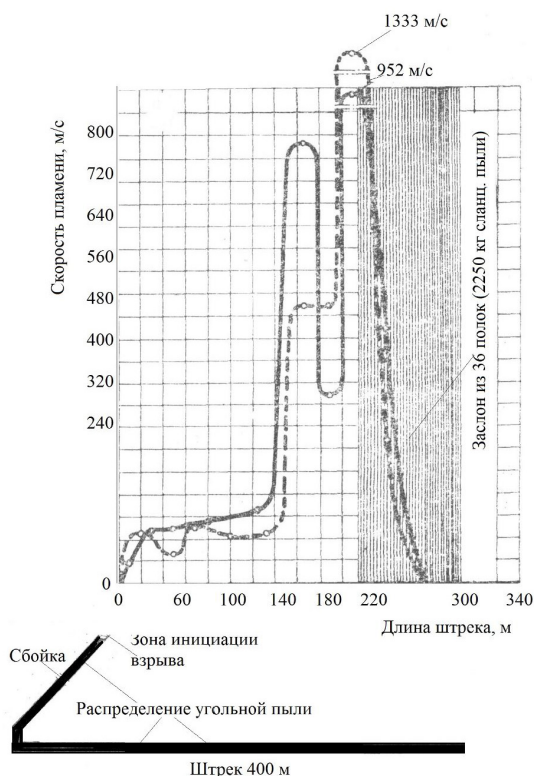


Рисунок 13 – Протекание взрыва №483 КД «Барбара» [2]  
Figure 13 - Explosion number 483 KD "Barbara" [2] passing

зафиксированное статическое давление при испытании WMX – 112 кПа, для слабых – 90 кПа.

Нужно отметить, что по классификации КД «Барбара» проведенные в галерее CSIR испытания имеют близкий к мощному инициал (36 м<sup>3</sup> метановоздушной смеси), однако незначительная длина зон с расположением угольной пыли (зона №1 - 30 метров) и незначительное расстояние 14 м от окончания зоны №1 до места размещения испытываемого средства WMX не позволяют взрыву достичь параметров развития, близких к шахтным значениям. Все взрывы в галерее CSIR при испытаниях вспененной инертной пыли имели избыточное давление, характерное для слабых взрывов.

Опыты в галерее CSIR считаются положительными, (т.е. доказывається необходимая эффективность испытываемого продукта WMX), если пламя останавливается не далее, чем расстояние, которое проходило пламя при одиночном слабом или одиночном мощном исходном взрыве и при двух сопоставительных взрывах с использованием «традиционной» сланцевой пыли. По мнению CSIR, это доказывает, «что угольная пыль во второй топливной зоне не участвовала во взрыве» [9].

По версии CSIR результаты испытаний продукта WMX (твердеющая смесь вспененной инертной пыли) показали схожие характери-

ки по критерию дальности распространения пламени при сравнении с сухой инертной пылью [9]. Во время большинства испытаний фронт пламени, образующийся при взрыве угольной пыли в результате взрыва метана, затухал примерно через 120 м [9]. При этом «мощный» исходный взрыв угольной пыли, при котором уголь присутствовал только в первой топливной зоне, показал дальность распространения фронта пламени на 180 м. Слабый исходный взрыв угольной пыли, при котором уголь также присутствовал только в первой топливной зоне, показал дальность распространения фронта пламени на 130 м. Непосредственно вспененная инертная пыль была нанесена в зоне №2 (с 64 по 94 метры внутри галереи, рис. 8). Таким образом, зона гашения пламени должна была бы находиться внутри зоны №2 с 64-го до 94-го метра галереи. Сотрудников CSIR не смутил тот факт, что в 100% опытных взрывах (как при «сильных», так и при «слабых») пламя проходило всю зону с нанесенным огнегасительным материалом, и в случае наличия отложений угольной пыли (после 95-го метра) взрыв достаточно быстро мог возобновиться.

Для сопоставления необходимо рассмотреть ход аналогичных испытаний средств гашения фронта пламени на КД «Барбара» (рис. 13-15).

В первом случае (рис. 13) полное гашение пламени происходит внутри зоны размещения испытываемого средства. Для приведенного взрыва № 483 исследовался сланцевый заслон из 36 полок с загрузкой 2250 кг инертной пыли (при пересчете на сечение выработки 300 кг/м<sup>2</sup>). Заслон был с 220-го по 300-й метры штрека (зона гашения). Внутри зоны гашения произошло падение скорости пламени с 1333 м/с на входе (220-й метр штрека) до нуля на 270-м метре штрека. При полном гашении пламени внутри зоны гашения (т.е. при фиксации нулевой скорости пламени  $W_n=0$ ) факт эффективности испытываемого средства является абсолютно доказанным, что подтверждено датчиками, расположенными далее до конца штрека. Ни один из них пламя дальше зоны гашения не зафиксировал. Необходимо отметить, что взрыв № 483 по классификации КД «Барбара» отнесен к «очень сильным». Аналогичные результаты получены как для сильных, так и слабых взрывов с полным гашением фронта пламени (взрывы № 236, № 72, № 222 и др.).

Для корректности сопоставления с результатами испытаний в галерее CSIR авторами подготовлены сопоставимые по мощности при-

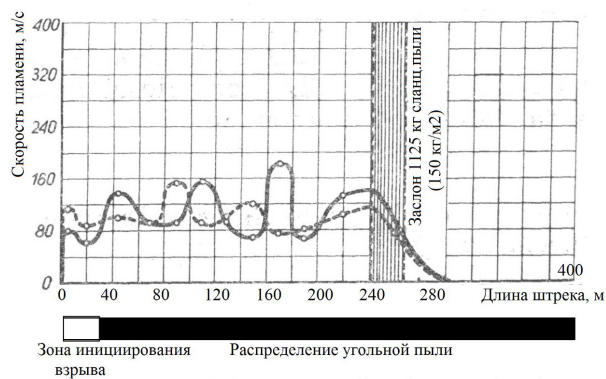


Рисунок 14 – Протекание взрыва №60 КД «Барбара» [2]  
Figure 14 - Explosion number 60 KD "Barbara" [2] passing

меры гашения слабых взрывов на КД «Барбара» (рис. 14, рис. 15).

Для условий слабого взрыва № 60 (рис. 14) угольная пыль содержала высокий процент негорючих составляющих (зола, добавка сланцевой пыли, влажность), суммарно составивших 67,5 %. Этого было недостаточно для предотвращения воспламенения пылевого аэрозоля, и до зоны гашения взрыв имел скорость пламени от 70 до 150 м/с с избыточным статическим давлением во фронте УВВ до 100 кПа (как и в рассмотренных испытаниях в галерее CSIR). В зоне гашения (10 полок со сланцевой пылью из расчета 150 кг/м<sup>2</sup>) произошло резкое снижение скорости пламени со 150 до 50 м/с и снижение давления до 55 кПа. Несмотря на то что полного гашения пламени в зоне со сланцевым заслоном (с 240-го по 260-й метры штрека) не произошло, цепная химическая реакция горения угольного аэрозоля затухла на 300-м метре штрека.

Вместе с этим для взрыва на рисунке 15 в слабом взрыве при прохождении зоны гашения (заслон с 100-го по 110-й метры штрека) произошло только сокращение скорости пламени без полного гашения пламени. Далее при наличии угольной пыли на выходе из зоны гашения взрыв получил значительное развитие по скорости пламени, статическому и динамическому давлению. Скорость пламени за зоной гашения резко возросла до 650 м/с.

Таким образом, при испытаниях вспененной инертной пыли в галерее CSIR (ЮАР) нельзя однозначно трактовать результаты испытаний как положительные. Для полного подтверждения эффективности необходим либо факт полного гашения пламени в зоне расположения испытуемого средства WMX (аналогично примеру на рис. 13), либо подтверждение перевода горящего угольного аэрозоля в самозатухающее состо-

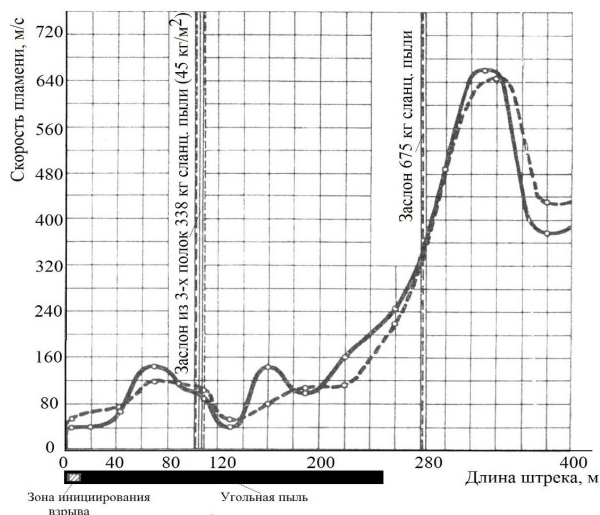


Рисунок 15 – Протекание взрыва №131 КД «Барбара» [2]  
Figure 15 - Explosion number 131 KD "Barbara" [2] passing

яние (пример на рис. 14), что могло достигаться размещением чистой угольной пыли на 96-200-м метрах галереи CSIR. Однако последнее сделано не было. В галерее CSIR вполне вероятно дальнейшее развитие взрыва при соблюдении условий, представленных на рисунке 15.

Кроме этого, критерий эффективности, основанный на сопоставлении дальности распространения пламени в различных опытах, не является бесспорным по математическим и физическим соображениям. На математическом уровне расстояние распространения пламени  $S$  ( $S_{у.п.}$ ,  $S_{у.п.}$  или  $S_{wmx}$  для различных опытов) определяется:

$$S = W_n \cdot t. \quad (1)$$

Где  $W_n$  - скорость пламени, м/с;

$t$  – время выгорания летучих веществ из угольного аэрозоля, сформированного в зоне 1, с.

С учетом (1) факт снижения величины дальности распространения пламени ( $S_{wmx} < S_{у.п.}$  или  $S_{wmx} < S_{у.п.}$ ) может быть достигнут за счет уменьшения скорости пламени  $W_n$ , или за счет уменьшения времени существования пламени  $t$  (во втором случае – это гашение пламени). Нанесение на стенки галереи пористого материала толщиной 6-12 мм снижает диаметр трубы и вместе с ростом шероховатости покрытия создает местное аэродинамическое сопротивление. В этом случае на участке размещения вспененной инертной пыли возрастает масштаб турбулентности, поток воздуха тормозится в продольном направлении, что, вероятнее всего, и приводит к некоторому торможению фронта пламени. То есть снижается величина  $W_n$  и, как следствие, уменьшается величина  $S$  из вы-

ражения (1). В качестве альтернативного примера можно рекомендовать установку местного аэродинамического сопротивления в зоне № 2 галереи (установить металлические пластины без перекрытия сечения галереи), это также приведет к снижению величины  $W_d$  и  $S$  без эффекта гашения пламени. Поэтому единственным безусловным критерием для оценки пламегасящих свойств испытуемого средства локализации взрыва пыли (WМХ) может быть только факт полного гашения пламени взрыва в пределах зоны гашения (зоны размещения пламегасящего материала) или создании условий аналогичных эксперименту на рисунке 14.

#### Выводы

Проведение полномасштабных исследовательских взрывов в штольнях или шахтах (Large Scale Tests - LST) является достаточно трудоемкой и дорогостоящей операцией. Кроме непосредственно экспериментального полигона, необходим полный набор исследовательского оборудования для подготовки эксперимента (инициал, пыль, определение параметров пыли до опыта и после взрыва), системы высокоскоростной фиксации параметров взрывов, а также компьютеризированной системы обработки полученных данных.

Испытания в галереях имеют ограниченную область применения и не позволяют в полной мере смоделировать взрыв в разветвленной сети горных выработок. Поверхностные галереи представляют собой модель полуоткрытой цилиндрической трубы с гладкими внутренними стенками. Ударная взрывная волна и фронт пламени имеют возможность распространения только в одном направлении - к открытому концу. Поэтому исследования на базе трубы диаметром 2-2,5 м моделируют только ограниченные условия движения взрыва в одном направлении и на прямолинейных участках.

К основным факторам, оказывающим существенное влияние на динамику взрыва, относятся мощность инициала, длину пылевой зоны,

характер размещения пыли по сечению (у кровли, на почве), а также величину концентрации пыли, ее зольность и дисперсный состав.

Длина областей размещения пыли может состоять из одной или двух зон (до заслона и после заслона). Минимальная длина зоны пыли для проведенных в 200 и 400 метровых штреках взрывов составила 110 м, максимальная – 400 м. Аналогичный показатель для исследовательской галереи – 30 или 60 м, что позволяет получать в области испытаний противовзрывных средств относительно слабые взрывы с относительно невысоким (до 110 кПа) статическим давлением.

При наличии пыли в исследовательских штреках так же, как и в горных выработках, содержащей до 67,5 - 75% негорючих веществ, (суммарно – зола, добавка инертной пыли и влага) происходит рост давления взрыва и скорости пламени вдоль штрека. Эти процессы не учитываются в упрощенных программных средствах ориентированных только на один вид зависимости – монотонного убывания давления по длине штрека за счет сил трения.

Полноценные испытания средств локализации взрывов должны проводиться для условий максимально учитывающих возможные ситуации в угольных шахтах. Испытания необходимо проводить как для «слабых», так и для «сильных» взрывов, создающих различные временные и технологические ограничения для срабатывания систем пылевзрывозащиты.

Безусловным критерием эффективности средств локализации взрыва является факт полного гашения фронта пламени в зоне размещения огнетушащего средства (рис. 13). Сопоставительные критерии по уменьшению шлейфа пламени, описанные в рамках данной статьи, не полностью моделируют спектр возможных условий в шахтах, не исключают экспериментально доказанной возможности возобновления взрывного горения (рис. 15) и требуют корректировки с учетом опыта европейских научных центров.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Handbuch des Grubenrettungswessens (Справочник по горноспасательному делу т.1). Von Oberberggrat ing. G.Ryba/ b.1.: Leipzig: Verlag Arthur Felix, 1929. - 302 p.
2. Cybulski W. Wybuchy pyłu weglowego i ich zwalczanie. Katowice, Wydaw. "Slask", 1973.- 451 с.
3. Lebecki K. Zagrozenia pyłowe w górnictwie. Katowice: Główny Instytut Górnictwa, 2004.- 399 с.
4. Лебецкий К.А., Романченко С.Б. Пылевая взрывоопасность горного производства. М.: Горное дело, 2012. 464 с.
5. Романченко С.Б., Руденко Ю.Ф., Костеренко В.Н. Пылевая динамика в угольных шахтах. М.: Изд-во «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2011. 256с.
6. Нецепляев М.И., Любимова А.И., Петрухин П.М.. Борьба со взрывами угольной пыли в шахтах. М.: Недра, 1992. 298 с.
7. Michelis J. Explosionsschutz im Bergbau unter Tage. Essen, Verlag Glueckauf GmbH., 1998. – 637р.
8. Романченко С.Б., Гендлер С.Г., Тимченко А.Н., Костеренко В.Н. Экспериментальные и теоретические исследо-



- вания взрывоопасных рудничных аэрозолей // ГИАБ. 2017. специальный выпуск № 5-1. С. 181-190.  
 9. Испытания продукта Wright Mix O2 ARD / Журнал Coal Age (США). июль-август 2018. (на русском)

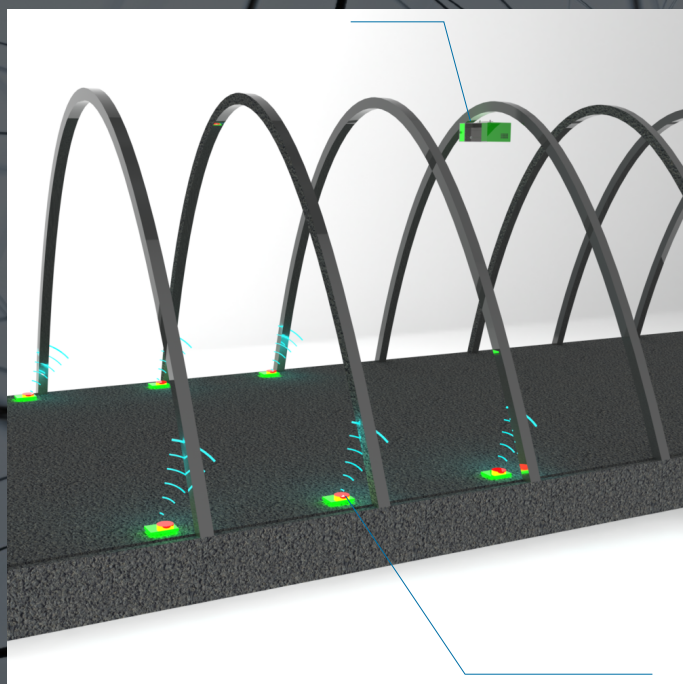
**REFERENCES**

1. Ryba, G. (1929). *Handbuch des Grubenrettungswessens Leipzig: Verlag Arthur Felix* [in German].
2. Cybulski, W. (1973). *Wybuchy pyłu węglowego i ich zwalczanie*. Katowice, Wydaw. "Ślask" [in Polish].
3. Lebecki, K. (2004). *Zagrożenia pyłowe w górnictwie*. Katowice: Główny Instytut Górnictwa [in Polish].
4. Lebecki, K.A., Romanchenko, S.B. (2012). *Pylevaia vzryvoopasnost gornogo proizvodstva [Dust explosion hazard of mining]*. Moscow: Gornoie delo [in Russian].
5. Romanchenko, S.B., Rudenko, Yu.F., & Kosterenko, V.N. (2011). *Pylevaia dinamika v ugolnykh shakhtakh [Dust dynamics in coal mines]*. Moscow: Gornoie delo [in Russian].
6. Netsepliaev, M.I., Liubimova, A.I., & Petrukhin, P.M. (1992). *Borba so vzryvami ugolnoi pyli v shakhtakh [Coal dust explosion control in mines]*. Moscow: Nedra [in Russian].
7. Michelis, J. (1998). *Explosionsschutz im Bergbau unter Tage*. Essen, Verlag Glueckauf GmbH [in German].
8. Romanchenko, S.B., Gendler, S.G., Timchenko, A.N., & Kosterenko, V.N. (2017). Eksperimentalnyie i teoreticheskiie issledovaniia vzryvoopasnykh rudnichnykh aerozolei [Experimental and theoretical studies of explosive mine aerosols]. *GIAB special edition, 5-1*, 181-190 [in Russian].
9. Ispytaniia produkta Wright Mix O2 ARD [Product Wright Mix O2 ARD test]. *Coal Age Magazine, July-August 2018* [in Russian].

# МОНИТОРИНГ НА НОВОМ УРОВНЕ

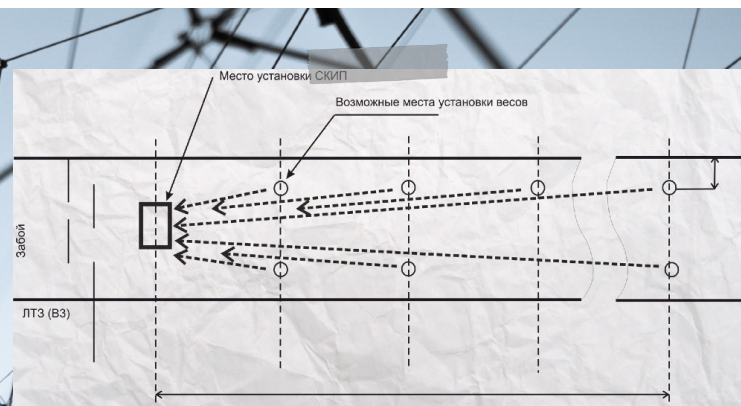
*Интеллектуальная система непрерывного автоматического контроля пылеотложений в горных выработках*

СКИП с модулем сбора информации и системой оценки пылеотложения с использованием нейросети



ООО "ГОРНЫЙ-ЦОТ"  
INDSAFE.RU

весы с радиоканалом для передачи данных в головное устройство (СКИП)



# I. ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ГЕОМЕХАНИКА

## I. INDUSTRIAL SAFETY AND GEOMECHANICS



■ **А. В. Шадрин // A. V. Shadrin**  
avsh-357@mail.ru

д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник ФГБУН «ФИЦ УУХ СО РАН», Россия, 650065, г. Кемерово, Ленинградский проспект, 10  
doctor of technical sciences, leading scientific researcher of Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 10, Leningradsky Av., Kemerovo, 650065, Russia



■ **А. А. Контримас // A. A. Kontrimas**  
kontrimas@mail.ru

аспирант ФГБУН «ФИЦ УУХ СО РАН», Россия, 650065, г. Кемерово, Ленинградский проспект, 10  
postgraduate student of Coal and Coal Chemistry Federal Research Center Institute of Coal, Russian Academy of Sciences Siberian Branch, 10, Leningradsky Av., Kemerovo, 650065, Russia



■ **Ю. А. Дюк // Yu. A. Diuk**  
juliabireva@gmail.com

аспирант ФГБУН «ФИЦ УУХ СО РАН», Россия, 650065, г. Кемерово, Ленинградский проспект, 10  
postgraduate student of Coal and Coal Chemistry Federal Research Center Institute of Coal, Russian Academy of Sciences Siberian Branch, 10, Leningradsky Av., Kemerovo, 650065, Russia

УДК 622.831.322

### УСТАНОВЛЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СВЯЗИ МЕЖДУ КРИТЕРИЯМИ ВЫБРОСООПАСНОСТИ СПЕКТРАЛЬНО-АКУСТИЧЕСКОГО И ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО МЕТОДОВ ТЕКУЩЕГО ПРОГНОЗА ВЫБРОСООПАСНОСТИ

### FUNCTIONAL RELATIONSHIP ESTABLISHMENT BETWEEN THE OUTBURST HAZARD CRITERIA OF SPECTRAL-ACOUSTIC AND INSTRUMENTAL METHODS OF CURRENT OUTBURST FORECAST

*Анализируются инструментальные и геофизические методы текущего прогноза выбросоопасности угольных пластов. Показано, что инструментальные методы имеют научно-обоснованные критерии выбросоопасности, однако характеризуются периодичностью выполнения, большой продолжительностью и необходимостью остановки горных работ на время их выполнения. Геофизические методы осуществляются непрерывно, не мешают ведению горных работ, но не имеют достаточного научного обоснования.*

*Установлено, что известные варианты исполнения наиболее достоверного геофизического спектрально-акустического метода текущего прогноза выбросоопасности, реализованные в аппаратуре типа АК-1 и САКСМ, имеют существенные недостатки, основными из которых являются не использование всего спектра шумов работающего горного оборудования и отсутствие методики определения критического значения показателя выбросоопасности.*

*Предложен и обоснован вариант исполнения спектрально-акустического метода, основанный на зависимости медианы амплитудно-частотной характеристики шумов работающего горного оборудования (комбайна, струга, буровой штанги, отбойного молотка) от напряженного состояния призабойного пространства, использующий практически весь спектр шумов.*

*Установлена функциональная связь критических значений показателей выбросоопасности спектрально-акустического и инструментального методов прогноза выбросоопасности по начальной скорости газовыделения и выходу буровой мелочи.*



На основании установленной связи разработана Методика определения критического значения показателя и критерия выбросоопасности спектрально-акустического метода с помощью инструментального метода прогноза.

*Instrumental and geophysical methods of coal seam outburst hazard current forecast are analyzed. It is shown that instrumental methods have scientifically based criteria for outburst hazard, however, they are characterized by periodicity of execution, long duration and the need to stop mining at the time of their execution. Geophysical methods are carried out continuously, do not interfere with mining, but do not have sufficient scientific substantiation.*

*It has been established that the known versions of the most reliable geophysical spectral-acoustic method of the current forecast of outburst hazard implemented in AK-1 and SAKSM instruments have significant drawbacks, the main ones are not using the whole noise spectrum of the working mining equipment and the lack of a method for determining the outburst hazard indicator critical value.*

*A variant of the spectral-acoustic method is proposed and justified, based on the dependence of the median amplitude-frequency characteristic of operating mining equipment (combine, shearer, drill rod, jackhammer) on the stress state of the face area, using almost the entire noise spectrum.*

*A functional relationship has been established between the critical values of the outburst hazard indicators of the spectral-acoustic and instrumental outburst hazard forecasting methods through the initial gas emission rate and the drill fines output.*

*On the basis of the established connection, a methodology was developed for determining the indicator critical value and the spectral-acoustic method outburst hazard criterion using the instrumental forecast method.*

**Ключевые слова:** ПРОГНОЗ ВЫБРОСООПАСНОСТИ, ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ И ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ, ФАКТОРЫ ВЫБРОСООПАСНОСТИ, КРИТЕРИИ ВЫБРОСООПАСНОСТИ

**Key words:** OUTBURST HAZARD FORECAST, INSTRUMENTAL AND GEOPHYSICAL METHODS, FACTORS OF OUTBURST HAZARD, OUTBURST HAZARD CRITERIA

**В**ведение  
Для прогноза выбросоопасности применяются так называемые инструментальные и геофизические методы прогноза.

Первые основаны на периодическом непосредственном измерении физических параметров призабойного пространства газонасыщенного угольного массива, определяющих выбросоопасность, на основании которых рассчитывается по известному алгоритму показатель опасности. Эти методы обладают высокой достоверностью прогноза, т.к. основаны на хорошем научном обосновании критерия опасности, включающем статистическую обработку большого объема экспериментальной информации, полученной в забоях выработок до и после внезапного выброса. Однако они характеризуются большой продолжительностью, сдерживающей темпы ведения горных работ.

Геофизические методы основаны на опосредованном измерении физических величин, характеризующих выбросоопасность. Это возможно благодаря тому, что существуют функциональные связи между измеряемыми неразрушающими методами величинами и параметрами призабойного пространства, определяющими выбросоопасность. Данные методы практически не мешают ведению горных работ, осуществляют мониторинг выбросоопасности непрерывно.

Однако для них пока не разработаны критерии выбросоопасности для основных угольных бассейнов страны.

Цель настоящей работы – установить функциональную связь между критериями выбросоопасности спектрально-акустического, являющегося в настоящее время наиболее научно обоснованным геофизическим методом, и инструментального методов текущего прогноза выбросоопасности. Это позволит оперативно определить критерий выбросоопасности геофизического метода по результатам сравнения данных о прогнозе спектрально-акустическим и инструментальными методами, выполненными одновременно в одном и том же забое.

### 1. Сущность спектрально-акустического и инструментального методов прогноза динамических явлений

Анализ признаков выбросоопасности угольных пластов, зарегистрированных перед этим явлением в призабойном пространстве, а также известных моделей потери устойчивости горного массива при протекании этого явления свидетельствует о том, что основными факторами, определяющими выбросоопасность, являются напряженное состояние призабойного пространства, внутрипластовое давление свободного газа и прочность угля [1, 2]. Поэтому известные способы прогноза выбросоопасности



основаны на контроле одного или нескольких этих факторов.

Для прогноза выбросоопасности по этим факторам первоначально были разработаны так называемые инструментальные методы прогноза. Они основывались на анализе реакции призабойного пространства впереди выработки на бурение разведочных скважин (шпуров) по наиболее выбросоопасной угольной пачке [3]. Наибольшую достоверность из инструментальных имеет способ текущего прогноза выбросоопасности угольных пластов по начальной скорости газовыделения и выходу буровой мелочи из скважин. Способ основан на контроле основных факторов выбросоопасности: начальная скорость газовыделения контролирует газовый фактор, а выход буровой мелочи – напряженное состояние и прочность угля.

В соответствии с этим методом критерий выбросоопасности для угольных шахт России описывается следующим выражением [3]:

$$R = (S_{max} - 1.8)(g_{max} - a) - b = 0, \quad (1)$$

где  $R$  – безразмерный показатель выбросоопасности;  $S_{max}$  – максимальное значение выхода буровой мелочи с интервала контроля, л/м;  $g_{max}$  – максимальное значение начальной скорости газовыделения, л/мин·м;  $a = 5$  – для Воркутинского месторождения;  $a = 4$  – для остальных бассейнов и месторождений восточных районов России;  $b = 21$  – для Воркутинского месторождения;  $b = 6$  – для остальных бассейнов и месторождений восточных районов России.

При  $R \geq 0$  зона пласта относится к выбросоопасной.

Однако этот метод не является непрерывным, требует остановки ведения горных работ, достаточно трудоемок и продолжителен. Поэтому желательно применять оперативный геофизический неразрушающий метод контроля (без бурения контрольных скважин или шпуров для оценки параметров, определяющих выбросоопасность).

Одним из таких методов является спектрально-акустический, основанный на анализе спектрального состава шумов работающего горного оборудования, прошедших контролируемую зону призабойного пространства. (В действующих в настоящее время нормативных документах этот метод называется «по параметрам искусственного акустического сигнала» [3]).

Метод основан на том, что при приближении выработки к зоне повышенных напряжений амплитуды высокочастотных составляющих спектра шумов работающего горного оборудования возрастали сильнее, чем амплитуды

низкочастотных составляющих. Поэтому их отношение было определено как коэффициент относительных напряжений [4].

В процессе разработки, испытаний и эксплуатации спектрально-акустического метода было предложено несколько вариантов алгоритма расчета коэффициента относительных напряжений. Рассмотрим их подробнее.

## 2. Варианты исполнения спектрально-акустического метода

В настоящее время известны два варианта исполнения этого метода, различающихся подходом к определению рабочих частот [4].

Первый реализуется аппаратурой АК-1 (или ее модификацией АК-1М) и заключается в разбиении рабочего частотного диапазона, определяемого техническими характеристиками используемого геофона и лежащего в пределах 20-1500 Гц и более, на поддиапазоны низких и высоких частот. Разбиение осуществляется с помощью фильтров нижних и верхних частот.

Так, например, нормативным документом при использовании аппаратуры АК-1 или АК-1М регламентируется провести оценочные разведочные наблюдения для выбора частот среза фильтров высоких частот (ФВЧ) на одно из трех значений: 600, 800 или 1000 Гц, и частот среза фильтров низких частот (ФНЧ) на одно из трех значений: 160, 200 или 300 Гц [5]. (См. рис. 1).

Недостаток этого подхода состоит в следующем [4, 6-7].

1. Не используются спектральные составляющие акустического сигнала, лежащие между частотами среза ФВЧ и ФНЧ. Поэтому если изменение напряженного состояния горного мас-

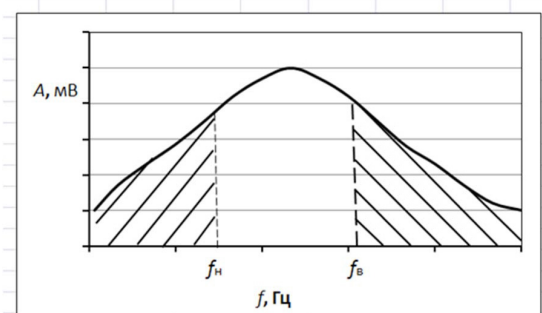


Рисунок 1 – Выбор низкочастотной и высокочастотной областей спектра акустического сигнала для определения показателя опасности проявления динамического явления аппаратурой АК-1:  
 $f_n$  – частота среза ФНЧ,  $f_v$  – частота среза ФВЧ  
 Figure 1 – Selection of low-frequency and high-frequency areas of the acoustic signal spectrum to determine dynamic phenomenon manifestation hazard indicator with the AK-1 instrument:  $f_n$  is the FNCh cutoff frequency,  $f_v$  is the FVCh cut-off frequency

сива при ведении горной выработки приведет к существенному изменению спектра акустического сигнала именно в этой области частот, оно окажется незамеченным.

2. Необходимость проведения специальных работ для выбора частот среза фильтров высоких и низких частот и периодической их корректировки в зависимости от изменения горно-геологических и горнотехнических условий.

3. Опыт применения этого подхода показал, что невозможно установить единое значение критической величины показателя выбросоопасности для всех шахт даже одного угольного бассейна. Поэтому критическое значение показателя выбросоопасности необходимо устанавливать экспериментально, однако методики выполнения этой процедуры нет.

Второй вариант выбора рабочих частот реализуется, например, системой акустического контроля состояния массива горных пород и прогноза динамических явлений (САКСМ) [8]. В соответствии с этим документом рабочий диапазон частот лежит в пределах 20–3500 Гц, а области низких и высоких частот устанавливаются следующим образом. Предполагается, что амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) акустического сигнала в зоне размещения приемника акустических колебаний имеет максимум. Обработка сигнала осуществляется автоматизировано с помощью специально разработанного программного обеспечения. Определяется частота, на которой амплитуда сигнала имеет максимальное значение  $A_{max}$ . (см. рис. 2). Левее этой частоты определяют частоты, сигналы на которых имеют соответственно амплитуды, равные  $0,5A_{max}$  и  $0,75A_{max}$ . Эти частоты являют-

ся граничными низкочастотной области спектра. Аналогично этому правее частоты, соответствующей  $A_{max}$ , определяют частоты, сигналы на которых имеют соответственно амплитуды, равные  $0,75A_{max}$  и  $0,5A_{max}$ . Эти частоты являются граничными высокочастотной области спектра.

Преимущество этого варианта по сравнению с предыдущим состоит в том, что границы высоких и низких частот не являются фиксированными, а автоматически корректируются в зависимости от АЧХ принимаемого сигнала.

Но данный вариант также имеет недостатки, которые состоят в следующем [4, 6-7].

1. Используется не весь спектр для определения показателя опасности (коэффициента относительных напряжений).

2. Подход предполагает, что форма АЧХ сигнала имеет явно выраженный максимум. Однако на практике регистрируются, в том числе, сигналы с убывающей формой АЧХ при изменении частоты от минимальной к максимальной в области рабочих частот. Для таких случаев алгоритм расчета предполагает принудительное искажение спектра сигнала, что влияет на показатель опасности.

3. Нет методики определения критического значения показателя выбросоопасности.

### 3. Разработка модификации спектрально-акустического метода прогноза выбросоопасности, использующего весь спектр акустического сигнала

Как видно из анализа существующих вариантов исполнения спектрально-акустического метода прогноза выбросоопасности, одним из основных недостатков этого метода является то, что не используется весь спектр излучаемого акустического сигнала. Поэтому нами была поставлена задача разработать такую модификацию спектрально-акустического метода контроля напряженного состояния, в которой используется весь спектр сигнала работающего горного оборудования. Решение задачи состоит в следующем [9].

Предположим, что аналоговый акустический сигнал, генерируемый режущим органом работающего оборудования, например, проходческого комбайна, принимается приемным преобразователем на расстоянии  $r$  от излучателя, оцифровывается, преобразуется с помощью быстрого преобразования Фурье (БПФ) в амплитудно-частотный спектр, который ограничивается в диапазоне частот, например, 20–1000 Гц, причем интервал между соседними гармониками  $\Delta f$  равен, например, 20 Гц. Тогда частота  $i$ -ой

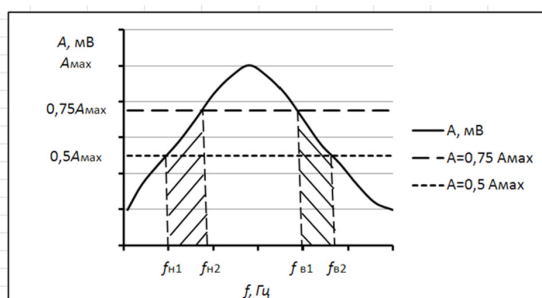


Рисунок 2 – Выбор низкочастотной и высокочастотной областей спектра акустического сигнала для определения показателя опасности проявления динамического явления системой САКСМ:

$(f_{n1} - f_{n2})$  – низкочастотная область,  
 $(f_{e1} - f_{e2})$  – высокочастотная область

Figure 2 - Selection of low-frequency and high-frequency areas of the acoustic signal spectrum to determine dynamic phenomenon manifestation hazard indicator with the SAKSM system:  $(f_{n1} - f_{n2})$  - low-frequency area,  $(f_{e1} - f_{e2})$  - high-frequency area

гармоники будет равна

$$f_i = 20i, i \in [1; 50]. \quad (2)$$

Ограничение частоты «сверху» обусловлено тем, что при контроле напряженного состояния впереди забоя подготовительной выработки источник и приемник акустических колебаний находятся позади контролируемой области горного массива (см. рис. 3). Диаграмму направленности излучателя приближенно можно принять полусферической. Поэтому часть акустического излучения должна пройти путь от источника по массиву впереди забоя выработки, повернуть далее в сторону геофона и пройти до него вдоль борта выработки. При этом акустическая волна при своем движении не может быть даже теоретически сфокусирована в объеме среды (изогнутого цилиндра, трубки), геометрические размеры поперечного сечения которой меньше половины длины волны [10]. Практически эта величина соизмерима с длиной волны. Следовательно, как минимум на эту глубину угольный пласт «прозвучивается» акустическими колебаниями, излучаемыми режущим органом комбайна.

Скорость звука в каменном угле для различных угольных бассейнов заметно отличается. Так, для Карагандинского угольного бассейна скорость продольного и поперечного звука минимальна (из основных угольных бассейнов на территории бывшего СССР) и соответственно равна 1,2-1,5 км/с и 0,8-1,0 км/с [11]. Следовательно, длины волн продольного и поперечного звука частотой 1000 Гц (соответствует минимальной длине волны в выбранном рабочем диапазоне частот) здесь будут соответственно равны 1,2-1,5 м и 0,8-1,0 м. Для Печерского угольного бассейна скорость продольного и поперечного звука максимальна и соответственно равна 2,3-3,6 км/с и 1,0-1,3 км/с [11]. Для этих скоростей

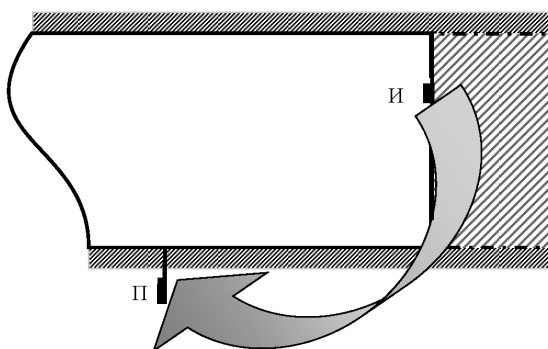


Рисунок 3 – Схема распространения звука от источника И (проходческого комбайна) к приемнику П при прогнозе выбросоопасности в подготовительной выработке  
Figure 3 - Sound propagation scheme from the source I (development header) to the receiver P with the outburst risk forecast in the development working

длины волн продольного и поперечного звука частотой 1000 Гц будут находиться соответственно в пределах 2,3-3,6 м и 1,0-1,3 м. Таким образом, чтобы глубина контроля массива впереди забоя подготовительной выработки была не менее 1 м, использовать частоты свыше 1000 Гц нецелесообразно.

Следует отметить, что при контроле напряженного состояния впереди очистной выработки спектрально-акустическим методом приемник акустических колебаний устанавливается в борт вентиляционного или откаточного штрека на расстоянии 15-30 м и более от сопряжения с забоем лавы. Поэтому звук от режущего органа комбайна распространяется по горному массиву впереди лавы на глубину, соизмеримую с расстоянием от геофона до забоя выработки; при прогнозе опасности проявления динамических явлений впереди очистной выработки ограничение частоты «сверху» не требуется.

Обоснуем алгоритм определения коэффициента относительных напряжений в варианте спектрально-акустического метода, использующего всю область спектра акустического сигнала работающего горного оборудования в диапазоне 20-1000 Гц.

Известно, что амплитуду  $i$ -ой гармоники акустического сигнала на расстоянии  $r$  от источника можно описать следующим образом:

$$A_i(r) = A_{i,0} F(r) e^{-\alpha r}, \quad (3)$$

где  $A_{i,0}$  – амплитуда  $i$ -ой гармоники у источника;  $F(r)$  – функция, учитывающая диаграмму направленности источника сигнала (например,  $F(r) = 1$  – для плоской волны;  $F(r) = 1/r$  – для сферической волны);  $\alpha$  – коэффициент затухания звука.

Известно также, что для твердого тела коэффициент затухания звука в первом приближении прямо пропорционален частоте и обратно пропорционален действующим на тело средним текущим напряжениям  $\alpha \sim f/\sigma_T$ . Поэтому можно записать следующее равенство [12]:

$$\alpha_i = \alpha_0 \beta \frac{f_i \sigma_{np}}{f_0 \sigma_T} = C f_i \frac{\sigma_{np}}{\sigma_T}; \text{ м}^{-1}, \quad (4)$$

где  $\alpha_0$  – затухание на некоторой частоте  $f_0$  при отсутствии напряжений (в разгруженном состоянии),  $\text{м}^{-1}$ ;  $\beta$  – безразмерный коэффициент пропорциональности, определяемый акустическими свойствами массива;  $f_i$  частота  $i$ -ой гармоники, Гц;  $\sigma_{np}$  и  $\sigma_T$  – среднее соответственно предельное (максимально возможное для контролируемого участка пласта, предшествующее разрушению массива из-за динамического явления) и текущее значения напряжений в массиве, Па;

$$C = \frac{\alpha_0 \beta}{f_0}, \text{ м}^{-1} \text{ Гц}^{-1}.$$

Тогда для выбранного нами диапазона частот сумма дискретного ряда амплитуд спектральных составляющих акустического сигнала  $A(f, r)$  с учетом (2-4) будет равна:

$$A(f, r) = \sum_{i=1}^{50} A_{i,0} F(r) e^{-C20i \frac{\sigma_{np}}{\sigma_m} r}. \quad (5)$$

Предположим, что АЧХ акустического сигнала имеет максимум и ее компоненты у излучателя могут быть описаны двумя экспоненциальными функциями – возрастающей и убывающей в следующем виде:

$$A_{i,0} = \begin{cases} A_0 e^{+\xi 20i}, & i \in [1, 14] \\ A_0 e^{-\eta 20i}, & i \in [15, 50] \end{cases}, \quad (6)$$

где  $A_0$  – амплитуда гипотетической «нулевой» гармоники при  $i=0$ , В; параметры  $\xi$  и  $\eta$  – определяют скорости изменения экспонент.

Определим параметры  $\xi$  и  $\eta$  из условия, что  $A_0 = 1$  В и амплитуды следующих гармоник удовлетворяют условию  $A_{14,0} = A_{15,0} \approx 1$  В (условие «сшивания» двух экспонент). Тогда (6) примет вид:

$$A_{i,0} = \begin{cases} 0,333e^{+0,073i}, & i \in [1, 14] \\ 2,86e^{-0,07i}, & i \in [15, 50] \end{cases}, \quad (7)$$

Подставим (7) в (5). Результаты расчета амплитуд отдельных гармоник представлены на рис. 4 при следующих значениях входящих величин:  $\alpha_0 = 1,3 \text{ м}^{-1}$ ;  $\beta = 0.07$ ;  $f_0 = 500 \text{ Гц}$ ;  $F(r) = 1$ ;

$$r = 10 \text{ м}; \frac{\sigma_m}{\sigma_{np}} = 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0.$$

Из рисунка видно, что с ростом напряжений амплитуды высокочастотных гармоник возрастают сильнее низкочастотных.

Для приведенных параметров акустического сигнала определим зависимость текущего значения медианы дискретного ряда амплитуд спектральных составляющих  $M_m$  от отношения При этом в соответствии с определением под медианой будем понимать корень уравнения  $A(f, r) = 0,5$ , иначе говоря, в нашем случае  $M_m$  – это значение частоты гармоники  $f_n$ , при которой выполняется условие:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^n A_{i,0} e^{-C20i \frac{\sigma_{np}}{\sigma_m} r} &\leq 0,5 \sum_{i=n+1}^{50} A_{i,0} e^{-C20i \frac{\sigma_{np}}{\sigma_m} r} \\ \sum_{i=1}^{n+1} A_{i,0} e^{-C20i \frac{\sigma_{np}}{\sigma_m} r} &> 0,5 \sum_{i=n+2}^{50} A_{i,0} e^{-C20i \frac{\sigma_{np}}{\sigma_m} r} \end{aligned} \right\} (8)$$

Таким образом, медианный номер гармоники является функцией напряженного состоя-

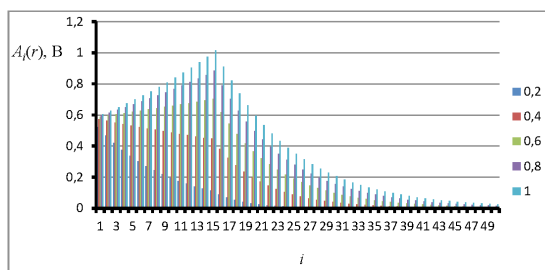


Рисунок 4 – Амплитудно-частотная характеристика смоделированного сигнала при  $\frac{\sigma_m}{\sigma_{np}} = 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0$

Figure 4 - Amplitude-frequency characteristic of the simulated signal at  $=0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0$ .

ния горного массива и может использоваться как для организации текущего прогноза опасности проявления динамических явлений, так и для контроля эффективности любого выполненного мероприятия для снижения опасности проявления динамического явления.

Введем понятие показателя выбросоопасности (коэффициента относительных напряжений)  $K$ , равного отношению текущего значения медианы  $M_m$  к критическому  $M_{кр}$ , определенному аналогично  $M_m$  на участке проводимой горной выработки, на котором предварительно был выполнен прогноз инструментальным методом по начальной скорости газовыделения и выходу буровой мелочи при бурении контрольных шпуров:

$$K = M_m / M_{кр}. \quad (9)$$

В таблице в качестве примера для сигнала со спектром вида (5) и его компонентов вида (7) представлены значения показателя выбросоопасности для отношений текущего и предельно-

го значений средних напряжений  $\frac{\sigma_m}{\sigma_{np}} = 0,2; 0,4;$

$0,6; 0,8; 1,0$  при условии, что в качестве критического  $M_{кр}$  взято значение медианы  $M_{1,0}$  при  $\sigma_m = \sigma_{np}$ .

Таблица. Зависимость показателя выбросоопасности спектрально-акустического метода прогноза от напряженного состояния  
Table. Dependence of the spectral-acoustic forecasting method outburst hazard index from the stressed state

$\sigma_m / \sigma_{np}$	$K = M_m / M_{1,0}$
0,2	0,38
0,4	0,69
0,6	0,85
0,8	0,92
1,0	1,0



Из таблицы видно, что для рассмотренной модели акустического сигнала, имитирующего шум работающего комбайна, увеличение отношения текущих напряжений к предельным в 5 раз привело к росту  $K$  в 2,6 раза, что подтверждает возможность контроля этим методом напряженного состояния призабойного пространства.

Однако для использования этого метода прогноза с показателем выбросоопасности, определяемом в соответствии с выражением (9), необходимо знать величину  $M_{кр}$  для конкретного участка шахтопласта. Рассмотрим, как это можно сделать с помощью инструментального метода прогноза.

#### 4. Метод определения критического значения показателя выбросоопасности $M_{кр}$ спектрально-акустического метода с помощью инструментального метода прогноза

Предлагаемый метод основан на установлении функциональной связи между разрабатываемым геофизическим (спектрально-акустическим) и достаточно широко апробированным на шахтах России инструментальным (по начальной скорости газовыделения и выходу буровой мелочи при бурении контрольных шпуров) методами.

Установление функциональной связи между критериями выбросоопасности этих методов можно осуществить следующим образом.

Вначале выберем экспериментальный участок. Предположим, что это подготовительная выработка, проводимая комбайном. В ней выполним прогноз выбросоопасности последовательно инструментальным методом, характеризующимся высокой степенью достоверности прогноза, а затем спектрально-акустическим. Критерий выбросоопасности текущего прогноза по начальной скорости газовыделения и выходу буровой мелочи описывается выражением (1).

Из (1) определим критическое значение показателя выбросоопасности  $R_{кр}$  инструментального метода прогноза:

$$R_{кр} = (S_{max}^{-1.8})(g_{max} - a) = b, \quad (10)$$

Далее по результатам бурения контрольного шпура определим текущее значение показателя выбросоопасности  $R_m$  по следующей формуле:

$$R_m = (S_{max,m}^{-1.8})(g_{max,m} - a), \quad (11)$$

где  $S_{max,m}$  и  $g_{max,m}$  – текущие соответственно максимальное значение выхода буровой мелочи и максимальное значение начальной скорости газовыделения.

Затем определим коэффициент относительной выбросоопасности инструментально-метода прогноза  $R_{o.в.}$  контролируемой зоны пласта как отношение текущего и критического значений показателя выбросоопасности:

$$R_{o.в.} = R_m/b, (R_{o.в.} \in [0; 1]). \quad (12)$$

После этого на этом же участке пласта определим значение (назовем его опорным) медианы  $M_0$  дискретного ряда амплитуд спектральных составляющих шумов работающего проходческого комбайна. Для этого на участке проводимой горной выработки, оснащенной аппаратурой для спектрально-акустического прогноза САКСМ, в соответствии с нормативным документом инструкцией по эксплуатации во время одного цикла подвигания забоя выполним следующие процедуры. С помощью геофона проведем измерение во времени амплитуды акустического сигнала, генерируемого работающим механизмом; выполним его аналого-цифровое преобразование; сформируем экспериментальные выборки из последовательности отсчетов аналого-цифрового преобразования; выполним с ними процедуру БПФ и проведем их усреднение во времени, например, за 15-секундные интервалы времени. В результате получим дискретный ряд усредненных амплитуд спектральных составляющих

$$A_{ij} (i \in [1; N], j \in [1; P]),$$

где  $A_{ij}$  – амплитуда  $i$ -ой гармоники в  $j$ -й 15-и секундный интервал;  $P$  – количество 15-и секундных интервалов за время цикла подвигания забоя.

Далее определим полусумму амплитуд всех усредненных спектральных составляющих

сигнала  $0,5 \sum_{i=1}^N A_i$  в каждый  $j$ -й 15-и секундный

интервал и найдем медианный интервал частот, в котором находится медиана путем определения номера  $n_j$  спектральной составляющей (гармоники), при которой выполняются два условия:

$$\sum_{i=1}^{n_j} A_{ij} \leq 0,5 \sum_{i=1}^N A_{ij}, \text{ а } \sum_{i=1}^{n_{j+1}} A_{ij} > 0,5 \sum_{i=1}^N A_{ij}. \quad (13)$$

Для простоты примем опорное значение медианы  $M_{0j}$  равным меньшему значению частоты медианного интервала:

$$M_{0j} = n_j \cdot \Delta f, \quad (14)$$

где  $\Delta f$  – интервал между соседними гармониками.

Измерения проводим в течение одного цикла подвигания забоя, по результатам которого определим минимальное опорное значение медианы дискретного ряда амплитуд спектральных составляющих шумов работающего горного

оборудования  $M_{0min}$ .

Следует указать, что данный метод определения критерия выбросоопасности спектрально-акустического метода с помощью инструментального метода прогноза можно проводить и в случае работы в выработке любого горного оборудования: комбайна, струга, буровой установки, электросверла, отбойного молотка, генерирующего в пласт широкополосный акустический сигнал непрерывно в течение некоторого времени, соизмеримого с циклом подвигания забоя. Но процедуру определения минимального опорного значения медианы  $M_{0min}$  нужно проводить отдельно для каждого типа работающего горного оборудования. Причем из обработки следует исключить результаты нескольких, например, трех первых 15-и секундных интервалов, за время которых работающий механизм выйдет на стационарный режим работы.

Далее по аналогии с (12) определим коэффициент относительной выбросоопасности спектрально-акустического метода прогноза Ко.в. контролируемой зоны пласта как отношение текущего значения медианы дискретного ряда амплитуд спектральных составляющих шумов работающего горного оборудования к ее критическому значению, имеющему место при:

$$\sigma_m = \sigma_{np}; \quad K_{o.e.} = M_{0min}/M_{кр}, (K_{o.e.} \in [0; 1]). \quad (15)$$

Предполагая, что коэффициенты относительной выбросоопасности инструментального и спектрально-акустического методов примерно равны, т.е.  $R_{o.e.} \approx K_{o.e.}$ . Найдем критическое значение медианы дискретного ряда амплитуд спектральных составляющих шумов работающего горного оборудования:

$$M_{кр} = \frac{M_{0min}}{R_m} b \quad (16)$$

Выражение (16) отображает искомую связь критических значений показателей выбросоопасности спектрально-акустического  $M_{кр}$  и инструментального  $b$  методов прогноза выбросоопасности по начальной скорости газовыделения и выходу буровой мелочи.

Установив экспериментально эту связь, в дальнейшем можно осуществлять в данном забое текущий прогноз выбросоопасности спектрально-акустическим методом путем измерения текущего значения медианы дискретного ряда амплитуд спектральных составляющих шумов и сравнения его с критическим значением.

Вывод о степени выбросоопасности бу-

дем делать следующим образом: если  $M_m \geq M_{кр}$ , зону пласта будем относить к выбросоопасной, а если  $M_m < M_{кр}$ , зону пласта отнесем к невыбросоопасной.

По мере подвигания забоя подготовительной или очистной выработки критическое значение медианы дискретного ряда амплитуд спектральных составляющих шумов работающего горного оборудования следует корректировать в случае изменения горно-геологических условий. Это обусловлено тем, что в отличие от используемого инструментального метода прогноза, контролирующего три основных фактора выбросоопасности, спектрально-акустический контролирует преимущественно один фактор выбросоопасности – напряженное состояние. Поэтому использование этого метода для прогноза возможно в том случае, если предположить, что по мере ведения выработки газовый фактор сохраняется примерно постоянным. При изменении горно-геологических условий весьма вероятно изменение газового фактора, и коррекция критического значения критерия выбросоопасности спектрально-акустического метода необходима.

При кажущемся постоянстве горно-геологических условий коррекцию критического значения медианы дискретного ряда амплитуд спектральных составляющих шумов работающего горного оборудования целесообразно проводить не более чем через 300 м подвигания забоя.

Для того чтобы критерий выбросоопасности геофизического метода сохранялся и при смене горно-геологических условий, он должен контролировать не только напряженное состояние, но и газовый фактор [13, 14], и прочность угля. Это возможно, если спектрально-акустический метод, контролирующий напряженное состояние, дополнить газоаналитическим методом, контролирующим газовый фактор выбросоопасности, и методом измерения прочности наиболее перемятой угольной пачки [2, 15-17].

При выборе места установки приемника акустических колебаний в подготовительной выработке при определении опорного значения медианы дискретного ряда амплитуд спектральных составляющих шумов следует учесть следующее. Он должен быть установлен на удалении от забоя выработки, близком к предельному на расстоянии 25 м. Это делается для того, чтобы получить минимальную величину критического значения медианы дискретного ряда амплитуд спектральных составляющих шумов работающего горного оборудования, что позволит избежать при прогнозе ошибки первого рода.

Предельное расстояние определяется



коэффициентом затухания звука в конкретной выработке и уровнем акустических шумов, измеренным до начала работы горного оборудования, акустическое излучение которого используются для прогноза выбросоопасности. Это расстояние соответствует отношению амплитуды акустического сигнала работающего оборудования к акустическим помехам, которое, по нашему мнению, должно быть близким к трем, но не меньшим двух.

Для осуществления предлагаемого способа можно применять серийно выпускаемое оборудование. Для измерения начальной скорости газовыделения при бурении контрольных шпуров комплект оборудования включает в себя ручное электросверло, набор витых составных штанг длиной до 6,5 м, герметизатор скважины и измеритель начальной скорости газовыделения типа ИГ-1. Для измерения выхода буровой мелочи можно использовать мерный сосуд. Для спектрально-акустического прогноза (контроля) выбросоопасности можно применить систему акустического контроля состояния массива горных пород и прогноза динамических явлений (САКСМ), состоящую из аппаратуры регистрации и передачи на поверхность акустического сигнала (АРАС), программного обеспечения акустического контроля массива горных пород и прогноза динамических явлений (программа АКМП-РИВАС), персонального компьютера, принтера и устройства бесперебойного питания.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Факторы, определяющие формирование и проявление выбросоопасности углей Донбасса / Радченко А.Г. [и др.] // Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр : 3-я конференция международной научной школы академика К.Н. Трубецкого. М.: ИПКОН РАН. 2018. С. 276-279.
2. Shadrin, A.V. Comparison of outburst danger criteria of coal seams for acoustic spectral and instrumental forecast methods / A.V. Shadrin, Yu.A. Bireva // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 45, Number 1 (2016), 012008.
3. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по прогнозу динамических явлений и мониторингу массива горных пород при отработке угольных месторождений». Утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 15.08.2016 г. №339. 129 с.
4. Шадрин А.В. Особенности модификаций спектрально-акустического прогноза динамических явлений в угольных шахтах // 50 лет Российской научной школе комплексного освоения недр Земли : Материалы Международной научно-практической конференции. 13-16 ноября 2017. М.: ИПКОН РАН, 2017. С. 85-89.
5. Руководство по выполнению спектрально-акустического контроля (прогноза) выбросоопасности на шахтах Кузбасса. Утверждено Кузнецким управлением Ростехнадзора России 23.04.2002 г. Кемерово, 2002.
6. Шадрин А.В., Контримас А.А. Задачи совершенствования спектрально-акустического прогноза динамических явлений в угольных шахтах // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов: науч. журнал / Сиб. гос. ун-т; под общей ред. В.Н. Фрянова. Новокузнецк, 2017. №3. С. 408-413.
7. A V Shadrin and A A Kontrimas. Basic tasks for improving spectral-acoustic forecasting of dynamic phenomena in coal mines / IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 84, conference 1. (2017), 012040.
8. Руководство по применению системы акустического контроля состояния массива горных пород и прогноза динамических явлений (САКСМ). М.: МНТЛ РИВАС, 2016. 49 с.
9. Патент 2661498 РФ. Способ спектрально-акустического прогноза выбросоопасности угольных пластов / А.В. Шадрин, А.А. Контримас, Ю.А. Дюк. Бюл. № 20. 2018.
10. Савич А. И. О зоне «захвата» упругих волн // Труды Гидропроекта. 1971. № 21. С. 29-40.
11. Азаров Н.Я., Яковлев Д.В. Сейсмоакустический метод прогноза горно-геологических условий эксплуатации угольных месторождений. М.: Недра, 1988. 199 с.

Связь подземной части аппаратуры с наземной при этом осуществляется линией связи, в качестве которой может использоваться свободная пара проводов телефонного кабеля шахты.

Алгоритм цифровой обработки дополнительно к выполняемым программой АКМП-РИВАС операциям включает определение критического значения медианы дискретного ряда усредненных во времени амплитуд спектральных составляющих  $M_{кр}$  по формулам (13) – (16), а затем текущего значения медианы дискретного ряда усредненных во времени амплитуд спектральных составляющих  $M_m$  по формулам (13) и (14), в которых индекс  $O_j$  заменен на индекс  $t$  (текущий), и отнесение зоны пласта к выбросоопасной, если  $M_m \geq M_{кр}$ , а если  $M_m < M_{кр}$ , то зону пласта относят к невыбросоопасной.

#### Выводы

В работе дано обоснование варианта исполнения спектрально-акустического метода текущего прогноза выбросоопасности угольных пластов, основанного на зависимости медианы амплитудно-частотной характеристики шумов работающего горного оборудования от напряженного состояния призабойного пространства, использующего практически весь спектр шумов. Для него разработан Метод определения критического значения показателя и критерия выбросоопасности с помощью инструментального метода прогноза.

12. Шадрин А.В., Коноваленко В.А. Основы автоматизированного непрерывного ГДЯ-мониторинга на угольных шахтах Кузбасса // Вестник КузГТУ. 2001. № 3. С.28-31.
13. Полевщиков Г.Я., Козырева Е.Н., Киряева Т.А., Шинкевич М.В., Брюзгина О.В., Рябцев А.А., Назаров Н.Ю., Плаксин М.С. Снижение газодинамической опасности подземных горных // Уголь. 2007. № 11 (979). С. 13-16.
14. Полевщиков Г.Я., Шинкевич М.В., Плаксин М.С. Газокинетические особенности распада углеметана на конвейерном штреке выемочного участка // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2011. № 8. С. 21-28.
15. Шадрин А.В. Геофизический критерий предвыбросного развития трещин в угольном пласте / Физ.-техн. пробл. разработки полезных ископаемых. 2016. № 4. С. 48-62.
16. Shadrin A.V. Geophysical criterion of pre-outburst crack propagation in coal beds // Journal of Mining Science, 2016, Volume 52, Issue 4, pp 670–682.
17. Шадрин А.В., Бирева Ю.А. Сравнение критериев выбросоопасности угольных пластов для спектрально-акустического и инструментального методов прогноза // Научно-технические технологии разработки и использования минеральных ресурсов: науч. журнал / Сиб. гос. ун-т; под общей ред. В.Н. Фрянова. Новокузнецк, 2016. № 2. С.410-416.

## REFERENCES

1. Radchenko, A.G., Shalovanov, O.L., Skopich, T.I., & Radchenko, A.A. (2018). Faktory, opredelivayushchie formirovaniye i proiavleniye vybrosopasnosti uglej Donbassa [Factors determining the Donbass coals outburst hazard formation and manifestation]. Proceedings from: *Problems and prospects for the integrated development and preservation of the earth's interior: 3-ya konferentsiya mezhdunarodnoi nauchnoi shkoly akademika K.N Trubetskogo - 3rd Conference of Academician K.N.Trubetskoy International Scientific School* (pp. 276-279). Moscow: IPKON RAS [in Russian].
2. Shadrin, A.V., Bireva, Yu.A. (2016). Comparison of outburst danger criteria of coal seams for acoustic spectral and instrumental forecast methods. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 45, Number 1* (2016), 012008 [in English].
3. *Federalnye normy i pravila v oblasti promyshlennoi bezopasnosti «Instruktsiya po prognozu dinamicheskikh yavlenii i monitoringu massiva gornyykh porod pri otrabotke ugolnykh mestorozhdenii». Utverzhdeny prikazom Federalnoi sluzhby po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru ot 15.08.2016 g. №339. 129 s* [Federal norms and rules in the field of industrial safety "Instructions for the prediction of dynamic phenomena and monitoring of the rock massif when mining coal deposits." Approved by order of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision dated August 15, 2016 No. 339. 129 p [in Russian].
4. Shadrin, A.V. (2017). Osobennosti modifikatsii spektralno-akusticheskogo prognoza dinamicheskikh yavlenii v ugolnykh shakhtakh [Modification features of coal mines' dynamic phenomena spectral-acoustic forecast]. Proceedings from: *50 years of the Russian scientific school of the Earth's interior integrated development: Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya (13-16 noiabria 2017) – international Scientific and Practical Conference* (pp. 85-89). Moscow: IPKON RAS [in Russian].
5. *Rukovodstvo po vypolneniyu spektralno-akusticheskogo kontrolya (prognoza) vybrosopasnosti na shakhtah Kuzbassa. Utverzhdeno Kuznetskim upravleniem Gostekhnadzora Rossii 23.04.2002 g. Kemerovo, 2002* [Guidelines for the implementation of spectral-acoustic control (forecast) of outburst hazard in the mines of Kuzbass.. Approved by the Kuznetsk Directorate of the State Technical Inspection of Russia April 23, 2002 Kemerovo, 2002 [in Russian].
6. Shadrin, A.V., Kontrimas, A.A. (2017). Zadachi sovershenstvovaniya spektralno-akusticheskogo prognoza dinamicheskikh yavlenii v ugolnykh shakhtakh [Tasks for improving spectral-acoustic forecasting of dynamic phenomena in coal mines]. *Naukoemkie tekhnologii razrabotki i ispolzovaniya mineralnykh resursov: nauch. zhurnal - High technologies of mineral resources development and use: scientific magazine, Novokuznetsk, 3, 408-413* [in Russian].
7. Shadrin, A.V., & Kontrimas, A.A. (2017). Basic tasks for improving spectral-acoustic forecasting of dynamic phenomena in coal mines / *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 84, conference 1. 012040* [in English].
8. *Rukovodstvo po primeneniyu sistemy akusticheskogo kontrolya sostoiannya massiva gornyykh porod i prognoza dinamicheskikh yavlenii (SAKSM) [Guidance on the rock massif state acoustic monitoring system application and dynamic phenomena forecast (SAKSM)]*. Moscow: MNTL RIVAS, 2016 [in Russian].
9. Shadrin, A.V., Kontrimas, A.A., & Diiuk, Yu.A. Sposob spektralno-akusticheskogo prognoza vybrosopasnosti ugolnykh plastov [Method of coal seam outburst hazard spectral acoustic forecast]. *Patent RF 2661498, 2018* [in Russian].
10. Savich, A.I. (1971). O zone "zakhvata" uprugikh voln [On the elastic waves "capture" zone]. *Trudy Gidroproekta – Gidroproekt Papers, 21, 29-40 ev*,
11. Azarov, N.Ya., & Yakovl, D.V. (1988). *Seismoakusticheskii metod prognoza gorno-geologicheskikh uslovii ehkspluatatsii ugolnykh mestorozhdenii [Seismoacoustic method for predicting the mining and geological conditions of coal deposits' development]*. Moscow: Nedra [in Russian].
12. Shadrin, A.V., & Konovalenko, V.A. (2001). Osnovy avtomatizirovannogo nepreryvnogo GDYa-monitoringa na ugolnykh shakhtakh Kuzbassa [Fundamentals of automated continuous gas dynamic phenomena monitoring in the coal mines of Kuzbass]. *Vestnik KuzGTU – KuzGTU Herald, 3, 28-31* [in Russian].
13. Polevshchikov, G.Ya., Kozyreva, Ye.N., Kiriaeva, T.A., Shinkevich, M.V., Briuzgina, O.V., Riabtsev, A.A., Nazarov, N.Yu., & Plaksin, M.S. Snizheniye gazodinamicheskoi opasnosti podzemnykh gornyykh [Reduction of underground mining gas-dynamic hazard]. *Ugol – Coal, 11 (979), 13-16* [in Russian].
14. Polevshchikov, G.Ya., Shinkevich, M.V., & Plaksin, M.S. (2011). Gazokineticheskie osobennosti raspada uglemetana na konveyernom shtreke vyemochnogo uchastka [Gas kinetic features of coal and methane disintegration in the conveyor drift of the extraction section]. *Gornyy informatsionno-analiticheskii biulleten – Mining Informational Analytical Bulletin, 8, 21-28* [in Russian].
15. Shadrin, A.V. (2016). Geofizicheskii kriteriy predvybrosnogo razvitiya treshchin v ugolnom plaste [Geophysical criterion of pre-outburst crack propagation in a coal seam]. *Fiz.-tenhn. probl. razrabotki poleznykh iskopaemykh – Physical and*

*Technical Problems of Mineral Development, 4, 48-62 [in Russian].*

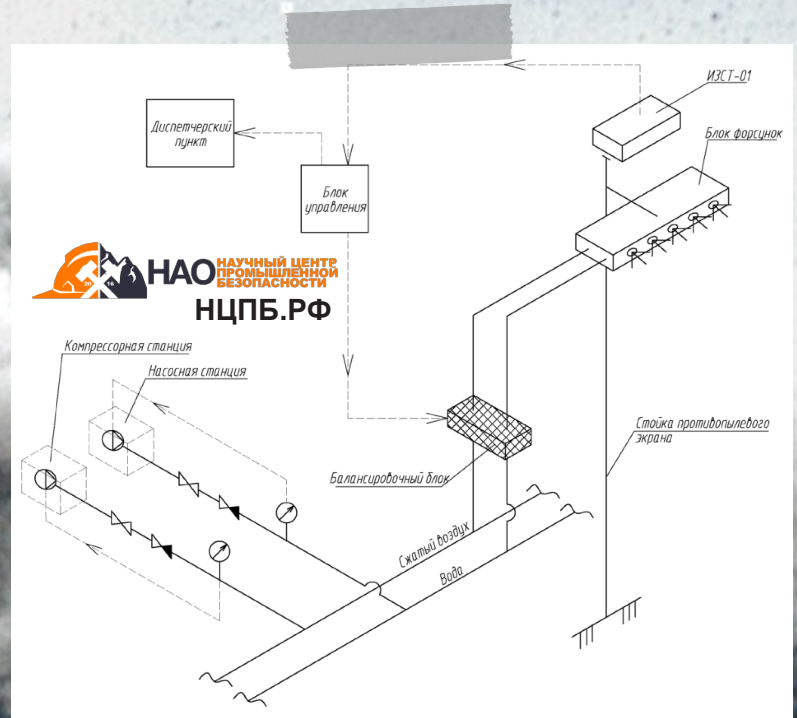
16. Shadrin A.V. (2016). Geophysical criterion of pre-outburst crack propagation in coal beds // *Journal of Mining Science, Volume 52, Issue 4, pp 670–682 [in English].*
17. Shadrin, A.V., & Bireva, Yu.A. (2016). Sravnenie kriteriev vybrosopasnosti ugolnyh plastov dlia spektralno-akusticheskogo i instrumentalnogo metodov prognoza [Coal seam outburst hazard criteria comparison for spectral-acoustic and instrumental forecasting methods]. *Naukoemkie tekhnologii razrabotki i ispolzovaniia mineralnykh resursov: nauch. zhurnal - High technologies of mineral resources development and use: scientific magazine, Novokuznetsk, 2, 410-416 [in Russian].*

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМ ПНЕВМОГИДРООРОШЕНИЯ ДЛЯ БОРЬБЫ С ПЫЛЬЮ В МЕСТАХ ПЕРЕГРУЗКИ И ХРАНЕНИЯ ПЫЛЯЩИХ ГРУЗОВ

Уникальная система пылеподавления создаёт водовоздушный туман на пути облака, который поглощает угольную пыль и препятствует её дальнейшему распространению. Система анализирует полученную информацию с датчиков контроля запыленности атмосферы, установленных по всей территории СЗЗ. В соответствии с этим, блок форсунок передвигается в направлении с максимальной концентрацией пыли, создавая на пути пылевого облака водовоздушный туман.

Разработан новый тип распыления - сухой туман, не замерзает до -40 С

Система и форсунки запатентованы







**В.В. Иванов // V.V. Ivanov**

д-р техн. наук, проф., ведущий научный сотрудник АО «НЦ ВостНИИ», Россия, 650002, г. Кемерово, ул. Институтская, 3  
 doctor of technical sciences, professor, leading scientific researcher of JSC "SC VostNII", 3, Institutaskaia St., Kemerovo, 650002, Russia



**В.В. Соболев // V.V. Sobolev**  
 sobolev567@gmail.com

д-р техн. наук, заместитель генерального директора АО «НЦ ВостНИИ», Россия, 650002, г. Кемерово, ул. Институтская, 3  
 doctor of technical sciences, deputy general director of JSC "SC VostNII", 3, Institutaskaia St., Kemerovo, 650002, Russia



**В.С. Лудзиш // V.S. Ludzish**

д-р техн. наук, проф., ведущий научный сотрудник АО «НЦ ВостНИИ», Россия, 650002, г. Кемерово, ул. Институтская, 3  
 doctor of technical sciences, professor, leading scientific researcher of JSC "SC VostNII", 3, Institutaskaia St., Kemerovo, 650002, Russia



**А.В. Дягилева // A.V. Diagileva**

канд. техн. наук, доцент, доцент ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева» (КузГТУ), Россия, 650026, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28  
 candidate of technical sciences, associate professor of FGBOU VO "Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev (KuzGTU), 28, Vesenniaia St., Kemerovo, 650026, Russia



**К.Х. Ли // K.H. Li**  
 chiterzz@mail.ru

научный сотрудник лаборатории АО «НЦ ВостНИИ», Россия, 650002, г. Кемерово, ул. Институтская, 3  
 laboratory scientific researcher of JSC "SC VostNII", 3, Institutaskaia St., Kemerovo, 650002, Russia

УДК 622.834:550.37

## РАСЧЕТ ПОПРАВОЧНОГО КОЭФФИЦИЕНТА В КАЖУЩЕЕСЯ УДЕЛЬНОЕ ЭЛЕКТРОСОПРОТИВЛЕНИЕ ВЫБРОСООПАСНОГО МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ЗОНДИРОВАНИИ МАССИВА С КОНТУРА ПОДГОТОВИТЕЛЬНОЙ ВЫРАБОТКИ С МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ КРЕПЬЮ

## CALCULATION OF THE CORRECTION FACTOR TO THE APPARENT ELECTRICAL RESISTIVITY OF THE OUTBURST-HAZARDOUS ROCK MASSIF DURING ELECTRICAL SOUNDING OF THE MASSIF FROM THE CONTOUR OF THE DEVELOPMENT WORKING WITH METAL SUPPORT

При решении задач прогноза выбросоопасности участков массива горных пород в подготовительных и очистных выработках часто применяются методы электроразведки, в частности, метод четырехэлектродного зондирования массива, при котором электроды размещаются на кровле или почве выработки. Наличие металлической крепи в выработке существенно влияет на результаты измерений вплоть до полного исчезновения электрического поля, поэтому электроды заглубляются в массив. Для получения истинного значения удельного электросопротивления пород необходимо в результаты измерений вносить поправки за счет влияния металлической крепи. Определению этих поправочных коэффициентов и посвящена данная работа. В настоящей работе предоставлено определение этих поправочных коэффициентов с помощью визуализации схемы к расчету поправочного коэффициента в кажущееся удельное электросопротивление при зондировании массива горных пород из подготовительной выработки с металлической крепью.

When solving the tasks of predicting the rock massif sections outburst risk in development and extraction workings, electrical survey methods are often used, in particular, the four-electrode sounding method of the

massif, where electrodes are placed on the roof or on the ground of the working. Metal support presence in the working significantly affects the measurement results up to the electric field complete disappearance, so the electrodes are buried in the massif. To obtain the true value of rock electrical resistivity, it is necessary to amend the measurement results due to the influence of metal support. The definition of these correction factors is the focus of this paper. In the present work, the definition of these correction factors is provided by visualizing the correction factor calculation scheme to the apparent electrical resistivity when sounding a rock massif from a development working with metal support.

**Ключевые слова:** ВЫБРОСООПАСНЫЕ ПЛАСТЫ, ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКА, ЧЕТЫРЕХЭЛЕКТРОДНЫЙ МЕТОД, КАЖУЩЕЕСЯ УДЕЛЬНОЕ ЭЛЕКТРОСОПРОТИВЛЕНИЕ, МЕТАЛЛИЧЕСКАЯ КРЕПЬ, ПОПРАВОЧНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ

**Key words:** OUTBURST HAZARDOUS SEAMS, ELECTRIC SURVEY, FOUR-ELECTRODE METHOD, APPARENT ELECTRICAL RESISTIVITY, METAL SUPPORT, CORRECTION FACTOR

Рассмотрим трехслойную среду (рис.1), в которой слои обозначены цифрами 1, 2, 3. Слой 3 представляет собой вмещающие угольный пласт породы, слой 2 мощностью  $h$  представляет собой металлическую крепь, слой 1 – саму выработку и вмещающие породы.

Пусть источники тока  $A$  и  $B$ , а также приемные электроды  $M$  и  $N$  расположены на одной линии и отстоят от границы слоя 2 на расстоянии  $z_1$  (см. рис.1). Измерительная установка симметрична (см. рис.1). Выберем начало цилиндрической системы координат в источнике тока  $A$  и направим ось  $z$  в направлении слоя 1. Как известно [1], решение уравнения Лапласа в цилиндрической системе координат выражается следующим образом

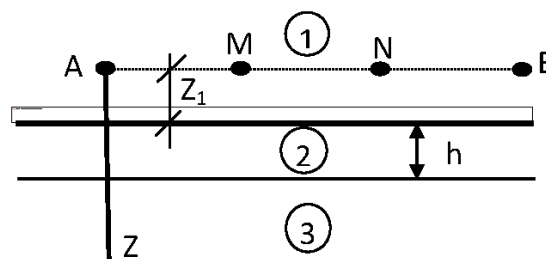


Рисунок 1 – Схема к расчету поправочного коэффициента в кажущееся удельное электросопротивление при зондировании массива горных пород из подготовительной выработки с металлической крепью  
 Figure 1 – Scheme for the calculation of the correction factor to the apparent electrical resistivity when sounding the rock massif from the development working with metal support

$$\begin{aligned}
 u_1^{(3)} &= \frac{\rho_1 I}{4\pi} \int_0^\infty A_1 \exp(-m \cdot z) J_0(m \cdot r) dm; \\
 u_2^{(3)} &= \frac{\rho_2 I}{4\pi} \left[ \int_0^\infty A_2 \exp(-m \cdot z) J_0(m \cdot r) dm + \int_0^\infty B_2 \exp(m \cdot z) J_0(m \cdot r) dm \right]; \\
 u_3^{(3)} &= \frac{\rho_3 I}{4\pi} \left[ \int_0^\infty \exp(-m \cdot |z|) J_0(m \cdot r) dm + \int_0^\infty B_3 \exp(m \cdot z) J_0(m \cdot r) dm \right],
 \end{aligned} \tag{1}$$

где цифра 3 в верхних индексах потенциала означает номер слоя, в котором расположен источник тока  $A$ , нижние индексы соответствуют потенциалам соответствующих слоев,  $\rho_{1,2,3}$  – удельное электросопротивление слоев;  $I$  – ток источника;  $J_0(m \cdot r)$  – функция Бесселя нулевого порядка;  $A_{1,2}$ ,  $B_{2,3}$  – постоянные коэффициенты, которые надлежит определить из граничных условий задачи

$$u_3^{(3)} \Big|_{r \rightarrow 0, z \rightarrow 0} = \frac{\rho_3 I}{4\pi \sqrt{r^2 + z^2}}; \quad u_3^{(3)} \Big|_{z \rightarrow -\infty} = 0; \quad u_1^{(3)} \Big|_{z \rightarrow \infty} = 0; \tag{2}$$

$$u_3^{(3)} \Big|_{z=z_1} = u_2^{(3)} \Big|_{z=z_1}; u_1^{(3)} \Big|_{z=z_1+h} = u_2^{(3)} \Big|_{z=z_1+h};$$

$$\frac{1}{\rho_3} \frac{\partial u_3^{(3)}}{\partial z} \Big|_{z=z_1} = \frac{1}{\rho_2} \frac{\partial u_2^{(3)}}{\partial z} \Big|_{z=z_1}; \frac{1}{\rho_2} \frac{\partial u_2^{(3)}}{\partial z} \Big|_{z=z_1+h} = \frac{1}{\rho_1} \frac{\partial u_1^{(3)}}{\partial z} \Big|_{z=z_1+h}.$$
(3)

Первые три граничных условия выполняются автоматически в силу записи решения в виде (1). Подставляя уравнения (1) в оставшиеся граничные условия (2, 3), получаем систему уравнений для произвольных постоянных  $A_{1,2}, B_{2,3}$ :

$$1 + B_3 \exp(2 m z_1) = \frac{\rho_2}{\rho_3} [A_2 + B_2 \exp(2 m z_1)];$$

$$A_1 = \frac{\rho_2}{\rho_1} [A_2 + B_2 \exp(2 m(z_1 + h))];$$

$$A_1 = A_2 - B_2 \exp(2 m(z_1 + h));$$

$$B_2 \exp(2 m z_1) - A_2 = B_3 \exp(2 m z_1) - 1.$$
(4)

Введем коэффициенты отражения слоев по формулам

$$k_1 = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1}, k_3 = \frac{\rho_3 - \rho_2}{\rho_3 + \rho_2}.$$
(5)

Тогда решение системы уравнений (4) имеет вид

$$A_2 = \frac{2 \exp(2 m h)}{k_1 k_3 + \exp(2 m h)}; B_2 = -\frac{2 k_1 \exp(-2 m z_1)}{k_1 k_3 + \exp(2 m h)};$$

$$B_3 = \frac{(k_1 k_3 - 2 k_1) \exp(-2 m z_1) - \exp(2 m(h - z_1))}{k_1 k_3 + \exp(2 m h)};$$

$$A_1 = \frac{2(1 + k_1) \exp(2 m h)}{k_1 k_3 + \exp(2 m h)}.$$
(6)

Поскольку удельное электросопротивление слоя 2 (металлическая крепь) равно нулю, то  $k_1 = -1; k_3 = 1$ . Отсюда  $B_3 = -\exp(-2 m z_1)$ .

Подстановка этого коэффициента в решение для потенциала третьего слоя дает

$$u_3^{(3)} = \frac{\rho_3 I}{4\pi} \left[ \int_0^\infty \exp(-m \cdot |z|) J_0(m \cdot r) dm - \int_0^\infty \exp(-m \cdot z_1) J_0(m \cdot r) dm \right],$$
(7)

откуда очевидно, что величина потенциала третьего слоя не зависит от мощности второго слоя, т.е. не зависит от толщины металлической крепи.

Оба интеграла в уравнении (7) представляют собой интегралы Вебера и легко вычисляются. Предположим, что зондирование массива (слоя 3) осуществляется практически с границы слоев 2 и 3, заглубление электродов (рис.1) в слой 3 равно  $Z_1$ , расстояние от источников тока  $A, B$  до точек измере-

ния  $M, N$  много больше координаты  $Z$ , т.е.  $r \gg Z$ . Тогда решение (7) может быть записано следующим образом

$$u_3^{(3)} = \frac{\rho_3 I}{4\pi r} \left[ 1 - 1 / \sqrt{1 + (2z_1/r)^2} \right]. \quad (8)$$

Это решение показывает, что при заглублении электродов, равном нулю, т.е.  $Z_1 = 0$ , происходит полное исчезновение поля, поэтому для исключения влияния металлической крепи нужно заглублять электроды в кровлю (почву) выработки.

Вычислим теперь кажущееся удельное электросопротивление слоя 3 при его зондировании симметричной четырехэлектродной установкой, изображенной на рис. 1, получим разность потенциалов между электродами  $M, N$

$$\Delta u_3^{(3)} = u_{3M}^{(3)} - u_{3N}^{(3)} = \frac{\rho_3 I}{4\pi} \left[ \frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} - \frac{1}{\sqrt{AM^2 + 4z_1^2}} + \frac{1}{\sqrt{BM^2 + 4z_1^2}} + \frac{1}{\sqrt{AN^2 + 4z_1^2}} - \frac{1}{\sqrt{BN^2 + 4z_1^2}} \right]. \quad (9)$$

Учитывая, что  $AM = BN, AN = BM, AN - AM = BM - BN = MN$ , получим

$$\Delta u_3^{(3)} = \frac{\rho_3 I}{2\pi} \left[ \frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{\sqrt{AM^2 + 4z_1^2}} + \frac{1}{\sqrt{AN^2 + 4z_1^2}} \right]. \quad (10)$$

По известной формуле электроразведки [1] считаем кажущееся удельное электросопротивление слоя 3

$$\rho_k = \frac{2\pi \Delta u_3^{(3)}}{I(1/AM - 1/AN)} = \rho_3 \left[ 1 - \frac{AN}{MN} \sqrt{1 + (2z_1/AM)^2} + \frac{AM}{MN} \sqrt{1 + (2z_1/AN)^2} \right] = C \rho_3.$$

Таким образом, чтобы получить истинное значение удельного электросопротивления вмещающих пород, нужно поделить полученное кажущееся удельное электросопротивление на поправочный коэффициент  $C_n$

$$C_n = \left[ 1 - \frac{AN}{MN} \sqrt{1 + (2z_1/AM)^2} + \frac{AM}{MN} \sqrt{1 + (2z_1/AN)^2} \right]. \quad (11)$$

В последней формуле фигурируют расстояния между электродами четырехэлектродной симметричной установки и величина заглубления электродов (см. рис. 1).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бурсиан В.Р. Теория электромагнитных полей, применяемых в электроразведке / Под ред. проф. А. С. Семенова и д-ра техн. наук С. М. Шейнманна. 2-е изд., испр. и доп. Ленинград : Недра. Ленингр. отд-ние, 1972. 367 с.

### REFERENCES

1. Bursian, V.R. (1972). *Teoriya elektromagnitnykh polei, primenyaemykh v elektrorazvedke* [Theory of electromagnetic fields used in electrical survey].Leningrad: Nedra [in Russian].



## II. ПОЖАРНАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ II. FIRE AND INDUSTRIAL SAFETY



**В. А. Портола // V.A. Portola**  
[portola2@yandex.ru](mailto:portola2@yandex.ru)

д-р техн. наук, проф., профессор ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева» (КузГТУ), Россия, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28  
doctor of technical sciences, professor of FGBOU VO "Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev" (KuzGTU), 28, Vesenniaia St., Kemerovo, 650000, Russia



**В. Г. Игишев // V.G. Igishev**  
[main@nc-vostnii.ru](mailto:main@nc-vostnii.ru)

д-р техн. наук, проф., академик АГН, научный консультант АО «НЦ ВостНИИ», Россия, 65002, г. Кемерово, ул. Институтская, 3  
doctor of technical sciences, professor, academician of AGN, scientific consultant of AO "ScC VostNII", 3, Institutskaia St., Kemerovo, 650002, Russia



**С. А. Син // S.A. Sin**  
[egidaservice@mail.ru](mailto:egidaservice@mail.ru)

генеральный директор ООО «Эгида Сервис», Россия, 650023, г. Кемерово, ул. Терешковой, 22-18  
general director of ООО "Egida Service", 22-18, Tereshkovoi St., Kemerovo, 650023, Russia



**А. Е. Овчинников // А.Ye. Ovchinnikov**  
[ovchinnikovae@suek.ru](mailto:ovchinnikovae@suek.ru)

аспирант ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева» (КузГТУ), Россия, 650026, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28  
postgraduate of FGBOU VO "Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev" (KuzGTU), 28, Vesenniaia St., Kemerovo, 650026, Russia

УДК 622.822

### АНАЛИЗ АВАРИЙНОСТИ И ПОЖАРООПАСНОСТИ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

### COAL MINE ACCIDENT RATE AND FIRE HAZARD ANALYSES

Приведены результаты анализа аварийности угольных шахт России. Показано, что в последние годы наблюдается снижение количества аварий, регистрируемых в угольных шахтах. В наибольшей степени уменьшилось количество взрывов, обрушений. Единичными являются внезапные выбросы, горные удары. Наиболее распространенным видом аварий в шахтах являются пожары. В последние годы доля пожаров на шахтах составляет более 50% от всех видов регистрируемых аварий и инцидентов. Пожароопасность угольных шахт (количество подземных пожаров на 1 млн. т. добытого угля) снизилась с 2006 по 2017 гг. с 0,125 до 0,083. Эндогенная пожароопасность снижается медленней, достигнув 0,031. Однако экономический ущерб, наносимый эндогенными пожарами, существенно увеличился за счет повышения стоимости угледобывающего оборудования и роста объема выработанного пространства, которое необходимо заполнять хладагентом. Для предупреждения самовозгорания необходимо использовать антипирогены и инертный газ.

Russia's coal mines accident rate analysis results are given. It is shown that in recent years there has been a decrease in the number of accidents recorded at coal mines. In the greatest degree decreased the number of explosions, failures. Sudden outbursts, rock shocks are single cases. The most common type of accident in mines are fires. In recent years, the part of fires in mines is more than 50% of all types of recorded accidents and incidents. The fire hazard of coal mines (the number of underground fires per 1 million tons of coal mined) decreased from 2006 to 2017 from 0.125 to 0.083. Endogenous fire hazard decreases more slowly, reaching 0.031. However, the economic damage caused by endogenous fires increased significantly due to an increase in the cost of coal-mining equipment and an increase in the volume of mined-out space, which must be filled with refrigerant. To prevent spontaneous combustion, it is necessary to use antipyrrogenes and inert gas.

**Ключевые слова:** ШАХТА, АВАРИЯ, САМОВОЗГОРАНИЕ УГЛЯ, ЭНДОГЕННАЯ ПОЖАРООПАСНОСТЬ, АНТИПИРОГЕНЫ, ИНЕРТНЫЙ ГАЗ

**Key words:** MINE, ACCIDENT, COAL SELFCOMBUSTION, ENDOGENOUS FIRE HAZARD, ANTIPYROGENES, INERT GAS

**В**ысокий уровень потенциальных опасностей, возникающих при ведении подземных горных работ, создает угрозу возникновения аварий и негативного воздействия опасных и вредных факторов на шахтеров. Для подземных работ характерен высокий уровень травматизма и риск развития профессиональных заболеваний. Наибольшее количество пострадавших на шахтах фиксируется в случае возникновения аварий. Аварии, происходящие на угольных шахтах, угрожают здоровью и жизни шахтеров, наносят экономический ущерб предприятиям.

Учитывая, что при добыче полезного ископаемого происходит выделение угольной пыли и горючего газа, наиболее опасной аварией на шахтах являются взрывы. Распространение ударной волны, высокой температуры и токсичных газов по горным выработкам может вызвать многочисленные жертвы. Наличие в шахтах горючих материалов и способного самовозгораться добываемого угля увеличивает вероятность возникновения подземных пожаров как экзогенного, так и эндогенного происхождения. Статистические данные по количеству различных аварий и инцидентов, зафиксированных на угольных шахтах России за последние годы, представлены в таблице 1.

Анализ приведенных данных показывает, что количество аварий и инцидентов на угольных шахтах России за рассматриваемый период существенно уменьшилось. Основными причинами выявленной тенденции снижения аварий-

ности можно считать укрепление дисциплины, усиление контроля производственных процессов, продолжающаяся ликвидация наиболее опасных предприятий. В наибольшей степени уменьшилось количество взрывов и вспышек горючих газов и угольной пыли, обрушений горных пород, прочих подземных аварий. Единичными остаются внезапные выбросы и горные удары. Существенную роль в сокращении количества аварий сыграли научные исследования опасных процессов и внедрение новых разработок в производство. Так, сокращению количества взрывов способствовало изучение процессов выделения метана в шахтах [1-6] и особенности возникновения и распространения взрыва в горных выработках [7-10]. Подготовка специалистов по предотвращению и ликвидации аварий [11] также привела к снижению уровня аварийности в шахтах.

В меньшей степени снизилось количество пожаров на угольных шахтах. Из приведенных в таблице 1 данных следует, что пожары являются наиболее распространенной аварией на угольных шахтах. В последние годы пожары на шахтах составляют более 50% от всех видов аварий и инцидентов. Распределение видов пожаров, возникающих на угольных шахтах России за последние годы, приведено в таблице 2.

Приведенные данные показывают, что в наибольшей степени на угольных шахтах снизилось количество экзогенных пожаров. Прослеживаемая тенденция может быть объяснена изучением проблемы пожароопасности используемых

Таблица 1. Аварийность шахт России в 2005-2017 гг.  
Table 1. The accident rate of the mines of Russia in 2005-2017 gg.

Год	Виды аварий и инцидентов					
	Всего аварий	Пожары	Взрывы, вспышки газа и пыли	Внезапные выбросы, горные удары	Обрушения	Прочие подземные аварии
2005	81	35	6	2	18	20
2006	75	32	5	1	20	17
2007	83	32	9	0	20	22
2008	49	29	2	0	9	9
2009	50	14	5	1	18	12
2010	52	26	5	0	13	8
2011	38	20	3	2	8	5
2012	29	15	4	1	4	5
2013	37	21	3	0	9	4
2014	28	17	4	0	4	3
2015	27	18	1	0	6	2
2016	20	12	1	0	4	3
2017	34	17	1	1	7	8

Таблица 2. Количество пожаров на шахтах России в 2005-2017 гг.  
Table 2. The number of fires in the mines of Russia in 2005-2017 gg

Год	Вид пожара						
	Всего пожаров	Пожары подземные эндогенные		Пожары подземные экзогенные		Пожары на поверхности	
		Всего	Доля от всех пожаров, %	Всего	Доля от всех пожаров, %	Всего	Доля от всех пожаров, %
2005	35	3	8,6	18	51,4	14	40
2006	32	5	15,7	13	40,6	14	43,7
2007	32	5	15,7	12	37,5	15	46,8
2008	29	4	13,8	8	27,6	17	58,6
2009	14	2	14,3	5	35,7	7	50,0
2010	26	5	19,2	14	53,8	7	27,0
2011	20	9	45,0	2	10,0	9	45,0
2012	15	3	20,0	6	40,0	6	40,0
2013	21	6	28,6	11	52,4	4	19,0
2014	17	4	23,5	5	29,4	8	47,1
2015	18	7	38,9	7	38,9	4	22,2
2016	12	0	0,0	5	41,6	7	58,4
2017	17	2	11,8	5	29,4	10	58,8

материалов [12,13], а также снижением объемов горючих материалов, применяемых при добыче угля. Наблюдается уменьшение количества пожаров, фиксируемых на поверхностных объектах угольных шахт. Данный факт можно связать с повышением эффективности средств обнаружения и тушения поверхностных пожаров. В то же время количество эндогенных пожаров на угольных шахтах снизилось незначительно, что свидетельствует о необходимости разработки и внедрении новых способов и средств борьбы с самовозгоранием угля.

Систематизация данных статистики о возникновении эндогенных пожаров является составной частью исследований по проблеме борьбы с самовозгоранием угля. Это позволяет выявить наиболее характерные для конкретных условий и времени факторы, обуславливающие пожароопасность бассейна, и ранжировать по эффективности меры, направленные на устранение причин, увеличивающих вероятность возникновения эндогенных пожаров в действующих и отработанных выемочных полях.

Эндогенную пожароопасность шахт сложно оценить по количеству возникших пожаров, так как объем добываемого угля может существенно изменяться в различные годы. Поэтому величину эндогенной пожароопасности принято оценивать по числу эндогенных пожаров, возникающих при отработке одного выемочного поля или при подземной добыче 1 млн. т угля. Дан-

ные по подземной добыче угля в России [14] и результаты расчета общей пожароопасности и эндогенной пожароопасности (количество пожаров на 1 млн. т добытого угля) шахт России за 2006- 2017 гг. приведены в таблице 3.

Приведенные данные свидетельствуют, что общая пожароопасность угольных шахт России в последние годы существенно снизилась, достигнув 0,083 пожаров на 1 млн. т добытого угля за последние четыре года. Эндогенная пожароопасность шахт снижалась меньшими темпами, составив 0,031 пожаров на 1 млн. т добытого угля. Уменьшению числа возникающих эндогенных пожаров способствовало дальнейшее изучение процесса самовозгорания и внедрение способов профилактики эндогенных пожаров [15-18].

Статистические данные о числе пожаров, возникших на шахтах Кузбасса, приведены в табл. 4. В таблице 4 учтены все эндогенные пожары и случаи самонагревания, в ликвидации которых приняли участие ВГСЧ.

Анализируя приведенные в табл. 4 данные, можно сделать вывод, что в Кузбассе большая часть подземных пожаров происходит от самовозгорания угля. Наблюдается резкое снижение количества эндогенных пожаров за период 1990-2000 гг. Основной причиной уменьшения эндогенной пожароопасности является закрытие наиболее опасных шахт Прокопьевско-Киселевского месторождения, обрабатывающих пласты

Таблица 3. Динамика подземной добычи угля и пожароопасности шахт России  
Table 3. Dynamics of underground coal mining and mines fire hazard in Russia

Год	Подземная добыча угля, млн т	Число подземных пожаров		Пожароопасность		Средняя пожароопасность	
		Всего	Эндогенных	Общая	Эндогенная	Общая	Эндогенная
2006	108,7	18	5	0,165	0,046	0,125	0,037
2007	109,6	17	5	0,155	0,045		
2008	104,9	12	4	0,114	0,038		
2009	107,4	7	2	0,065	0,018		
2010	102,1	19	5	0,186	0,049	0,137	0,056
2011	100,7	11	9	0,109	0,089		
2012	105,7	9	3	0,085	0,028		
2013	101,3	17	6	0,168	0,059		
2014	105,3	9	4	0,085	0,038	0,083	0,031
2015	103,6	14	7	0,135	0,067		
2016	104,3	5	0	0,048	0,00		
2017	105,4	7	2	0,066	0,019		

Таблица 4. Статистика возникновения пожаров на шахтах Кузбасса  
Table 4. Statistics of fires in the mines of Kuzbass

№	Год	Общее число пожаров	Эндогенные пожары	Экзогенные пожары
1	1992	33	29	4
2	1993	26	16	10
3	1994	26	17	8
4	1995	25	13	12
5	1996	24	19	5
6	1997	18	8	10
7	1998	20	12	8
8	1999	9	7	2
9	2000	5	3	2
10	2001	7	6	1
11	2002	6	2	4
12	2003	7	6	1
13	2004	8	8	0
14	2005	4	2	2
15	2006	4	3	1
16	2007	5	3	2
17	2008	2	2	0
18	2009	2	2	0
19	2010	6	4	2
20	2011	4	4	0
21	2012	7	7	0
22	2013	6	5	1
23	2014	2	1	1
24	2015	2	1	1
25	2016	1	0	1
26	2017	0	0	0
Итого		256	179	77



крутого залегания.

Вместе с тем, выполненная в данном разделе систематизация данных о возникших в анализируемые годы эндогенных пожарах позволяет сделать вывод о том, что эпицентр проблемы борьбы с самовозгоранием угля сместился в бассейн от регионов с преобладанием крутонаклонных и крутых пластов в регионы с пластами пологого и наклонного падения.

Средняя эндогенная пожароопасность шахт Кузбасса в 2001-2010 гг. уменьшилась от 0,09 до 0,07 пожаров на 1 млн. т добычи угля подземным способом. С 1993 г по 2000 г подземная добыча изменялась в пределах 83,6 -127,7 млн. т. в год. При общей добыче 817,1 млн. т. число эндогенных пожаров в этот период достигло 116. Относительная аварийность составила 0,14 пожара на 1 млн. т. добычи. Эти расчёты позволяют сделать вывод о том, что реструктуризация отрасли за счёт закрытия наиболее аварийных шахт позволила снизить эндогенную пожароопасность в Кузбассе в 1,6 раза. После завершения реструктуризации угольной отрасли эндогенная пожароопасность в Кузбассе стабилизировалась. Число пожаров на 1 млн. т. добычи, например, с 2005 по 2010 гг. изменялось в пределах 0,06 – 0,08 при среднем значении в этот период 0,07.

Однако при этом в исследуемые годы не изменилось распределение пожаров по местам возникновения. Доля эндогенных пожаров в выработанном пространстве действующих выемочных полей достигает 62 %. В изолированных полях их доля составляет только 27 %. В целиках и скоплениях угля у выработок возникло 11 % пожаров.

Таким образом, существенное сокращение количества эндогенных пожаров в Кузбассе произошло в результате ликвидации шахт, обрабатывающих угольные пласты крутого залегания. Однако очаги самовозгорания, возникающие в лавах, добывающих уголь на пологих пластах,

наносит большой экономический ущерб. Основной причиной такой ситуации является высокая стоимость оборудования, используемого для добычи угля. Применение способа изоляции для тушения эндогенного пожара, возникшего в действующем выемочном поле, нередко приводит к потере угледобывающих комплексов.

Также существенно возросли объемы выработанного пространства, где с большей вероятностью возникают очаги самовозгорания угля. Несовершенство применяемых способов обнаружения ранней стадии самовозгорания и способов локализации очагов в выработанном пространстве не позволяет определить местонахождение эндогенного пожара. В результате увеличилось количество хладагента, используемого для тушения возникших в выработанном пространстве эндогенных пожаров. О сложности возникшей ситуации свидетельствует резкое, в 6 раз, увеличение прямого ущерба на ликвидацию одного эндогенного пожара в Южном Кузбассе по сравнению с таковым для Прокопьевско-Киселёвского района.

Для снижения экономических затрат, необходимых для тушения возникающих эндогенных пожаров, необходимо шире применять способы профилактики самовозгорания угля. Среди специальных мероприятий можно выделить обработку угля антипирогенами и подачу в выработанное пространство инертного газа. Антипироген позволяет существенно снизить выделение тепла в угольном скоплении за счет уменьшения скорости сорбции кислорода при сохранении достаточно высокой концентрации кислорода в фильтрующемся через уголь воздухе. Использование инертного газа также сокращает выделение тепла в скоплениях угля, но эффект достигается за счет понижения концентрации кислорода в атмосфере выработанного пространства. Наиболее приемлемым для борьбы с эндогенными пожарами инертным газом является азот.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каледина Н.О., Кобылкин С.С. Моделирование процессов вентиляции шахт для обеспечения метанобезопасности горных работ // Горный журнал. 2011. № 7. С. 101-103.
2. Каледина Н.О., Малашкина В.А. Резервы повышения эффективности подземной дегазации угольных пластов с целью улучшения условий труда шахтеров // Горный журнал. 2017. № 6. С. 86-89.
3. Необходимость применения пластовой дегазации по уточненной газоносности пласта (на примере лавы № 449 шахты «Чертинская-Коксовая» / Козырева Е.Н. [и др.] // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2018. № 1. С. 14-19.
4. Каледина, Н.О., Рыжков А.В., Вальц В.А. Совершенствование проветривания высокогазообильных выемочных участков // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2007, Т. 13, № 1. С. 436-445.
5. Шинкевич, М.В., Козырева Е.Н. Проветривание выемочного участка при интенсивном метановыделении из обрабатываемого пласта // Вестник КузГТУ. 2017. № 2. С. 51-59.
6. Шинкевич, М.В. Газовыделение из обрабатываемого пласта с учётом геомеханических процессов во вме-

- шаюем массиве // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013, Отд. вып. № 6. С. 278-285.
7. Качурин Н.М., Борщевич А.М., Качурина О.Н. Системный подход к снижению риска и локализации последствий взрывов метана в угольных шахтах // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2010. № 4. С. 19-24.
  8. Портола В.А. Оценка концентрационных пределов взрывчатости угольной пыли // Вестник КузГТУ. 2016. № 5. С. 16–21
  9. Горение мелкодисперсных пылегазовоздушных смесей в горных выработках / Черданцев С.В. [и др.] // Физико-техн. проблемы разработки полезных ископаемых. 2018. № 2. С. 172-180.
  10. Экспериментальное исследование зажигания одиночных капель угольных суспензий и частиц угля в потоке окислителя / Вершинина К.Ю. [и др.] // Инженерно-физический журнал. 2017. Т. 90. № 1. С. 209-217.
  11. Каледина Н.О. Инженерная подготовка горноспасателей // Горный журнал. 2018. № 5. С. 86-89.
  12. Уварова В.А., Голоскоков С.И., Недосекина Н.М. Показатели пожароопасности шахтных конвейерных лент // Безопасность труда в промышленности. 2014. № 2. С. 54-58.
  13. Уварова В.А. Показатели пожароопасности полимерных материалов, применяемых при угледобыче подземным способом // Пожарная безопасность. 2014. № 2. С. 126-130.
  14. Таразанов И.Г. Итоги работы угольной промышленности России за январь-декабрь 2017 года // Уголь. 2018. № 3. С. 58-73.
  15. Син С.А., Портола В.А., Игишев В.Г. Повышение эффективности применения азота для борьбы с самовозгоранием угля в шахтах // Уголь. 2018. № 5. С. 51–57.
  16. Портола В.А., Храмов В.И. Влияние применяемых в шахтах составов на склонность угля к самовозгоранию // Безопасность труда в промышленности. 2017. № 2. С. 56–59.
  17. Скочинский А.А., Огиевский В.М. Рудничные пожары. М.: Изд-во «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2011. 375 с. (Библиотека горного инженера. Т. 16: Классики горной мысли, кн. 1).
  18. Портола В.А. О расчете инкубационного периода самовозгорания угля // Безопасность труда в промышленности. 2016. № 1. С. 46–49.

## REFERENCES

1. Kaledina, N.O., & Kobylkin, S.S. (2011). Modelirovanie protsessov ventilatsii shakht dlia obespecheniia metanobezопасности горных работ [Modelling of mine ventilation processes to ensure mining methane safety]. *Gornyy zhurnal – Mining Magazine*, 7, 101-103 [in Russian].
2. Kaledina, N.O., & Malashkina, V.A. (2017). Rezervy povysheniia ehffektivnosti podzemnoi degazatsii ugolnykh plastov s tseliu uluchsheniia uslovii truda shakhterov [Reserves for improving the efficiency of underground coal degassing in order to improve the miners working conditions]. *Gornyy zhurnal – Mining Magazine*, 6, 86-89 [in Russian].
3. Kozyreva, E.N., Shinkevich, M.V., Smirnov, S.R., & Isambetov, V.F. (2018). Neobhodimost primeneniia plastovoi degazatsii po utochnennoi gazonosnosti plasta (na primere lavy № 449 shakhty «Chertinskaya-Koksovaia») [The need for the use of seam degassing according to the specified seam gas content (on the example of number 449 longwall of the Chertinskaya-Koksovaia mine)]. *Vestnik Nauchnogo tsentra po bezопасности работ v ugolnoi promyshlennosti – Herald of Safety in Mining Industry Scientific Center*, 1, 14-19 [in Russian].
4. Kaledina, N.O., Ryzhkov, A.V., & Valts, V.A. (2007). Sovershenstvovanie provetrivaniia vysokogazoobilnykh vyemochnykh uchastkov [Ventilation improvement of high gas-content coal extraction sections]. *Gornyy informatsionno-analiticheskii biulleten – Mining Informational Analytical Bulletin*, v. 13, 1, 436-445 [in Russian].
5. Shinkevich, M.V., & Kozyreva, Ye.N. (2017). Provetrivanie vyemochnogo uchastka pri intensivnom metanovydelenii iz otrabatyvaемого plasta [Coal extraction section ventilation with high methane emission from the seam under work]. *Vestnik KuzGTU – KuzGTU Herald*, 2, 51-59 [in Russian].
6. Shinkevich, M.V. (2013). Gazovydenie iz otrabatyvaемого plasta s uchiotom geomeomekhanicheskikh protsessov vo vmeshchaiushchem massive [Gas emission from the seam under development, taking into account geomeomechanical processes in the bedding massif]. *Gornyy informatsionno-analiticheskii biulleten - Mining Informational Analytical Bulletin*, 6, 278-285 [in Russian].
7. Kachurin, N.M., Borshchevich, A.M., & Kachurina, O.N. (2010). Sistemnyi podhod k snizheniiu riska i lokalizatsii posledstviu vzryvov metana v ugolnykh shakhtakh [A systematic approach to reducing the risk and localizing coal mine methane explosion impacts]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Gornyy zhurnal – High School News. Mining Magazine*, 4, 19-24 [in Russian].
8. Portola, V.A. (2016). Otsenka kontsentratsionnykh predelov vzryvchatosti ugolnoi pyli [Coal dust explosiveness concentration limits evaluation]. *Vestnik KuzGTU – KuzGTU Herald*, 5, 16–21 [in Russian].
9. Cherdantsev, S.V., Un, Li Hi, Filatov, Yu.M., Botvenko, D.V., Shlapakov, P.A., & Kolykhalov, V.V. (2018). Gorenje melkodispersnykh pylegazovozdushnykh smesei v gornyykh vyra-botkakh [Combustion of fine dust-gas-air mixtures in mine openings]. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh – Physico-technical problems of mining*, 2, 172-180 [in Russian].
10. Vershinina, K.Yu., Glushkov, D.O., Kuznetsov, G.V., & Strizhak, P.A. (2017). Eksperimentalnoe issledovanie zazhiganiia odinoknykh kapel ugolnykh suspenzii i chastits uglya v potoke okislitelia [Single droplets of coal suspensions and coal particles in oxidizer stream ignition experimental study]. *Inzhenerno-fizicheskii zhurnal – Physical Engineering Journal*, V. 90, 1, 209-217 [in Russian].
11. Kaledina, N.O. (2018). Inzhenernaia podgotovka gornospasatelei [Mine rescuers engineering training]. *Gornyy zhurnal – Mining Magazine*, 5, 86-89 [in Russian].
12. Uvarova, V.A., Goloskokov, S.I., & Nedosekina, N.M. (2014). Pokazateli pozharоопасности shakhtnykh konveiernykh lent [Mine conveyor belts fire hazard indicators]. *Bezопасnost truda v promyshlennosti – Industrial Labor Safety*, 2, 54-58 [in Russian].
13. Uvarova, V.A. (2014). Pokazateli pozharоопасности polimernykh materialov, primenyaemykh pri ugledобыче podzemnym sposobom [Polymeric materials used in underground coal mining fire hazard indicators]. *Pozharnaya bezопасnost – Fire Safety*, 2, 126-130 [in Russian].

14. Tarazanov, I.G. (2017). Itogi raboty ugolnoi promyshlennosti Rossii za yanvar-dekabr 2017 goda [January-December 2017 coal industry in Russia activity results]. *Ugol – Coal*, 3, 58-73 [in Russian].
15. Sin, S.A., Portola, V.A., & Igishev, V.G. (2018). Povyshenie ehffektivnosti primeneniia azota dlia borby s samovozgoraniem uglia v shakhtakh [Nitrogen use efficiency increase for coal in mines spontaneous combustion suppression]. *Ugol – Coal*, 5, 51–57 [in Russian].
16. Portola, V.A., & Khramtsov, V.I. (2017). Vliianie primeniayemykh v shakhtakh sostavov na sklonnost uglia k samovozgoraniuu [The compositions used in mines influence on coal self-ignition proneness] [in Russian]. *Bezopasnost truda v promyshlennosti - Industrial Labor Safety*, 2, 56–59 [in Russian].
17. Skochinsky, A.A., & Ogievsky, V.M. (2011). *Rudnichnyie pozhary [Mine fires]*. Moscow: Gornoe delo [in Russian].
18. Portola, V.A. (2016). O raschete inkubatsionnogo perioda samovozgoraniia uglia [On coal spontaneous combustion incubation period calculation]. *Bezopasnost truda v promyshlennosti - Industrial Labor Safety*, 1, 46–49 [in Russian].



# GaSos

## Стационарный газоанализатор контроля параметров атмосферы в зоне выработанного пространства

### Блок GaSos.M1-DD

Отображение и передача измеренных данных

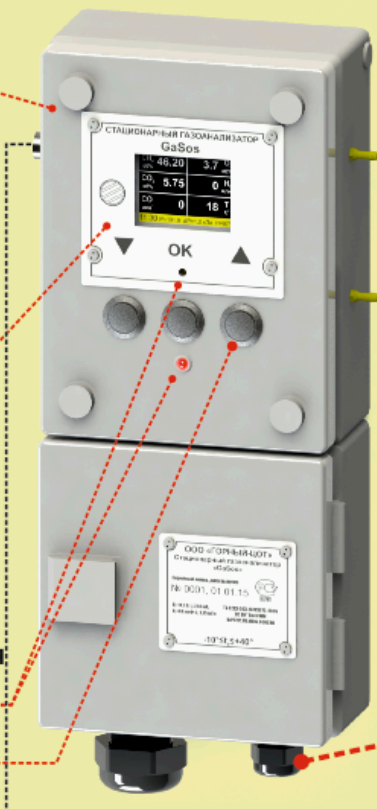
### Индикация

Отображение данных в режиме «онлайн» для всех измеренных параметров одновременно. Возможен вывод любой статистики в виде графиков или диаграмм

### Световая и звуковая сигнализация

### Управление

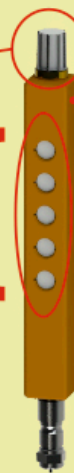
Антивандалные кнопки



### Зона выработанного пространства

T, H, P

CH4  
CO2  
O2  
CO  
H2



### Блок GaSos.M2-EU

Измерение до 5 газов одновременно, а также температуры, относительной влажности, абсолютного и дифференциального давления одним блоком диффузионным методом без пробоотборного насоса. Данная методика измерения позволяет снизить энергопотребление и повысить надежность газоанализатора

ООО "ГОРНЫЙ-ЦОТ"  
INDSAFE.RU

### Передача данных

Передача измеренных и расчетных данных в систему сбора информации шахты по цифровому интерфейсу RS-485





**А. И. Фомин // A. I. Fomin**  
ncvostnii@yandex.ru

д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник отдела АО «НЦ ВостНИИ», Россия, 650002, г. Кемерово, ул. Институтская, 3  
doctor of technical sciences, department leading scientific researcher, JSC «ScC VostNIi», 3, Institutskaya Street, Kemerovo, 650002, Russia



**И. М. Анисимов // I.M. Anisimov**  
i.m.anisimov25@gmail.com

аспирант ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева» (КузГТУ), Россия, 650026, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28  
postgraduate of FGBOU VO "Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev" (KuzGTU), 28, Vesenniaia St., Kemerovo, 650026, Russia

УДК 622;613.6.02;613.6.06:331.483.7

## РАЗРАБОТКА ПРОГРЕССИВНОЙ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ У РАБОТНИКОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ EMPLOYEES PROFESSIONAL DISEASES OCCURRENCE RISK MANAGEMENT PROGRESSIVE MODEL DEVELOPMENT WHEN MINING COAL DEPOSITS BY OPEN CAST METHOD

*Представлены исследования состояния условий труда в угольной промышленности. Отмечено, что высокая технологичность и рост темпов развития производственного комплекса предприятий угольной отрасли приводят к неизбежному возникновению и концентрации вредных факторов производственной среды на рабочих местах и, как следствие, увеличивают вероятность возникновения производственно-обусловленных и профессиональных заболеваний работников. Исследованиями подтверждается высокий уровень заболеваний, вызванных имеющимися на рабочих местах производственными факторами при ведении основных технологических операций при добыче угля открытым способом.*

*Главной научной задачей является разработка, обоснование и реализация мер по сохранению здоровья нации, минимизации воздействия вредных производственных и экологических факторов на здоровье человека, достижение оптимального качества жизни, эффективности производственной деятельности.*

*Профессиональная заболеваемость в РФ напрямую зависит от состояния условий труда работников. Данные об условиях труда позволяют установить связь между уровнем профессиональной заболеваемости и условиями труда работающих. Своевременное выявление риска формирования патологии является важным элементом системы сохранения жизни и здоровья работника. Уделено особое внимание сохранению работоспособности.*

*На основании проведенного анализа профессиональной заболеваемости по Кемеровской области у работников, занятых при разработке угольных месторождений открытым способом, разработана карта оценки рисков.*

*Улучшение условий труда, снижение профессиональных рисков при ведении горных работ открытым способом позволяют повышать экономическую эффективность труда, сохранять жизнь и здоровье работников, решать социальные и демографические проблемы страны.*

*Working condition state studies in the coal industry are presented. It is noted that high manufacturability and coal enterprises industrial complex rates growth lead to the inevitable occurrence and concentration of harmful factors of the working environment at workplaces and, as a result, increase the likelihood of employees' industrial and occupational diseases. Research confirms the high level of diseases caused by industrial factors at workplaces when conducting basic technological operations in coal mining by the open cast method.*

*The main scientific task is the development, justification and implementation of measures to preserve the health of the nation, minimize the impact of harmful industrial and environmental factors on human health, the achievement of an optimal quality of life, the efficiency of production activities.*

*Occupational morbidity in the Russian Federation directly depends on the employees' state of working conditions. Data on working conditions make it possible to establish a correlation between the level of occupational morbidity and the employees' working conditions. Timely detection of pathology forming risk is an*



*important element of an employee life and health preserving system. Special attention is paid to the capacity for work preservation.*

*Based on the conducted analysis of occupational morbidity in the Kemerovo Region for workers employed in the development of open-pit coal deposits, a risk assessment card was created.*

*Improving working conditions, reducing occupational hazards in open cast mining allow to increase the labor economic efficiency, preserve the workers life and health, and solve the country's social and demographic problems.*

**Ключевые слова:** УГОЛЬНАЯ ОТРАСЛЬ, ОТКРЫТАЯ РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, УСЛОВИЯ ТРУДА, УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ, ПРОИЗВОДСТВЕННО-ОБУСЛОВЛЕННЫЕ И ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ ЗАБОЛЕВАНИЯ

**Key words:** COAL INDUSTRY, OPEN CAST MINING OF MINERAL DEPOSITS, LABOR CONDITIONS, RISK MANAGEMENT, INDUSTRY-RELATED AND OCCUPATIONAL DISEASES

**В**ысокая технологичность и рост темпов развития производственного комплекса предприятий угольной отрасли приводят к неизбежному возникновению и концентрации вредных факторов производственной среды на рабочих местах и, как следствие, увеличивают вероятность возникновения производственно-обусловленных и профессиональных заболеваний работников.

Основой государственной социальной политики и главной научной задачей в настоящее время является разработка, обоснование и реализация мер по сохранению здоровья нации, минимизация воздействия вредных производственных и экологических факторов на здоровье человека, достижение оптимального качества жизни, эффективности производственной и иной деятельности населения России.

Выявление профзаболевания имеет две цели: на индивидуальном уровне – лечение, реабилитацию или социальную защиту заболевшего; на популяционном уровне – исключение или ограничение новых случаев заболеваний от этих же причин. В проблеме распознавания профзаболевания есть два аспекта: диагностика, то есть оценка значимости признаков и симптомов болезни, и установление причинно-следственной связи болезни с работой [1].

Первый аспект относится к организационно-правовым основам процедуры выявления профзаболевания, которые регламентируют процедурные, лечебные и затратные (финансовые) механизмы.

Второй аспект профессионально – производственной обусловленности заболевания устанавливает причинно-следственную связь болезни с работой, делая упор на общие подходы к решению этой задачи. Нахождение количественной меры этой связи (по эпидемиологическим данным как прямым доказательствам) и наличие её на основе гигиенической информации о характере и величине экспозиции и оценки

потенциального риска как косвенных надежных доказательств. Последнее особенно важно для групп повышенного риска и социальных последствий, например, проявляющихся в следующих поколениях или генетически наследуемых нарушений здоровья.

В отечественной практике экспертизы используют определение профзаболеваний как «особой категории болезней, возникающих исключительно или преимущественно при действии на организм профессиональных вредностей».

Профессиональная заболеваемость в Российской Федерации напрямую зависит от состояния условий труда работников. Данные об условиях труда позволяют установить связь между уровнем профессиональной заболеваемости и условиями труда работающих, что представляет особый интерес для Министерства труда и социального развития Российской Федерации и региональных органов по труду. Именно установление этих зависимостей может позволить органам по труду целенаправленно влиять на уровень профессиональной заболеваемости в стране путем соответствующего изменения условий труда работающих в наиболее опасных с точки зрения возникновения профессиональных заболеваний и профессиональных отравлений регионах Российской Федерации и отраслях экономики.

На угольных предприятиях условия труда характеризуются наличием целого ряда факторов, оказывающих вредное влияние на организм человека. К ним относятся: пыль, шум, вибрация, резкие перепады температур, повышенная влажность воздуха, необходимость работы в вынужденной позе, вредные газы и др. Воздействие указанных факторов вызывает профессиональные заболевания горняков. Профессиональная заболеваемость влечет за собой моральный и экономический ущерб государству, исчисляемый миллиардами рублей.

Причины значительного роста профессиональной заболеваемости работников угольной промышленности обусловлены целым комплексом причин: неудовлетворительными условиями труда; недостаточным уровнем учитываемых санитарно-гигиенических характеристик рабочих мест. Наряду с этими причинами следует учитывать и трудности ранней диагностики и рационального решения экспертных вопросов в профессиональной патологии, что требует обязательной специальной подготовки врачей, участвующих в проведении периодических медицинских осмотров. Вместе с тем общеизвестным фактом является и отсутствие профессиональных центров диагностики и лечения профзаболеваний, а также повсеместное отсутствие профилактики и реабилитации.

Технология ведения горных работ, эксплуатация технологического оборудования сопровождаются высоким пылеобразованием, выделением различных аэрозолей, химических веществ в воздух рабочей зоны, генерацией интенсивного шума, вибрации, наличием больших физических и нервно-эмоциональных нагрузок, неблагоприятными микроклиматическими и световым воздействием. Все эти условия определяют профессиональный риск и обуславливают нарушения здоровья работников угольных предприятий.

Причинами неблагополучия по профессиональной заболеваемости в Кемеровской области стали недостатки в организации технологического процесса, широкое использование устаревших технологий и техники, её физическая изношенность, нарушение режима труда и отдыха, несовершенство системы медицинского наблюдения и профилактики последствий воздействия вредных факторов производственной среды и трудового процесса, низкая санитарная культура работающих.

Серьёзное влияние на уровень профессиональной заболеваемости оказывает снижение объёмов предупредительных мероприятий, ставших следствием социально-экономических трудностей настоящего времени.

Реструктуризация медчастей, здравпунктов и цеховой терапевтической службы привели к ухудшению медицинского обслуживания работающих. Ликвидация цеховой терапевтической службы, низкий уровень организации медицинского обслуживания работающих не позволяет снижать заболеваемость с временной утратой трудоспособности.

Практически ликвидирована диспансеризация как профбольных, так и лиц с хроническими

заболеваниями, не проводятся медико-профилактические мероприятия по предупреждению профессиональной инвалидности. Сведена до минимума социальная реабилитация [1].

Сохранение рабочих кадров – приоритетная задача как для работодателя, так и для государства. Своевременное выявление риска формирования патологии является важным элементом системы сохранения жизни и здоровья работника. Значительная доля профессиональных заболеваний зарегистрирована у работников на открытой добыче угля [2].

Выявленные факторы риска обуславливаются способами разработки месторождений полезных ископаемых открытым способом, технологическими решениями и применяемым оборудованием, эргономической системой человек-машина. Также большую роль играет выбор горного оборудования, соответствующего санитарным требованиям по шуму и вибрации, его последующий ремонт и обслуживание в рамках установленного регламента. Но даже соблюдение всех необходимых мероприятий, направленных на эксплуатацию оборудования в рамках технологических норм, не гарантирует безопасные условия труда. Не говоря о том, что такие факторы, как тяжесть и напряженность трудового процесса, в целом остаются без внимания [3].

В связи с этим основным инструментом сохранения работоспособности работников, попадающих в группу риска формирования профессионального заболевания, являются дополнительные организационные мероприятия, не предусмотренные действующим законодательством на территории Российской Федерации и инструкциями по эксплуатации технологического оборудования.

Раннее, при рассмотрении различных групп работников, были выявлены основные рабочие профессии группы риска [3]. В данную группу входят водители карьерного транспорта, машинисты экскаваторов и машинисты бульдозеров. Данные профессии составляют основной фонд выявленных профессиональных заболеваний у работников угольных разрезов. Следовательно, необходимо составить характеристику профессий группы риска в исследуемой отрасли (табл. 1).

Характеристика подтверждает отнесение данных профессий к общей группе риска. В данный перечень можно отнести и работников иных профессий, выполняющих работы при разработке угля открытым способом, которые соответствуют данной характеристике.

Основными факторами при выявлении

Таблица 1. Характеристика профессий группы риска  
Table 1. Risk group occupations characteristics

Профессия	Описание процесса выполняемой работы	Режим работы	Закономерные вредные производственные факторы
Водитель карьерного транспорта	Управление технологической машиной непосредственно из кабины; эксплуатационное обслуживание; ремонт	Сменный, 12 часов	Производственный шум, вибрация инфразвук, пониженная (повышенная) температура воздуха, аэрозоли, тяжесть, напряженность трудового процесса
Машинист бульдозера			
Машинист экскаватора			
Машинист буровой установки			

профессиональных заболеваний являются вибрация – 48%, тяжесть трудового процесса – 36%, шум – 10%. Остальные характерные факторы также играют важную роль в процессе формирования профессионального заболевания, но не являются ключевыми. Реализуемые меры по устранению сопутствующих факторов не будут напрямую влиять на процесс становления профессионального заболевания.

Не последнюю роль играет структура устанавливаемых диагнозов по выявляемым профессиональным заболеваниям, особенно примечательно изменение структуры ключевых заболеваний за 15 лет. Данные сравнения приведены в таблице 2 [6].

Из представленных в таблице 2 данных следует вывод о изменившейся ситуации с основными направлениями ключевых профессиональных заболеваниях, при этом в абсолютном выражении количество профессиональных заболеваний с 2003 года сократилось в Кемеровской области всего на треть. Тогда как в целом по Российской Федерации снижение произошло на 50% [2].

Машинисты механизированных машин составляют более 86% из общего числа профессий, работникам которых установлены про-

фессиональные заболевания, без учета трактористов и машинистов тепловозов, занятых в профильной отрасли.

Несмотря на изменение методов анализа условий труда в рамках проведения специальной оценки, анализ действия виброакустических факторов, тяжести и напряженности трудового процесса играет в актуальной методике существенную роль [4]. В свою очередь, сопутствующие факторы, которые также отражены в характеристике профессий группы риска, не выявляются в полном объеме. Соответственно опираться на них при действующей СОУТ не представляется возможным. Например, такой фактор, как охлаждающий (нагревающий) микроклимат, будет учитываться только в производственных помещениях. Исходя из характеристики, профессии группы риска не задействованы в работах внутри производственных помещений. Но работники регулярно подвергаются воздействию пониженных (в зимнее время) или повышенных температур (в летнее время) ввиду климатических особенностей Кузнецкого угольного бассейна, что отрицательно сказывается на темпах формирования профессиональных заболеваний.

В современных экономических условиях,

Таблица 2. Сравнение структуры устанавливаемых диагнозов по профессиональным заболеваниям  
Table 2. Occupational diseases established diagnoses structure comparison

Профессиональное заболевание	1999-2003 годы	2015-2016 годы
Вибрационная болезнь	16,2%	46%
Нейросенсорная тугоухость	22,2%	10%
Болезни костно-мышечной системы и опорно-двигательного аппарата	48%	20%

где главным ресурсом для предприятия являются квалифицированные рабочие кадры, необходимо уделить особое внимание сохранению работоспособности работников. Но при этом сложно не перейти грань, после которой работник в производственных условиях незаметно для себя начинает работать уже не только на благо работодателя, но и на процесс развития патологических изменений в организме человека, развития общих и профессиональных заболеваний, вызванных факторами производственной среды и трудового процесса, которые в будущем могут полностью вывести из группы трудоспособного населения данного работника.

Для сокращения вероятности наступления неблагоприятных событий при действующей нормативной базе работодателю необходимо уделять внимание производственному контролю на предприятии. Производственный контроль вредных факторов на всех технологических стадиях рабочего процесса может показать объективную картину условий труда, в которых пребывает работник. Используя результаты производственного контроля, можно внести перечень профессий на предприятии в группу риска формирования профессионального заболевания. В соответствии с данным перечнем существует возможность создания «базы здоровья» работников предприятия.

На основании проведенного анализа профессиональной заболеваемости по Кемеровской области у работников, занятых при разработке угольных месторождений открытым способом, разработана карта оценки рисков (табл. 3) [3].

В соответствии с картой оценки рисков («база здоровья» предприятия) можно выделить конкретных работников, чья работоспособность

Таблица 3. Карта оценки рисков получения профессионального заболевания у работников группы риска разрезов Кузбасса  
Table 3. Risk assessment card of occupational disease formation among risk group employees at Kuzbass open-cast mines

Стаж работы с ВПФ	Уровень риска, %.
Менее 6 лет	0,1
6-10 лет	1,2
11-15 лет	8,2
16-20 лет	27,7
21-25 лет	55,7
26-30 лет	83,4
31 год и более	100

и здоровье могут находиться под угрозой. После выявления данных работников необходимо регулярно проводить дополнительные медицинские обследования, снижать интенсивность работ в условиях действия данных вредных и опасных производственных факторов, регламентировать режим труда и отдыха работников.

На основании полученных данных об уровне профессионального риска работников, занятых при разработке угольных месторождений открытым способом, разработана прогрессивная модель управления рисками возникновения профессиональной заболеваемости (табл. 4).

Из прогрессивной модели управления профессиональными рисками исключён стаж работы менее 11 лет ввиду показательно невысокого уровня профессиональной заболеваемости при данном стаже работ. Соответственно необходимость ужесточения путем государственного регулирования не выявлена, но и не исключена возможность дополнительного управления

Таблица 4. Прогрессивная модель управления рисками возникновения профессиональной заболеваемости

Table 4. Progressive model of managing the occupational morbidity occurrence risks

Стаж работы с ВПФ, год	Метод управления				
	11-15	Учащение периодичности производственного контроля на данных рабочих местах (необходима ежеквартальная оценка уровня действия ВПФ)	Увеличение периодичности медицинских осмотров в 2 раза	Направление в центр профпатологии не реже одного раза в 3 года	Запрет трудовой деятельности по профессиям группы риска
16-20					
21-25					
26-30					
≥ 31					



группой риска локальными нормативными документами работодателя ввиду особенностей производственной деятельности и финансово-экономического положения.

Задача по снижению профессиональной заболеваемости носит комплексный характер. В решении данной задачи заинтересовано не только горное предприятие, на котором трудятся работники группы риска, но и государство [5]. Создание комплексных информационных систем с актуальной информацией о трудовой деятельности, условиях труда работника дает возможность прогнозирования и исключения наступления негативных последствий. Механиз-

мы, направленные на компенсацию потерянного здоровья и трудоспособности работников, показывают свою несостоятельность. Имеется необходимость на законодательном уровне закрепления основных принципов риск-ориентированного подхода в оценке вероятности возникновения профессиональных заболеваний.

Улучшение условий труда, снижение профессиональных рисков работников при ведении горных работ открытым способом позволяет повышать экономическую эффективность труда, сохранять жизнь и здоровье работников, решать социальные и демографические проблемы России.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фомин А. И. Оценка условий труда при расследовании и регистрации случаев профзаболеваний в угольной отрасли: Научное издание ФГУП НЦ ВостНИИ. Кемерово, 2007. 202 с.
2. Анисимов И.М. Обзор уровня профессиональной заболеваемости в Кемеровской области // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. Сибресурс 2016. Материалы XVI Международной научно-практической конференции, 23-24 ноября 2016 г., Кемерово.
3. Риск формирования профессиональных заболеваний при разработке угольных месторождений открытым способом / Фомин А.И. [и др.] // Безопасность труда в промышленности. 2017. № 10. С. 65-71.
4. Методика проведения СОУТ. Приложение №1 к приказу Минтруда Российской от 24 января 2014 года №33н. М.: Минюст России, 2014, 90 с. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
5. Публичная декларация целей и задач Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации на 2017 год. утв Минтрудом России 30.03.2017. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
6. Олещенко А.М. Гигиенические основы оценки риска заболеваемости шахтеров угольных разрезов Кузбасса: Дисс... докт. мед. наук. Новокузнецк, 2004. С. 151-152.

### REFERENCES

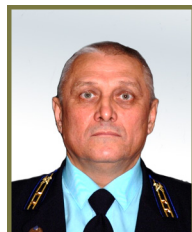
1. Fomin, A.I. (2007). *Otsenka uslovii truda pri rassledovanii i registratsii sluchaev profzabolevanii v ugolnoi otrasli* [Assessment of working conditions in the investigation and registration of occupational diseases cases in the coal industry]. Kemerovo: FGUP ScC VostNII scientific publishing [in Russian].
2. Anisimov, I.M. (2016). *Obzor urovnia professionalnoi zaboлеваemosti v Kemerovskoi oblasti* [Survey of occupational morbidity in the Kemerovo region]. *Proceeds from: Natural and intellectual resources of Siberia. Sibresource 2016.:XVI Mezhdunarodnaia nauchno-prakticheskaja konferentsiia, 23-24 noiabria 2016 goda – XVI International Scientific and Practical Conference*. Kemerovo: [in Russian].
3. Fomin, A.I., Sobolev, V.V., Sazonov, M.S., Anisimov, I.M., & Malysheva, M.N. (2017). *Risk formirovaniia professionalnykh zabolevanii pri razrabotke ugolnykh mestorozhdenii otkryтым sposobom* [Occupational diseases forming risk when developing coal deposits by an open-cast method]. *Bezopasnost truda v promyshlennosti – labor Safety in Industry, 10*, 65-71 [in Russian].
4. *Metodika provedeniia SOUT. Prilozhenie №1 k prikazu Mintruda Rossijskoj ot 24 yanvaria 2014 goda №33n* [Methods of SOUT (special assessment of working conditions) conducting. Appendix No. 1 to the Order of the Ministry of Labor of the Russian Federation of January 24, 2014 No. 33n]. Moscow: Ministry of Justice of Russia. Retrieved from: "Consultant Plus" [in Russian]
5. *Publichnaia deklaratsiia tselei i zadach Ministerstva truda i sotsialnoi zashchity Rossiiskoi Federatsii na 2017 god. utv Mintrudom Rossii 30.03.2017.* [Public declaration of the goals and objectives of the Ministry of Labor and Social Protection of the Russian Federation for 2017. Approved by the Ministry of Labor of Russia 30.03.2017]. Retrieved from "Consultant Plus" [in Russian].
6. Oleshchenko, A.M. (2004). *Gigienicheskie osnovy otsenki riska zaboлеваemosti shakhterov ugolnykh razrezov Kuzbassa* [Hygienic basis for assessing the morbidity risk for coal miners at Kuzbass open-cast coal mines]. *Doctor's thesis*. Novokuznetsk [in Russian].


**А.С. Голик // A.S. Golik**

д-р техн. наук, проф., академик АГН, МАНЭБ, заслуженный деятель науки, научный консультант АО «НЦ ВостНИИ», 650002, Россия, г. Кемерово, ул. Институтская, 2  
 doctor of technical sciences, professor, academician of AGN, MANEB, honoured science worker, scientific consultant of AO "ScC VostNII", 2, Institutskaia St., Kemerovo, 650002, Russia


**А.С. Ярош // A.S. Yarosh  
rosniigdbuh@mail.ru**

канд. техн. наук, академик МАНЭБ, генеральный директор АО «НИИГД», 650002, Россия, г. Кемерово, пр-т Шахтеров, 14  
 candidate of technical sciences, academician of MANEB, general director of AO "NIIGD", 14, Shakhтеров Av., Kemerovo, 650002, Russia


**С.В. Новоселов //  
S. V. Novoselov**

канд. экон. наук, доцент, академик МАНЭБ, ведущий научный сотрудник АО «НИИГД», 650002, Россия, г. Кемерово, пр-т Шахтеров, 14  
 candidate of economic sciences, academician of MANEB, leading researcher of of AO "NIIGD", 14, Shakhтеров Av., Kemerovo, 650002, Russia


**В.Б. Попов // V.B. Popov**

д-р техн. наук, проф., академик МАНЭБ, научный консультант АО «НЦ ВостНИИ», 650002, Россия, г. Кемерово, ул. Институтская, 2  
 doctor of technical sciences, professor, academician of MANEB, scientific consultant of AO "ScC VostNII", 2, Institutskaia St., Kemerovo, 650002, Russia

УДК 614.8:622:658.3

## СИСТЕМА ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТНИКОВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ ПРИ ЛОКАЛИЗАЦИИ И ЛИКВИДАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ПОЖАРОВ, ОСЛОЖНЕННЫХ ВЗРЫВАМИ МЕТАНОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ COAL MINE WORKERS LIFE SUPPORT SYSTEM IN CASES OF UNDERGROUND FIRES COMPLICATED BY METHANE-AIR MIXTURE EXPLOSIONS CONTROL AND FIGHTING

*В статье раскрыты основные положения системы жизнеобеспечения работников угольных шахт при локализации и ликвидации подземных пожаров, осложненных взрывами метановоздушной смеси. Приведена классификация основных способов по тушению пожаров: активные, пассивные, комбинированные и инновационные способы тушения пожаров. Основная идея концепции - оснащение ВГСЧ современной мобильной многофункциональной техникой и тренировка персонала - в целом определяет превентивную политику.*

*The article describes the main provisions of coal mine workers life support system at control and fighting the underground fires complicated by methane-air mixture explosions. The classification of the main ways to extinguish fires: active methods of extinguishing fires, passive methods of extinguishing fires, combined methods of extinguishing fires, innovative ones. The main idea of the concept is equipping VGSC (Mine Rescue Unit) with modern mobile multifunctional equipment and personnel training, which generally determines the preventive policy.*

**Ключевые слова:** АВАРИЯ, СИСТЕМА ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ, «ЗОЛОТОЙ ЧАС», ОПЕРАТИВНОСТЬ, ЛОКАЛИЗАЦИЯ, ЛИКВИДАЦИЯ, МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГОРНОСПАСАТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС  
**Key words:** ACCIDENT, LIFE SUPPORT SYSTEM, "GOLDEN HOUR", EFFICIENCY, CONTROL, FIGHTING, MULTIFUNCTIONAL MINE RESCUE COMPLEX

Современные тенденции развития угольной промышленности России определяются радикальным увеличением нагрузки на очистные забои, где рекордсмены добывают более 50000 т/сутки, что в свою очередь, требует адекватного развития системы безопасности. Добыча ведется и на шахтах III категории, и сверхкатегорийных с от-

носительной метанообильностью соответственно более 10 м<sup>3</sup>/т и 15 м<sup>3</sup>/т, поэтому априори попадающих в категорию опасных шахт по взрыву метана и угольной пыли, что определено ПБ [1, С. 91].

При несложных расчетах, по техническим характеристикам скорости подачи комбайна 30 м/мин (есть выше), мощности пласта 5 м и

ширине захвата 1 м – будем иметь даже при коэффициенте газоотдачи пласта  $k = 0,2$ , порядка 450 м<sup>3</sup> метана в минуту, а количество воздуха в очистной забой за минуту при максимальных сечениях лавы и скорости воздуха, составит произведение:  $12\text{ м}^2 \cdot 4\text{ м/с} \cdot 60\text{ с} = 2880\text{ м}^3/\text{мин}$ , следовательно, при ориентировочном объемном расчете метаноздушной смеси получаем соотношение 1:6,4 или концентрацию  $\text{CH}_4$  в 13,5 %.

Это, конечно, укрупненный расчет, но даже при любых допущениях данное настораживает, т.к. коэффициент естественной дегазации массива угля очистной выработки в первые полчаса может достигать  $k_{\text{ео}} = 0,7$  и более, согласно графика [2, С. 291].

Расчеты варьирования концентрации метана в очистном забое при различных скоростях очистного комбайна, метанообильности и коэффициента десорбции метана приведены в [3, С. 33], при этом массовая доля метана в смеси и концентрация метана может быть снижена до нормальных условий работы, только при использовании предварительной дегазации с коэффициентом дегазации  $k_{\text{еоз}} \geq 0,5$ , при этом расчетная массовая доля метана в смеси снижается в 4 раза, в корреляции с объемной концентрацией метана, которая с диапазона 1,5 – 9,9%, уходит в диапазон 0,4–2,7%, резко снижая вероятность наступления взрыва метана.

Статистика смертельного травматизма, взрывов метана на основе данных, приведенных [4] (см. табл. 1), позволяет сделать вывод: 1 взрыв – в 1,5 года, с максимальным периодом в 3 года между авариями, происходит 1 взрыв метановоздушной смеси (МВС). Однако мы уточняем, что аварии, связанные со взрывами метана, как определил Бабенко А.Г. [4], имеют причину – взрыв, а точнее – **совпадение двух причин (факторов), приводящих к взрыву метана: взрывоопасной концентрации 4–14% и температуры 650–750 °С.**

При анализе данных отчетов о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору [6], [7], [8] (см. табл. 2) по динамике общего количества взрывов и вспышек метана за период 2003–2017гг., по методу наименьших квадратов, уравнение линейного тренда (1) получены закономерности: количества произошедших взрывов (2), развития добычи (3), удельного показателя смертельного травматизма (4).

$$Y_t = a + b \cdot t, \quad (1)$$

$t$  – условное обозначение периодов ;

$n$  – количество лет в динамическом ряде.

Коэффициенты  $a$  и  $b$  определяются по вы-

ражениям:

$$a = \frac{\sum Y_i}{n} = \frac{178}{15} = 11,86$$

$$b = \frac{\sum Y_i \cdot t_i}{t_i^2} = \frac{280}{-112} = -2,5$$

$$Y_{\text{ат}} = 11,86 - 2,5t \quad (2)$$

$$Y_{\text{дт}} = 326,67 + 0,102t \quad (3)$$

$$Y_{\text{т}} = 0,24 - 0,03t \quad (4)$$

В целом (2), (3), (4) характеризуют положительное развитие угольной отрасли России: аварийность снижается на 2,5 аварии в год, смертельный травматизм на 0,03 чел/млн т в год, а добыча растет на 100000 тонн в год.

Однако математическими методами спрогнозировать точное количество аварий (продляя линейный тренд), а тем более время наступления аварии невозможно (иррациональный прогноз и высокая неопределенность), хотя вероятность (риски), безусловно, надо рассчитывать для ранжирования наиболее опасных объектов. Такие расчеты раскрывают превентивную меру опасности в процессе добычи.

На шахтах России функционируют новейшие многофункциональные системы безопасности: это системы «Радиус-2», РадиусСкан (ЗАО НВИЦ «Радиус», Красноярск), СУБР-1П (ООО «Ингортех», Екатеринбург), система PED (ООО «НПФ «Комплексные автоматизированные системы» («КАС», IAS), дистрибьютор Mine Site Technologies, Австралия), «Талнах» (Компания «Информационная Индустрия»), MCA 1000 (MineCom, в составе PBE Group) и FLEXCOM (MRS (Mine Radio Systems), в составе PBE Group), «МИКОН» (аэрогазовый контроль); ООО НПФ «ГРАНЧ» – система ГОРНАСС (SBGPS) и др.

Пока никакие системы безопасности на 100% не могут гарантировать исключения аварии. Шахта - это опасное производство, и в ней присутствуют факторы неопределенности и риска, человеческий фактор, теория надежности машин и механизмов, наработка на отказ электрооборудования, усталость металла и т.д., которые никто отменить «приказом» не может, поэтому при определенном стечении неблагоприятных факторов-инициаторов аварии происходят.

Тогда, в первую очередь, требуются ВГСЧ, МЧС, пожарные, медики и другие органы государственных служб, обеспечивающие жизнеобеспечение работников угольных шахт при локализации и ликвидации аварий.

Самое проблематичное в данных ситуациях – это жизнеобеспечение работников уголь-

Таблица 1. Характеристика взрывов метана на угольных шахтах в России за период 1992-2016гг.  
Table 1. Methane explosion characteristics in coal mines in Russia for the period of 1992-2016.

Дата	Шахта	Причина взрыва	Смертельный травматизм, чел
01.12.1992	Шевякова	Взрыв МВС	25
04.09.1995	Первомайская	Выброс метана	15
22.08.1997	Шахта №12	Выброс метана	5
2.12.1997	Зырянская	Взрыв МВС	67
21.03.2000	Комсомолец	Взрыв МВС	12
16.06.2003	Зиминка	Взрыв МВС	12
10.01.2004	Сибирская	Взрыв МВС и последующий экзогенный пожар	6
16.04.2004	Тайжина	Взрыв МВС	47
28.10.2004	Листвяжная	Взрыв МВС	13
09.02.2005	Есаульская	Взрыв МВС	25
19.03.2007	Ульяновская	Взрыв ПМВС	110
24.05.2007	Юбилейная	Взрыв МВС	39
8-9.05.2010	Распадская	Взрыв МВС	91
20.01.2013	Шахта №7	Взрыв МВС	8
25-29.02.2016	Северная	Взрыв МВС и последующий пожар	36

Таблица 2. Динамика общего количества взрывов и вспышек метана ( $Y_{ai}$ ) за период времени ( $t_i$ ) 2003-2017гг.

Table 2. Methane explosions and flares total number dynamics ( $Y_{ai}$ ) over 2003-2017 period of time ( $t_i$ )

Год ( $n$ )	Кол-во аварий, $Y_{ai}$	Добыча угля, $Y_{di}$ млн т	Удельный травматизм, $Y_{mi}$ чел./млн т	Период, $t_i$	$Y_i \cdot t_i$	$t_i^2$
2003	7	270,3	0,37	-7	-49	49
2004	9	284,5	0,52	-6	-54	36
2005	8	300,2	0,36	-5	-40	25
2006	23	214,1	0,23	-4	-92	16
2007	21	316,0	0,73	-3	-63	9
2008	12	319,47	0,16	-2	-24	4
2009	9	301,79	0,15	-1	-9	1
2010	22	323,16	0,41	0	0	0
2011	13	337,4	0,13	1	13	1
2012	16	355,2	0,10	2	32	4
2013	11	352,01	0,17	3	33	9
2014	8	358,2	0,07	4	32	16
2015	8	373,4	0,05	5	40	25
2016	8	385,4	0,14	6	48	36
2017	3	408,9	0,044	7	21	49
$\Sigma 15$	178			0	-112	280

ных шахт при локализации и ликвидации подземных пожаров, осложненных взрывами МВС, или взрывов МВС, осложненных пожарами.

Организованность служб в послеаварийный момент времени особенно важна. Это время у горноспасателей называется «золотым ча-

сом», и, как отмечалось в [5], пока превышает время «золотого часа». Сразу извечный вопрос: что делать? Ответ логичен: сокращать время. Но как? Поэтому в настоящее время специалистами АО «НИИГД», Региональным Сибирским отделением МАНЭБ, ФГКУ ДПО «Националь-



ный аэромобильный спасательный учебно-тренировочный центр подготовки горноспасателей и шахтеров» МЧС России, ООО «Сибэлэктро» реально ведутся работы по созданию спасательной техники.

Авторами предлагается концепция **системы жизнеобеспечения работников угольных шахт в аспекте локализации и ликвидации подземных пожаров, осложненных взрывами метановоздушной смеси** или взрывов МВС, осложненных пожарами (рис. 1).

Эффективность взаимодействия в системе жизнеобеспечения работников угольных шахт в аварийной ситуации, при локализации и ликвидации подземных пожаров, осложненных взрывами метановоздушной смеси, в первую очередь определяется оперативностью и правильностью действий горного диспетчера и его связи с ВГСЧ. В принципе, в системной концепции нет ненужных элементов, важна опера-

тивность и четкое выполнение задач от горного диспетчера до 4-го респираторщика в отделении горноспасателей при движении к месту аварии.

Концепция системы жизнеобеспечения работников угольных шахт при локализации и ликвидации подземных пожаров, осложненных взрывами метановоздушной смеси (см. рис.1), разработанная в АО «НИИГД» г.Кемерово, позволяет при внедрении проектов [9] и других разработок, проведенных в институте в практику, максимально снизить человеческие жертвы и материальный ущерб.

Как уже отмечалось [10], АО НИИГД ближе всех приблизилась к практической реализации проекта мобильного многофункционального горноспасательного комплекса с элементами роботизации для ликвидации последствий аварий в горных выработках шахт и рудников.

Кроме того, АО НИИГД проводится технико-экономическое обоснование данных про-

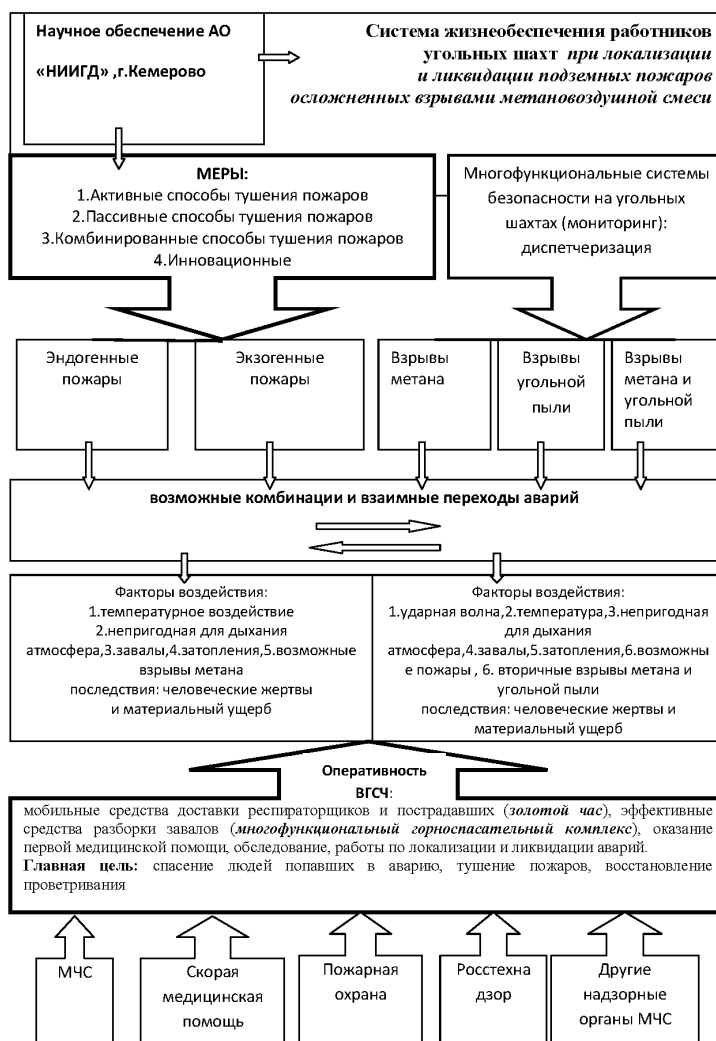


Рисунок 1 – Взаимодействие в системе жизнеобеспечения работников угольных шахт при локализации и ликвидации подземных пожаров, осложненных взрывами метановоздушной смеси (концепция АО «НИИГД», г. Кемерово)  
 Figure 1 – Interaction in the life support system for coal mine workers at control and fighting of underground fires, complicated by methane-air explosions (concept of AO “NIIGD”, Kemerovo)

ектов, предварительные результаты которых доказывают их уникальность, экономичность и конкурентоспособность по сравнению с мировыми аналогами.

Следовательно, только инновационное оснащение ВГСЧ позволит реализовать Единую

систему спасения шахтеров и один из ее важнейших элементов «Систему жизнеобеспечения работников угольных шахт при локализации и ликвидации подземных пожаров, осложненных взрывами метановоздушной смеси», в целях минимизации человеческих жертв и материального ущерба.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила безопасности в угольных шахтах (ПБ 05-618-03). Серия 05. Выпуск 11 / Колл. авт. М.: Федеральное государственное предприятие «Научно-технический центр по безопасности в промышленности», 2005. 296с.
2. Подготовка и разработка высокогазоносных угольных пластов: Справочное пособие / Артемьев В.Б. [и др.]. Под общ. ред. А.Д. Рубана, М.ИМ. Щадова. М.: Изд-во «Горная книга», 2010. 500 с.
3. Новоселов С.В., Панихидников С.А. Основной путь ликвидации взрывов метана в высоконагруженных забоях угольных шахт, опасных по газу, - предупреждение создания взрывоопасной метановоздушной смеси // Уголь. 2018. № 4. С. 31-35.
4. Бабенко А.Г. Теоретическое обоснование и методология повышения уровня охраны труда в угольных шахтах на основе риск-ориентированного подхода и многофункциональных систем безопасности: Дисс. доктр. техн. наук. Екатеринбург, 2018.-259с.
5. Концепция единой системы спасения шахтеров при авариях и катастрофах в шахтах / Голик А.С. [и др.] // Пожарная и промышленная безопасность. Научно-технический журнал. 2018. № 2. С. 28-33.
6. Отчет о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2004 г. Режим доступа : [http://www.gosnadzor.ru/public/annual\\_reports/](http://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/)
7. Отчет о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2008 г. Режим доступа : [http://www.gosnadzor.ru/public/annual\\_reports/](http://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/)
8. Отчет о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2017 г. Режим доступа : [http://www.gosnadzor.ru/public/annual\\_reports/](http://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/)
9. Пат. RU 112270 U1 Российская федерация. Устройство для ликвидации завалов в шахте при спасении людей, застигнутых аварией / Бунин В.И. зарегистрировано 16.05.2011.
10. Ярош А.С., Малахов Ю.И. Бунин В.И. Обоснование разработки мобильного многофункционального горноспасательного комплекса с элементами роботизации для ликвидации последствий аварий в горных выработках шахт и рудников // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2017. № 3. С. 46-50.

### REFERENCES

1. *Pravila bezopasnosti v ugolnykh shakhtakh (PB 05-618-03). Seriya 05. Vypusk 11* [Safety rules in coal mines (PB 05-618-03)]. Moscow: Nauchno-tekhnicheskii tsentr po bezopasnosti v promyshlennosti - Scientific and technical center for safety in industry, Episode 05.Issue 11 (2005) [in Russian].
2. Artemyev, V. B., Zaburdyaev, V. S., Zakharov, V.N., Loginov, A.K., & Utaev, Ye.P. (2010). *Podgotovka i razrabotka vysokogazonosnykh ugolnykh plastov: Spravochnoie posobie* [Preparation and development of high gas containing coal seams: a reference guide]. Moscow: Gornaia kniga [in Russian].
3. Novoselov, S. V., & Panchenkov, S.A. (2018). *Osnovnoj put likvidatsii vzryvov metana v vysokonagruzhennykh zaboiax ugolnykh shakht, opasnykh po gazu, - preduprezhdenie sozdaniia vzryvoopasnoi metanovozdushnoi smesi* [The main way to avoid methane explosions in high productive coal mine faces, dangerous for gas is to prevent hazardous concentration of methane-air mixture]. *Coal - Ugol*, 4, 31-35 [in Russian].
4. Babenko, A.G. (2018). *Teoreticheskoe obosnovanie i metodologiya povysheniia urovniia okhrany truda v ugolnykh shakhtakh na osnove risk-orientirovannogo podkhoda i mnogofunktsionalnykh sistem bezopasnosti* [Theoretical substantiation and methodology of increasing the level of labor protection in coal mines on the basis of risk-oriented approach and multifunctional safety systems]. *Doctor's thesis*. Ekaterinburg [in Russian].
5. Golik, A.S., Yarosh, A.S., Mullov, A.B., et al. (2018). *Kontseptsiia edinoi sistemy spaseniia shakhterov pri avariiax i katastrofakh v shakhtakh* [The concept of a unified system of miners' rescue in the event of accidents in mines]. *Pozharnaia i promyshlennaia bezopasnost - Fire and industrial safety*, 2, 28-33 [in Russian].
6. *Otchet o deiatel'nosti Federalnoi sluzhby po ehkologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru v 2004 g.* [Report on the activities of the Federal service for environmental, technological and nuclear supervision in 2004]. Retrieved from: [http://www.gosnadzor.ru/public/annual\\_reports/](http://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/) [in Russian].
7. *Otchet o deiatel'nosti Federalnoi sluzhby po ehkologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru v 2008 g.* [Report on the activities of the Federal service for environmental, technological and nuclear supervision in 2008]. Retrieved from: [http://www.gosnadzor.ru/public/annual\\_reports/](http://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/) [in Russian].
8. *Otchet o deiatel'nosti Federalnoi sluzhby po ehkologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru v 2017 g.* Report on the activities of the Federal service for environmental , technological and nuclear supervision in 2017]. Retrieved from: [http://www.gosnadzor.ru/public/annual\\_reports/](http://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/) [in Russian].
9. Bunin, V.I. *Ustroistvo dlia likvidatsii zavalov v shakhte pri spasenii liudei, zastignutykh avariei* [A device for eliminating blockages in a mine during the rescue of people caught by an accident]. *Patent RF no. RU 112270 U1, 2011* [in Russian].
10. Yarosh, A. S., Malakhov, Yu.I. & Bunin, V. I. (2017). [Mobile rescue multifunctional complex with robotic elements for accidents' consequences elimination in mines development substantiation. *Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugolnoi promyshlennosti – Herald of Safety in Mining Industry Scientific Center*, 3, 46-50 [in Russian].



**А.И. Фомин // A.I. Fomin**  
e.volodina@nc-vostnii.ru

д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник АО «НЦ ВостНИИ», Россия, 650002, г. Кемерово, ул. Институтская, 3  
doctor of technical sciences, leading researcher of JSC "ScC VostNII", 3, Institutskaia St., Kemerovo, 650002, Russia



**М.Н. Халиявина // M.N. Khaliavina**  
marishka09142919@mail.ru

аспирант ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева», (КузГТУ), Россия, 650026, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28; заместитель начальника отдела надзора и контроля по охране труда в организациях промышленности и энергетики Государственной инспекции труда в Новосибирской области, Россия, 630089, Новосибирск, ул. Федосеева, д. 12а, к. 10  
postgraduate of FGBOU VO "Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev", (KuzGTU), 28, Vesenniaia St., Kemerovo, 650026, Russia; deputy head for labor protection supervision and control department in the industrial and energy organizations of the State Labor Inspectorate in the Novosibirsk Region, 12A-10, Fedoseev St., Novosibirsk, 630089, Russia



**В.Г. Казанцев // V.G. Kazantsev**  
wts-01@mail.ru

д-р техн. наук, проф. Бийского технологического института (филиала) ФГБОУ ВО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова», Россия, 659305, г. Бийск, ул. Трофимова, 27  
doctor of technical sciences, chair professor of Biisk Technological Institute (branch) FGBOU VO "AltGTU named after I.I. Polzunov", 27, Trofimov St., Biisk, 659305, Russia



**D.V. Botvenko // Д.В. Ботвенко**  
d.botvenko@nc-vostnii.ru

канд. техн. наук, заведующий лабораторией АО «НЦ ВостНИИ», Россия, 650002, г. Кемерово, ул. Институтская, 3  
candidate of technical sciences, laboratory head of JSC "ScC VostNII", 3, Institutskaia St., Kemerovo, 650002, Russia



**А.М. Ермолаев // A.M. Yermolaiev**  
ermolaev.a.m@yandex.ru

д-р техн. наук, научный консультант АО «НЦ ВостНИИ», Россия, 650002, г. Кемерово, ул. Институтская, 3  
doctor of technical sciences, scientific consultant of JSC "ScC VostNII", 3, Institutskaia St., Kemerovo, 650002, Russia

УДК 622:331.452:331.461

## УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОДЗЕМНЫМ СПОСОБОМ RISKS MANAGEMENT WHEN DEVELOPING COAL DEPOSITS WITH THE UNDERGROUND METHOD

*В статье представлены методы управления охраной труда, а также технология управления рисками, связанные с угледобывающей промышленностью, включая повседневное управление охраной труда, выявление и оценку рисков, раннее предупреждение рисков и его динамический мониторинг, а также система управления охраной труда и управления рисками на угольных шахтах, разработанная для достижения вышеуказанных целей, а именно содействие управления охраной труда горного производства на основе раннего предупреждения и динамического наблюдения за рисками с помощью программного обеспечения. Кроме того, анализируется практическая эффективность и связанная с этим схема применения данного программного комплекса при добыче угля подземным способом. В статье указывается, что разработанная в настоящее время технология управления охраной труда и управления рисками на угольных шахтах и соответствующее программное обеспечение могут создать стандартизованную и эффективную поддержку по управлению охраной труда на угольных шахтах. Она также может осуществлять научно-эффективный контроль за рисками аварий при выполнении технологических операций горного производства. Ее эффективное внедрение может способствовать дальнейшему совершенствованию механизма управления охраной труда и промышленной безопасностью на угольных шахтах и дальнейшему совершенствованию подходов к управлению рисками. Кроме того, ее внедрение свидетельствует о том, что технология управления охраной труда и управления рисками основана на благоприятном цикле, включающем динамичную обратную связь и научные разработки, которые могут обеспечить надежную и безопасную эксплуатацию угольных шахт.*

*The article presents the methods of labor protection management, as well as risk management technology associated with the coal mining industry, including day-to-day labor protection management, risk identification*

and assessment, early warning and dynamic risk monitoring, as well as a system for managing labor protection and risk management in coal mines developed to achieve the above objectives, namely the mining production labor protection management promotion on the basis of early warning and dynamic monitoring of risks using software. In addition, the practical effectiveness and the associated scheme of using this software for the underground coal mining is analyzed. The article points out that the currently developed technology of labor protection and risk management in coal mines and related software can create standardized and effective support for labor protection management in coal mines.

It can also carry out scientific and effective control over the accident risks during the mining technological operations' execution. Its effective implementation can contribute to the further improvement of the labor safety and industrial safety management mechanism in coal mines and the further improvement of risk management approaches. In addition, its introduction suggests that the technology of labor protection and risk management is based on a favorable cycle, including dynamic feedback and scientific research that can ensure reliable and safe operation of coal mines.

**Ключевые слова:** УГОЛЬНАЯ ШАХТА, УПРАВЛЕНИЕ ОХРАНОЙ ТРУДА, РИСК, КОНТРОЛЬ, СИСТЕМА, УГОЛЬНАЯ ОТРАСЛЬ, ПОДЗЕМНЫЙ СПОСОБ ДОБЫЧИ УГЛЯ, УСЛОВИЯ ТРУДА, БЕЗОПАСНАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ

**Key words:** COAL MINE, LABOR PROTECTION MANAGEMENT, RISK, CONTROL, SYSTEM, COAL INDUSTRY, UNDERGROUND METHOD OF COAL PRODUCTION, WORKING CONDITIONS, SAFE OPERATION

**В**ведение  
Актуальность выбранной темы связана с высоким уровнем производственного травматизма и профессиональных заболеваний. В связи с этим все большее внимание уделяется управлению охраной труда (ОТ). Статистические данные указывают на то, что человеческий фактор (т. е. преднамеренные нарушения, сбои в управлении и неисправные конструкции) составляет 97,67% несчастных случаев на угольных шахтах [1]. Предприятия, занимающиеся добычей угля, должны уделять особое внимание вопросам безопасности (в частности, управлению рисками) и гигиены труда в процессе производства ввиду их необычных и сложных условий эксплуатации и многочисленных факторов риска. В то же время достижения в области науки и техники предоставляют все больше и больше разнообразных возможностей для улучшения условий труда работников.

С 1990-х годов развитие страны приступили к внедрению системы управления охраной труда (СУОТ). С 1991 года Россия является членом МОТ, как правопродолжательница СССР, который являлся членом Организации с 1934 по 1938 г. и с 1954 по 1991 г. Однако только в 2007 году в России введен в действие ГОСТ 12.0.230-2007, который, в свою очередь, был пересмотрен [5–8]. С 2013 года Правительство РФ обязало работодателей обеспечить создание и функционирование СУОТ [2]. В 2016 году Приказом Минтруда РФ утверждено Типовое положение о системе управления охраной труда [3–4]. На предприятиях угольной промышленно-

сти удалось создать СУОТ, а также осуществить соответствующие мероприятия по управлению охраной труда (УОТ), что привело к положительным результатам [9]. Однако, согласно анализу практики управления ОТ на угольных шахтах, выявлен ряд проблем:

1) несмотря на то что большое внимание уделяется созданию и сертификации СУОТ, повседневная деятельность не ведется в соответствии с установленной системой;

2) СУОТ макроскопически хорошо отлажена, но ей не хватает практичности с микроскопической точки зрения;

3) во время управления безопасностью только непосредственно ответственный персонал подвергается дисциплинарным взысканиям, в то время как лица, косвенно причастные к несчастным случаям, не привлекаются к ответственности;

4) риск управления эффектами нерегулярности;

5) эффективное взаимодействие подразделений шахт тормозится, хотя УОТ имеет научные четкие процедуры, наборы удобных и практически ценных программных пакетов для обеспечения поддержки.

Вышеуказанные проблемы обусловлены отсутствием практических методов УОТ и связанных с ними оперативных процедур, а также соответствующего программного обеспечения и сетевых средств поддержки. С целью удовлетворения актуальных потребностей угледобывающих предприятий в настоящее время основное внимание уделяется методам УОТ и управлению рисками. Кроме того, разработаны программные



системы для поддержки СУОТ на шахтах, позволяющие научно, эффективно и канонически осуществлять УОТ путем полного использования информационных и сетевых технологий, что ведет к повышению стандартов в области ОТ, управления охраной здоровья и контролю рисков.

### **Безопасность, охрана здоровья и контроль рисков на угольных шахтах**

Управление охраной труда на шахтах, основанное на выполнении вышеупомянутых стандартов, должно быть направлено на контроль всего процесса УОТ, общего улучшения поведения в области ОТ и обеспечения безопасности всех технологических процессов горного производства, а также на усиление идентификации и контроля рисков:

1. Создание СУОТ, укрепление и совершенствование повседневной деятельности в области ОТ и промышленной безопасности. Угледобывающие предприятия должны создать СУОТ, в соответствии с которой директор шахты будет являться высшим руководителем, а также руководящую группу по управлению охраной труда на шахте. Под руководством этой группы находится Управление по вопросам безопасности и гигиены труда, возглавляемое директором по надзору за безопасностью труда, который одновременно выполняет функции директора управления, уделяя особое внимание организации и осуществлению УОТ. Соответствующие ежедневные мероприятия включают в себя:

- 1) продвижение и обучение персонала с применением современных информационных технологий ОТ, правилам безопасного поведения при выполнении технологических операций и гигиены труда, а также профилактические меры по снижению профессиональных рисков;
- 2) выявление и устранение профессиональных рисков (пыль, шум, метан и т.д.);
- 3) выдача и использование средств индивидуальной защиты;
- 4) профилактика профессиональных заболеваний;
- 5) контроль за состоянием здоровья работников и т. д.

Важно обеспечить эффективное осуществление этих мер, проводя ежемесячную оценку различных мероприятий для своевременного решения проблемных вопросов.

2. Своевременный сбор и каноническая обработка информации по УОТ. Для того чтобы УОТ осуществлялось научно и эффективно, информация об управлении ОТ должна собираться

своевременно и обрабатываться надлежащим образом. Наиболее существенная часть собранной информации по УОТ связана с информацией о рисках в режиме реального времени в процессе ведения подготовительных горных работ и добычи угля в шахтах, которая также включает информацию по обеспечению безопасности технологических процессов на рабочих местах, касающуюся повседневной деятельности по УОТ. Информация о рисках, связанных с эксплуатацией шахт, собирается в режиме реального времени специалистами по вопросам безопасности и управленческим персоналом на местах, что проводится параллельно с выявлением рисков. Информация по УОТ должна быть получена своевременно, четко классифицирована и обработана, затем информация вводится в компьютер и загружается на сервер внутренней сети для хранения и управления.

3. Выявление и оценка рисков. Информация о рисках при добыче угля на шахтах касается информации об опасностях, потенциальных авариях и неправильных действиях человека. В данном разделе будут представлены методы идентификации и оценки рисков с точки зрения потенциальных аварий.

3.1. Идентификация рисков. Выявление рисков проводится на основе эмпирического анализа или методов системного анализа безопасности. Специалисты по вопросам безопасности и управленческий персонал собирают информацию о рисках в режиме реального времени и проводят идентификацию рисков на основе собственного опыта, для более серьезных рисков используются экспертные консультации. Анализ безопасности системы, с другой стороны, использует анализ типов инцидентов и воздействий, контрольные списки безопасности, анализ древа инцидентов и анализ древа аварий для достижения всеобъемлющей и систематической идентификации информации о рисках. В ходе выполнения технологических операций информация о рисках собирается в режиме реального времени специалистами, после чего проводятся мероприятия по выявлению рисков: на общих объектах – опыт работы используется для выявления рисков; на важных или критических объектах, например, в подготовительном или очистном забое, при монтаже-демонтаже комплекса, при ведении горных работ в опасной зоне следует использовать специальные контрольные перечни безопасности для обеспечения безопасной эксплуатации и получения результатов идентификации рисков.

Результаты идентификации рисков отра-

жаются в таблице 1. Идентификация рисков и контрольная запись фактически является контрольным списком профессиональной безопасности и в основном включает время, местоположение, содержание риска, степень риска и соответствующие рекомендации. Процесс классификации рисков подробно описан в таблице 2. Содержание риска относится к конкретной информации, зарегистрированной в ходе идентификации риска, а рекомендации относятся к подробным мерам по предупреждению соответствующих рисков, которые должны быть сформулированы на основе практического содержания и степени риска (как указано в таблице 2).

В таблице 1 природа риска относится к источнику опасности, скрытой опасности и поведенческим рискам человека; если риск определяется как скрытая опасность, следует также определить его тип. Согласно статистическим данным и стандартам классификации, содержащимся в спецификациях отчетов о несчастных случаях с травмами и летальным исходом и статистических данных для предприятий угольной промышленности, несчастные случаи в угольной шахте могут включать аварии: обрушение кровли, внезапное выделение газа, нарушение пылегазового режима, сбой в электроснабжении или работе горных машин, транспорта, пожары, внезапные выбросы и прорывы воды.

3.2. Оценка риска. Развитие науки и техники все в большей степени способны характеризо-

вать вклад различных рисков и взаимодействий между ними, а также их воздействие на здоровье работников. Некоторые распространенные методы оценки риска включают в себя метод матрицы рисков, метод оценки опасности условий эксплуатации и специальный метод оценки безопасности угольных шахт. Согласно методу матрицы рисков, в настоящей статье латентные риски аварий на шахтах классифицируются на три категории в соответствии с фактическими требованиями в области управления безопасностью на шахтах, серьезностью скрытых опасностей и соответствующим уровнем сложности обработки, как это отражено в результатах классификации, перечисленных в таблице 2.

Как показано в таблице 2, в случае выявления скрытых рисков типа А (значительных) следует предупредить об этом всех работников шахты и сообщить о риске компании (группе) для немедленного реагирования; кроме того, операторы должны иметь соответствующее образование, обучение и строгий контроль; что касается скрытых рисков типа В (серьезных), следует предупреждать всех работников шахты и привлекать соответствующий персонал решить этот вопрос в установленные сроки; если скрытые риски классифицируются как тип С (средний), следует сообщить соответствующему персоналу этого подразделения и потребовать немедленного решения данной проблемы.

4. Раннее предупреждение о рисках и

Таблица 1. Идентификация рисков и контрольная запись

Table 1. Risk identification and control record

Специалист:		Ответственный участка:			Дата:		Рабочая смена:		
Место осмотра	Время осмотра	Состав риска	Происхождение риска	Вид риска	Категория риска	Рекомендация	Срок выполнения	Состояние выполнения	Комментарий

Таблица 2. Оценка аварий на угольных шахтах

Table 2. Coal mines accidents assessment

Оценка аварии	Критерий классификации
А - значительные	Может нанести очень серьезный вред или устранение затруднено; необходимо привлечь компанию (группы) и вышестоящие органы для коллективного решения проблем
В - серьезные	Может нанести серьезный ущерб или связан со значительной рабочей нагрузкой; должен быть решен в установленный срок
С - средние	Влияет на безопасность; может быть немедленно разрешен вовлеченной командой или подразделением

динамический мониторинг. Раннее предупреждение о рисках направлено на мониторинг тенденции развития, оценку степени отклонения состояния риска от критического значения предварительного предупреждения, заблаговременную отправку сигнала раннего предупреждения и принятие мер предварительного контроля. При подземной добыче угля необходимо обеспечить раннее предупреждение и динамический мониторинг, с тем чтобы можно было контролировать риск ниже приемлемого уровня.

4.1. Раннее предупреждение о рисках. Это исследование осуществляет раннее предупреждение или предупреждение целенаправленным образом в соответствии с фактическими требованиями в области предотвращения аварий, а также практическим состоянием степени риска и воздействия. Раннее предупреждение о рисках аварий на угольных шахтах и управление охраной труда можно достичь с помощью разрабатываемых в настоящее время прикладных программных обеспечений, т. е. СУОТ и рисками на угольных шахтах. В этой системе раннее предупреждение о риске реализуется посредством прокрутки информации, мигающих меню и всплывающих сообщений в системе.

4.2. Динамический мониторинг рисков. Динамический мониторинг риска в режиме реального времени осуществляется с помощью «системы управления безопасностью и гигиеной труда на шахте», которая включает в себя следующие компоненты:

1) динамический мониторинг управления рисками, который направлен на мониторинг состояния управления рисками в режиме реального времени и динамично сопровождается автоматической обработкой и своевременной выдачей команд управления. Уровень риска определяется с помощью внутреннего алгоритма оценки риска с анализом соответствующих атрибутов. Например, если авария остается необработанной или не получает надлежащего реагирования в течение отведенного времени, система направляет предупреждающие сообщения с просьбой о немедленном расследовании причин вместе с предложением о стратегиях смягчения последствий.

2) на практике система обобщает и предлагает смягчить последствия риска с повторной проверкой в отношении скрытых рисков, с тем чтобы призвать свои подразделения сделать риски более безопасными в течение определенного срока, а также повторная проверка итоговых результатов в соответствии с требованиями контрольного осмотра и динамического наблюдения.

3) динамический мониторинг производственных площадок. Система может автоматически контролировать и управлять риском на различных производственных участках. В частности, в том случае, если на производственной площадке возникают риски аварий, особенно «серьезные», то система будет выдавать предупреждающую и справочную информацию с просьбой о своевременном реагировании.

4) динамический мониторинг ответственных подразделений. Система автоматического наблюдения и анализа различных подразделений, связанных с угледобывающим предприятием, предупреждает ответственные подразделения своевременно снизить риски. Между тем система контролирует риск состояния различных агрегатов и посылает предупреждающие сообщения согласно вышеупомянутым правилам, чтобы призвать подразделения шахты активно и эффективно контролировать риски и предотвращать возникновение аварийных ситуаций.

В дополнение к динамическому мониторингу рисков необходимо также проанализировать дополнительную информацию по управлению охраной труда на угольных шахтах, чтобы обеспечить возможность динамического мониторинга и управления рисками.

### **Разработка системы управления охраной труда и рисками**

На протяжении всего процесса управления ОТ на угольных шахтах существует потребность в распространении и обработке большого объема информации (связанной с рисками), проведении раннего предупреждения о рисках и динамического мониторинга. Эти проблемы лучше всего решать с помощью компьютеров и компьютерных сетей. Кроме того, применение компьютерной сети для управления ОТ соответствует потребностям информатизации и модернизации угледобывающих предприятий. Поэтому разработка прикладного программного обеспечения для управления безопасностью и гигиеной труда в режиме онлайн и контроля рисков требует усилий по содействию безопасности угольных шахт. Ученые в этой области также отмечают, что системы раннего предупреждения могут помочь в выявлении, прогнозировании и оценке производственного травматизма [10]. Система должна работать в рамках внутренней сети и выполнять различные задачи, связанные с ОТ, управлением охраной здоровья и контролем на шахтах. Рабочий процесс представлен в виде Блок-схемы системы управления безопасностью, гигиеной труда и рисками на угольных шахтах (рис. 1).

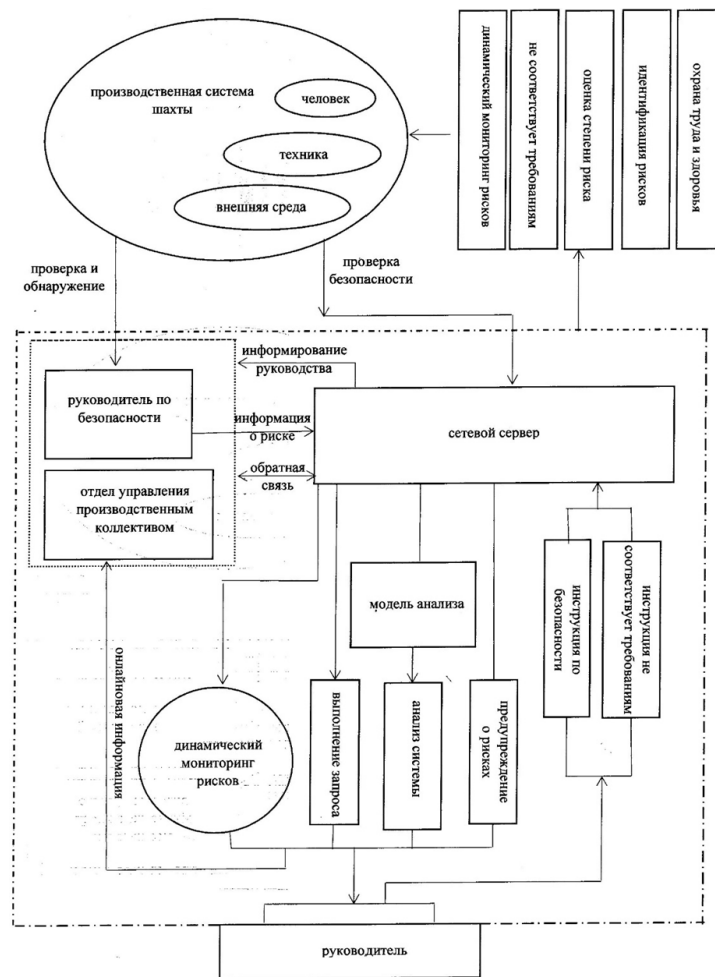


Рисунок 1 – Блок-схема системы управления безопасностью, гигиеной труда и рисками на угольных шахтах  
 Figure 1 – Block diagram of safety, occupational health and risks management system in coal mines

Эта система управления реализует все функции необходимые для безопасности шахты. Из вышеприведенного анализа, принимая во внимание практические потребности, связанные с угольной шахтой для обеспечения безопасности труда, управления охраной здоровья и управления рисками, нужно разработать шесть модулей, таких как: ежедневное управление профессиональной безопасностью и здоровьем, предупреждение риска, динамическое наблюдение рисков, получение информации, анализ.

Благодаря системному проектированию, программному внедрению и тестированию программного обеспечения возможно завершить разработку системы управления безопасностью, гигиеной труда и рисками на угольных шахтах. Система должна работать через локальную сеть, позволяя вводить и редактировать информацию, связанную с управлением охраной труда, ежедневным управлением охраной труда, предупреждением о рисках, динамическим мониторингом рисков, поиском информации, выдачей команд и обслуживанием системы.

Внедрение СУОТ и управление рисками даст положительные результаты, которые могут обеспечить своевременность, нормализацию и точность УОТ. Система позволяет своевременно анализировать состояние УОТ на шахте, своевременно находить и устранять несоответствующие проявления. Главным образом, заблаговременного предупреждения риска и динамической технологии управления можно добиться мониторингом и динамичным управлением в реальном времени, а также управлением рисками посредством эффективного повышения обеспечения качественной, безопасной и стабильной работой.

Внедрение этой технологии в систему повышает ответственность за безопасное производство на всех уровнях управления, и скрытые риски и три нарушения (а именно, незаконные команды, незаконные операции и нарушение трудовой дисциплины) могут быть найдены быстрее и рассмотрены более оперативно, всесторонне и основательно. Даже некоторые проблемы, сложно выявляемые в прошлом, могут быть выявлены и устранены своевременно.



Проанализировав эффективность применения системы на угольных предприятиях, с учетом технологии управления безопасностью и гигиеной труда и контроля рисков на угольных шахтах, следует применять следующие правила:

1) реализация безопасности, охраны труда и технологии управления рисками позволит создать механизм дальнейшего совершенствования в выявлении рисков и контроля качества. В дальнейшем, посредством осуществления управления ОТ и управления рисками технологических систем угольных шахт, механизм будет усовершенствоваться и стандартизироваться, выявление рисков и контроль уровня явно улучшится, управление ОТ и система управления рисками станет более научным, стандартизированным и удобным;

2) совершенствование механизма управления ОТ улучшит практику обеспечения безопасности работников угольных шахт. Руководство шахты должно создать совершенную систему управления ОТ и внедрение эффективных мер по обеспечению безопасности, что может значительно повысить осведомленность работников о безопасности и усилить ответственность, а также соблюдение дисциплины и работы стандартизированным образом. Кроме того, работники должны уделять внимание профессиональному обучению и повышать навыки безопасного производства;

3) повышать осведомленность работников в вопросах безопасности. Поощрять работников, более осознанно применяющих методы управления ОТ, строго соблюдающих правила и операционные процедуры, сосредоточенных на выявлении и контроле рисков и стремящихся к улучшению безопасного поведения на работе;

4) пропагандировать безопасное поведение среди работников, что явно препятствует возникновению «трех нарушений» и других небезопасных видов поведения. Повышение уровня профессионального поведения безопасности напрямую приводит к существенному снижению «трех нарушений» поведения. Таким образом, частота инцидентов некоторых небезопасных моделей поведения, включающих невнимательность, неправильное рабочее положение и неправильное перемещение в шахте, также снижается;

5) повышать осведомленность безопасности среди работников, заметно ускоряя ход обработки эффективности скрытых рисков и качества. Повышение осведомленности работников о безопасности заставляет руководителей всех уровней и весь персонал более активно выяв-

лять потенциальные риски и более эффективно бороться с ними, что ведет к постепенному сокращению потенциальных аварий. При этом значительно повышается эффективность выявления рисков и качество обработки рисков;

6) создать совершенный механизм динамической обратной связи посредством управления безопасностью и гигиеной труда и контролем рисков. С этой целью система управления безопасностью и гигиеной труда на угольных шахтах и контроль рисков обеспечивает передовые и практические технические средства.

Управление безопасностью и гигиеной труда на угольных шахтах и контроль за рисками должны осуществляться на динамичной и всеобъемлющей основе, должен быть создан чувствительный и совершенный механизм динамической обратной связи. В связи с увеличением объемов добычи угля необходимо выявлять риски аварий, осуществлять раннее предупреждение о рисках и динамический мониторинг рисков, своевременно проверять и оценивать эффективность мер по управлению рисками, получать соответствующую информацию и проводить вторичную обработку случаев несоблюдения мер безопасности. Система управления безопасностью и гигиеной труда угольной шахты и управления рисками обеспечивает систему передовой технологии для достижения этих целей. Такая система может быть реализована удобным и стандартным способом с помощью внутренней компьютерной сети.

Следует отметить, что, помимо необходимости разработки дальнейших научно-технических методов, существуют также этические, правовые, социальные и политические соображения. Хотя эти вопросы выходят за рамки данной статьи, их важность нельзя недооценивать.

### Заключение

Управление охраной труда на угольных шахтах должно основываться на научных методах и средствах и в полной мере использовать информационные и сетевые технологии. В данной работе изучена технология управления безопасностью и гигиеной труда на угольных шахтах, а также управление рисками, предложена разработка онлайн-системы управления безопасностью и рисками на угольных шахтах. Кроме того, проанализированы применимость и эффективность данной системы на угледобывающих предприятиях. Исследование показывает, что система управления безопасностью и гигиеной труда на угольных шахтах, система управления рисками и поддерживающее ее про-

граммное обеспечение могут обеспечить научное сопровождение эффективного управления безопасностью и гигиеной труда, снижая риски несчастных случаев, и безопасность при выполнении всех технологических операций горного производства. Управление профессиональными рисками позволяет снизить уровень аварий-

ности, травматизма и профессиональных заболеваний на угольных шахтах, а механизм и эффективность управления рисками могут быть повышены. В результате, управление безопасностью и гигиеной труда технология управления рисками может осуществляться на основе благоприятного цикла с динамической обратной связью и научным развитием.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральная служба государственной статистики. Официальная статистика. Рынок труда, занятость и заработная плата. Условия труда. Режим доступа: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/wages/working\\_conditions/](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/wages/working_conditions/). Загл. с экрана.
2. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (в ред. от 03.08.2018): Принят Гос. Думой 21 декабря 2001 года: Одобрен Советом Федерации 26 декабря 2001 года. Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_34683/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/)
3. Об утверждении типового положения о системе управления охраной труда: Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 19 августа 2016 года № 438н. Режим доступа: <https://rosmintrud.ru/docs/mintrud/orders/541>
4. О создании и обеспечении функционирования системы управления охраной труда: Письмо Минтруда России от 31.10.2016 N 15-1/10/B-8028. Режим доступа: [https://ohranatruda.ru/ot\\_biblio/ot/163943/](https://ohranatruda.ru/ot_biblio/ot/163943/)
5. ГОСТ Р 12.0.007-2009 «Система стандартов безопасности труда. Система управления охраной труда в организации. Общие требования по разработке, применению, оценке и совершенствованию». Утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 21 апреля 2009 г. N 138-ст. М.: Стандартинформ, 2009. 34 с.
6. ГОСТ 12.0.230-2007 «Система стандартов безопасности труда. Системы управления охраной труда. Общие требования» (в ред. от 31.10.2013). Принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол N 28 от 27 марта 2007 г. по переписке). Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/gost-12-0-230-2007-ssbt>
7. ГОСТ 12.0.230.1-2015 «ССБТ. Системы управления охраной труда. Руководство по применению ГОСТ 12.0.230-2007». Принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 10 декабря 2015 г. N 48). Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200136073>
8. ГОСТ 12.0.230.2-2015 «ССБТ. Системы управления охраной труда в организациях. Оценка соответствия. Требования». ПРИНЯТ Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 10 декабря 2015 г. N 48-2015). Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200136074>
9. Фомин А.И., Халявина М.Н. Профессиональная заболеваемость и производственные риски в угольной промышленности Кузбасса // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. 2018. № 2. С. 89 – 97.
10. Schulte, P.A.; Bhattacharya, A.; Butler, C.R.; Chun, H.K.; Jacklitsch, B.; Jacobs, T.; Kiefer, M.; Lincoln, J.; Pendergrass, S.; Shire, J.; et al. Advancing the framework for considering the effects of climate change on worker safety and health. J. Occup. Environ. Hyg. 2016, 13, 847-865.
11. Onder, S., Evaluation of occupational injuries with lost days among opencast coal mine workers through logistic regression models. SafetyScience, 59, pp. 86-92, 2013.
12. Interaction of Occupational and Personal Risk Factors in Workforce Health and Safety / Paul A. Schulte, PhD, SudhaPandalai, MD, Victoria Wulsin, MD, and HeeKyoung Chun, ScD/ Am J Public Health. 2012 March; 102(3): 434–448. Published online 2012 March. doi: 10.2105/AJPH.2011.300249.
13. Hamalainen P., Saarela K. L., Takala J. Global trend according to estimated number of occupational accidents and fatal work-related diseases at region and country level. Journal of Safety Research Volume 40, Issue 2, 2009, Pages 125-139
14. Файнбург Г.З. Санитарно-гигиеническое нормирование производственных факторов как объективная исходная основа управления рисками // Безопасность и охрана труда. 2015. № 2. С. 56–61.
15. Механизм предотвращения реализации опасной производственной ситуации / В.Б.Артемов [и др.] // Уголь. 2016. № 5. С. 73-77.

### REFERENCES

1. Federalnaya sluzhba gosudarstvennoy statistiki. Otsialnaya statistika. Rynok truda, zaniatost i zarabotnaya plata. Usloviya truda [Federal State Statistics Service. Official statistics. Labor market, employment and wages. Working conditions]. Retrieved from: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/wages/working\\_conditions/](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/wages/working_conditions/) [in Russian].
2. Trudovoy kodeks Rossiiskoi Federatsii ot 30.12.2001 № 197-FZ (v red. ot 03.08.2018): Priniat Gos. Dumoi 21 dekabria 2001 goda: Odobren Sovetom Federatsii 26 dekabria 2001 goda [Labor Code of the Russian Federation of December 30, 2001 No. 197-FZ (as amended on August 3, 2018): Adopted by the State Duma on December 21, 2001: Approved by the Federation Council on December 26, 2001]. Retrieved from: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_34683/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/) [in Russian].
3. Ob utverzhdenii tipovogo polozheniia o sisteme upravleniia okhranoi truda: Prikaz Ministerstva truda i sotsialnoi zashchity RF ot 19 avgusta 2016 goda № 438n [On approval of the model regulation on the labor protection

- management system: Order of the Russian Federation Ministry of Labor and Social Protection of August 19, 2016 No. 438n]. Retrieved from: <https://rosmintrud.ru/docs/mintrud/orders/541> [in Russian].
4. sozdaniia i obespechenii funktsionirovaniia sistemy upravleniia okhranoi truda: Pismo Mintruda Rossii ot 31.10.2016 N 15-1/10/V-8028 [On creation and ensuring the functioning of the labor protection management system: Letter of the Ministry of Labor of Russia of 10/31/2016 N 15-1 / 10 / B-8028]. Retrieved from: [https://ohranatruda.ru/ot\\_biblio/ot/163943/](https://ohranatruda.ru/ot_biblio/ot/163943/) [in Russian].
  5. *Sistema standartov bezopasnosti truda. Sistema upravleniia okhranoi truda v organizatsii. Obshchie trebovaniia po razrabotke, primeneniiu, otsenke i sovershenstvovaniiu [Labor safety standard system. The organization labor protection management system. General requirements for the development, application, evaluation and improvement]*. (2009). GOST R 12.0.007-2009 from April 21 2009. Moscow: Standartinform [in Russian].
  6. *Sistema standartov bezopasnosti truda. Sistemy upravleniia okhranoi truda. Obshchie trebovaniia (v red. ot 31.10.2013) [“The system of labor safety standards. Labor protection management systems. General requirements” (as amended on 31.10.2013)]*. (2007). GOST 12.0.230-2007 from March 28 2007. Retrieved from: <http://docs.cntd.ru/document/gost-12-0-230-2007-ssbt> [in Russian].
  7. SSBT. *Sistemy upravleniia okhranoi truda. Rukovodstvo po primeneniiu GOST 12.0.230-2007 [Labor safety standards system. Labor protection management systems. Guidelines for the application of GOST 12.0.230-2007]*. (2015). GOST 12.0.230.1-2015 from December 10 2015. Retrieved from: <http://docs.cntd.ru/document/1200136073> [in Russian].
  8. SSBT. *Sistemy upravleniia okhranoi truda v organizatsiiakh. Otsenka sootvetstviia. Trebovaniia [Labor safety standards system. Labor protection management systems in organizations. Conformity assessment. Requirements]*. (2015). GOST 12.0.230.2-2015 from December 10 2015. Retrieved from: <http://docs.cntd.ru/document/1200136074>
  9. Fomin, A.I., & Khaliavina, M.N. (2018). Professionalnaia zaboлеваemost i proizvodstvennyie riski v ugolnoi promyshlennosti Kuzbassa [Occupational disease and occupational risks in the coal industry of Kuzbass]. *Vestnik Nauchnogo tsentra VostNII po promyshlennoi i ekologicheskoi bezopasnosti – Herald of Industrial and Environmental Safety Scientific Center VostNII*, 2, 89-97 [in Russian].
  10. Schulte, P.A.; Bhattacharya, A.; Butler, C.R.; Chun, H.K.; Jacklitsch, B.; Jacobs, T.; Kiefer, M.; Lincoln, J.; Pendergrass, S.; Shire, J.; et al. Advancing the framework for considering the effects of climate change on worker safety and health. *J. Occup. Environ. Hyg.* 2016, 13, 847-865 [in English].
  11. Onder, S., (2013). Evaluation of occupational injuries with lost days among opencast coal mine workers through logistic regression models. *Safety Science*, 59, pp. 86-92 [in English].
  12. Interaction of Occupational and Personal Risk Factors in Workforce Health and Safety / Paul A. Schulte, PhD, SudhaPandalai, MD, Victoria Wulsin, MD, and HeeKyoung Chun, ScD/ *Am J Public Health*. 2012 March; 102(3): 434–448. Published online 2012 March. doi: 10.2105/AJPH.2011.300249 [in English].
  13. Hamalainen P., Saarela K. L., Takala J. (2009). Global trend according to estimated number of occupational accidents and fatal work-related diseases at region and country level. *Journal of Safety Research Volume 40, Issue 2, Pages 125-139* [in English].
  14. Fainburg, G.Z. (2015). Sanitarno-gigienicheskoie normirovanie proizvodstvennykh faktorov kak obiekivnaia iskhodnaia osnova upravleniia riskami [Sanitary-and-hygienic regulation of production factors as an objective initial basis for risk management]. *Bezopasnost i okhrana truda – Safety and Labor Protection*, 2, 56-61 [in Russian].
  15. Artemiev, V.B., Galkin, V.A., Makarov, A.M., & Kravchuk, I.L. (2016). Mekhanizm predotvrashcheniia realizatsii opasnoi proizvodstvennoi situatsii [Dangerous production situation realization prevention mechanism]. *Ugol – Coal*, 5, 73-77 [in Russian].

# ООО "ГОРНЫЙ-ЦОТ"

серийно производит приборы контроля параметров безопасности рудничной атмосферы угольных шахт, которые успешно эксплуатируются на предприятиях угольной отрасли. Сегодня благодаря их успешному применению на шахтах компания стала надежным звеном в решении проблем промышленной безопасности как в России, так и за ее пределами.

## ВЫПУСКАЕМЫЕ ПРИБОРЫ



Прибор контроля запыленности воздуха ПКА-01



Прибор контроля пылевзрывобезопасности горных выработок ПКП



Портативные газоанализаторы GaSense (1-,2-,3-,4-газовые)



Измеритель запыленности стационарный ИЗСТ-01



Система контроля параметров дегазационной сети СКП ДС



Стационарный анализатор контроля параметров атмосферы Gasos заперемычного пространства

INDSAFE.RU

а так же оказывает услуги следующих направлений:

- ▶ разработка систем измерения климатических параметров рудничной атмосферы (температуры; влажности; скорости и направления ветра; давления);
- ▶ разработка программного обеспечения для встраиваемых систем;
- ▶ разработка приборов по индивидуальным заказам, в т.ч. по схеме по-name;
- ▶ организация проведения ремонта вышеуказанных серийно выпускаемых приборов и их испытаний с целью поверки.

**Горный-ЦОТ является резидентом Кузбасского Технопарка.**



### III. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ БЕЗОПАСНОСТИ ГОРНЫХ РАБОТ III. TECHNOLOGICAL QUESTIONS OF MINING WORK SAFETY



**А.М. Ермолаев // A.M. Yermolaiev**  
[ermolaev.a.m@yandex.ru](mailto:ermolaev.a.m@yandex.ru)

д-р техн. наук, научный консультант АО «НЦ ВостНИИ», Россия, 650002, г. Кемерово, ул. Институтская, 3  
doctor of technical sciences, scientific consultant of JSC "ScC VostNII", 3, Institutskaia St., Kemerovo, 650002, Russia



**В.В. Соболев // V.V. Sobolev**  
[sobolev567@gmail.com](mailto:sobolev567@gmail.com)

д-р техн. наук, заместитель генерального директора АО «НЦ ВостНИИ», Россия, 650002, г. Кемерово, ул. Институтская, 3  
doctor of technical sciences, deputy general director of JSC "ScC VostNII", 3, Institutskaia St., Kemerovo, 650002, Russia



**В.Г. Казанцев // V.G. Kazantsev**  
[wts-01@mail.ru](mailto:wts-01@mail.ru)

д-р техн. наук, проф. Бийского технологического института (филиала) ФГБОУ ВО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова», Россия, 659305, г. Бийск, ул. Трофимова, 27  
doctor of technical sciences, chair professor of Biisk Technological Institute (branch) FGBOU VO "AltGTU named after I.I. Polzunov", 27, Trofimov St., Biisk, 659305, Russia



**Д.В. Ботвенко // D.V. Botvenko**  
[d.botvenko@nc-vostnii.ru](mailto:d.botvenko@nc-vostnii.ru)

канд. техн. наук, заведующий лабораторией АО «НЦ ВостНИИ», Россия, 650002, г. Кемерово, ул. Институтская, 3  
candidate of technical sciences, laboratory head of JSC "ScC VostNII", 3, Institutskaia St., Kemerovo, 650002, Russia



**А.А. Ермолаев // A.A. Yermolaiev**  
[11F@bk.ru](mailto:11F@bk.ru)

канд. техн. наук, заведующий лабораторией АО «НЦ ВостНИИ», Россия, 650002, г. Кемерово, ул. Институтская, 3  
candidate of technical sciences, laboratory head of JSC "ScC VostNII", 3, Institutskaia St., Kemerovo, 650002, Russia

УДК 622.83

### НЕПРИСПОСОБЛЕННОСТЬ АЭРОДИНАМИКИ СТАВА ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ ТРУБ К ПОТРЕБНОСТЯМ АЭРОДИНАМИКИ ПОДГОТОВИТЕЛЬНОЙ ВЫРАБОТКИ VENTILATION PIPE COLUMN AERODYNAMICS UNPRACTICALITY TO MEET THE NEEDS OF PREPARATORY MINE OPENING AERODYNAMICS

*В статье рассмотрены три типа аэрогазодинамики в горных подготовительных выработках совместно с аэрогазодинамикой вентиляционного става и вентилятора при нагнетательном проветривании. Выявлено, что наибольшие утечки воздуха из става вентиляционных труб происходят у устья выработки, вблизи вентилятора, а по мере удаления от вентилятора и приближения к тупику утечки уменьшаются. В свою очередь, газовыделение у устья выработки меньше, чем у тупика. Создаются диспропорция и несогласованность утечек воздуха из става вентиляционных труб и потребностей свежего воздуха для разжижения метана до предельно допустимых норм, и в таких местах возникают опасные слоевые скопления метана при проходке выработок.*

*The article discusses three types of aerogas dynamics in mine preparatory openings together with the aerogas dynamics of the ventilation column and the fan when forced ventilation is used. It has been revealed*

that the greatest air leaks from the ventilation pipe column occur at the mouth of the opening, near the fan, and as the distance from the fan increases and closer to the opening blind end, the leakage decreases. In turn, gas emission at the mouth of the opening is less than at the blind end. There is a disproportion and inconsistency of air leaks from the ventilation pipe column and the needs of fresh air to dilute methane to the maximum permissible norms, and in such spots during opening heading dangerous layer methane accumulations occur.

**Ключевые слова:** МЕТАН, ПОДГОТОВИТЕЛЬНАЯ ВЫРАБОТКА, ГАЗОВЫДЕЛЕНИЕ, СТАВ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ ТРУБ, УТЕЧКИ ВОЗДУХА ИЗ СТАВА, НЕСОГЛАСОВАННОСТЬ УТЕЧЕК С ПОТРЕБНОСТЯМИ ДЛЯ РАЗЖИЖЕНИЯ МЕТАНА И БОРЬБЫ СО СЛОЕВЫМИ СКОПЛЕНИЯМИ

**Key words:** METHANE, PREPARATORY OPENING, GAS EMISSION, VENTILATION PIPE COLUMN, AIR LEAKS FROM THE COLUMN, INCONSISTENCY OF LEAKAGES WITH NEEDS TO DILUTE METHANE AND TO CONTROL ITS LAYER ACCUMULATION

**А**нализ фактических и расчетных утечек воздуха из вентиляционного става показывает, что наибольшие утечки происходят у устья выработки, вблизи вентилятора, а по мере подвигания к тупиковой части они уменьшаются. Газовыделение у устья выработки меньше, чем у тупика. Следовательно, создается диспропорция: у устья выработки из вентиляционного става истекает (теряется) избыточное количество свежего воздуха, а по мере приближения к тупику, где выделение газа в выработку выше, поступление свежего воздуха из става вентиляционных труб в виде утечек меньше и иногда достигает величин, недостаточных для разжижения метана до предельно допустимых норм. В таких местах создаются очаги местного или слоевого скопления метана [1].

В горной тупиковой подготовительной выработке, проветриваемой нагнетательным способом через гибкие шахтные вентиляционные трубы, по ее длине создаются три зоны: первая – примыкающая к вентилятору, где утечки из вентиляционного става намного превышают потребные; вторая – в которой утечки воздуха из вентиляционного става соответствуют требуемым утечкам; третья – где утечек воздуха из вентиляционного става недостаточно.

На практике можно наблюдать большое разнообразие характеристик вентиляционных ставов и газовыделения в выработку метана, которые можно разбить на три типа (рис. 1).

Первый тип – утечки воздуха из вентиляционного става неоправданно высокие, а газовыделение незначительное. Это приводит к чрезмерному расходу воздуха, неоправданным расходам электроэнергии и денежных средств. К ним можно отнести большинство выработок в начальной стадии проходки при удалении тупика от устья в пределах 100-200 м. По данным ВостНИИ, к ним относится 91,8% проводимых выработок в Кузбассе.

Второй тип – в выработке по всей ее длине или на большей ее части утечки воздуха из вен-

тиляционного става соответствуют требуемым утечкам. Таких выработок в Кузбассе 7,2 %.

Третий тип – утечки воздуха из вентиляционных ставов на большей части их длины ниже требуемых. В этих выработках случаются загазирования и появляются очаги слоевых и местных скоплений метана с концентрацией выше допустимых норм. Таких выработок по данным ВостНИИ от 1 до 3 %, их число растет. Но это те выработки, где возможны и наблюдаются скопления метана опасной концентрации. Это зона возможного загазирования или местного слоевого скопления метана.

Аэрогазодинамика системы «Став вентиляционных труб и тупиковая подготовительная горная выработка» представляет собой весьма сложное явление, позволяющее понять и объяснить случаи загазирования отдельных мест и всей выработки по ее длине [2].

Анализ аэрогазодинамики выработок, подводящих вентиляционные потоки к тупиковым

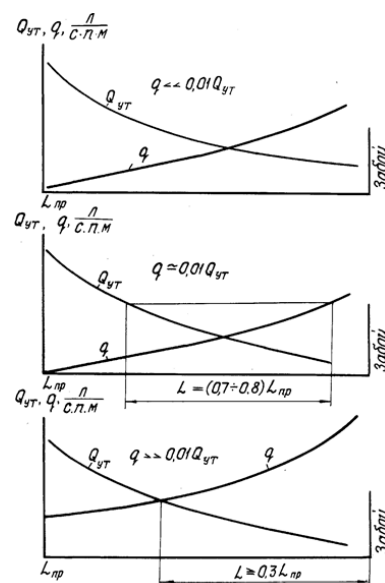


Рисунок 1 – Типы аэродинамических характеристик тупиковых выработок для разжижения газа, поступающего в выработку  
Figure 1 – Types of aerodynamic characteristics of blind openings to dilute gas entering the opening

выработкам и отводящих от них, позволяет объяснить опасное и редко выявляемое явление загазирования ограниченных по длине, но весьма опасных участков, располагаемых между диффузором вентилятора местного проветривания и исходящей струей.

Исследованиями выявлено, что в тупиковых выработках графики газовыделения метана по его длине имеют три характерных разновидности:

- с равномерно нарастающими к тупику величинами газовыделения;
- с нарастающим газовыделением к тупику с волнообразными всплесками на отдельных участках за счет выделения из трещин, нарушений и суфляров;
- с периодически появляющимися волнообразными участками, имеющими место в квершлагах при пересечении пластов угля, а также тектоническими нарушениями.

Аэродинамика системы «Вентилятор и став вентиляционных труб» с распространенными соединениями характеризуется равномерно убывающими от вентилятора к тупику утечками как через швы и ткань вентиляционных труб, так и через соединения, причем утечки через соединения составляют 65-70 % от общих утечек [2].

На участках подготовительных выработок, где скорость воздушного потока ниже предельно допустимой, появляется реальная возможность местного загазирования и слоевого скопления метана.

В тех случаях, когда от забоя исходит вентиляционная струя с содержанием метана предельной концентрации (0,5 или 1 %), загазирование и слоевое скопление метана гарантированы на тех участках, где газовыделение из стенок выработки превышает величину утечек воздуха из става вентиляционных труб более чем в 100 раз, то есть  $C > 100 (A + B)$ .

Причем загазирование выработки происходит при значительных средних скоростях движения воздушных потоков ( $V > 1,5$  м/с).

В настоящее время в стране используют в шахтах гибкие шахтные вентиляционные трубы, изготавливаемые диаметром 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,6; и 2,0 м. Длина отдельных отрезков труб, как правило, составляет 20 м. Для соединения отдельных отрезков применяются множество конструкций соединений. Вопросами разработки и совершенствования соединений вентиляционных труб занимались многие изобретатели и исследователи, работавшие в различных институтах (МакНИИ, ВостНИИ, ДонУГИ и др.). Стыковые соединения гибких шахтных вентиляци-

онных труб содержат концевые металлические кольца, вшиваемые при изготовлении. Несмотря на достаточно большое количество конструкций соединений вентиляционных труб, на практике применяется достаточно примитивное, с низкой степенью надежности и герметичности соединение - труба в трубу с различной проволоочной фиксацией. Поэтому при пусках вентилятора после аварийных или плановых остановок случаются смещения и разрывы труб. При тщательном рассмотрении конструкций соединений вентиляционных труб становится очевидным, что с целью повышения герметичности и надежности соединения необходимо отрезки труб прижимать друг к другу так, чтобы они не могли рассоединиться при пневмоударах во время пуска вентилятора после аварийной или плановой остановки, а по конструктивному устройству соединение должно иметь минимальное число элементов конструкции, по одному элементу на каждом конце отрезка труб. Конструктивно соединения должны прижимать ткань одного отрезка к ткани другого отрезка без оставления в них зазоров и возможности скольжения относительно друг друга, следовательно, они должны нести на концевых элементах легко монтируемые и легко разбираемые элементы, прижимающие соединительные элементы различных отрезков труб. К таким элементам относят разъемные болтовые соединения или быстроразъемные патефонные затворы. А.М. Ермолаевым совместно с В.М. Абрамовым и с В.П.Птицыным разработано новое соединение гибких шахтных вентиляционных труб (патент РФ № 1724889) [3]. На рис. 2 показана первая модель соединения, названная СВТ-1.

Соединение СВТ=1 содержит жесткие элементы 1 и 2, внутренние диаметры которых соответствуют наружному диаметру соединяемых труб 3 и 4. Зажимные элементы соединены стяжными болтами 5 с резьбой под гайку-барашку 6 и установлены на соединяемых отрезках труб с возможностью продольного перемещения относительно друг друга и соединяемых труб, а между их зажимными поверхностями 7 и 8 размещены концы труб.

Исследования ВостНИИ показали, что в подготовительной выработке по ее длине в период проходки с использованием серийно изготавливаемых труб имеются зоны, в которых даже при малом газовыделении создаются условия для местного или слоевого скопления метана с концентрацией свыше 2 % в верхних частях сечения выработки. Неконцентрированные и нерегулируемые утечки воздуха из вен-

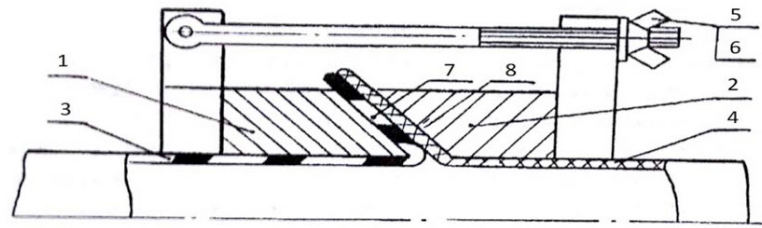


Рисунок 2 – Соединение вентиляционных труб СВТ-1  
Figure 2 – SVT-1 ventilation pipes connection

вентиляционного става, даже если они очень высокие, должного влияния на очаги местного или слоевого скопления метана с точки зрения его рассеивания и выноса из выработки не имеют. В свою очередь, на практике борьба с этими скоплениями метана – весьма трудоемкая и неприятная работа, связанная с остановками забоя и простоями. Авторами патента РФ № 2055214 [4] разработано соединение гибких шахтных вентиляционных труб, с одной стороны, полностью исключая нерегулируемые утечки воздуха из става в соединениях; с другой стороны, соединения оборудованы устройствами, позволяющими осуществлять концентрированный отвод определенного объема свежего воздуха из става с подводом его к очагам местного или слоевого скопления метана мелкими высокоскоростными пронзающими струями. Устройство выполнено в трех вариантах.

По первому варианту отводимая струя имеет динамическое давление, по второму – из вентиляционного става отводится часть свежей струи под статическим давлением. В этих двух вариантах струя направленно подводится к оча-

гам местного и слоевого скопления метана через конические «взвихриватели» или прямолинейно, конусообразно или закручено.

В третьем варианте отводимая струя под статическим или динамическим давлением за счет сил реакции вращает одну или две пары конических «взвихривателей». Истекающий из насадок воздух возмущает слоевое скопление метана, перемешивает с воздухом, движущимся по выработке, снижая концентрацию метана до допустимых норм. Конические «взвихриватели» изготавливаются с разными диаметрами отверстий на выходе от 2 до 12 мм (2; 4; 6; 8; 10; 12 мм), за счет чего появляется возможность регулирования как количества выпускаемого воздуха, так и скорости исходящей струи. Насадки съемные и при необходимости легко, с малыми трудовыми затратами, могут быть заменены. Если в процессе проходки выработки очаги местного или слоевого скопления метана истощились или переместились, в результате чего отпала или изменилась необходимость в отводе струи, то съемные конические насадки могут быть заменены на заглушки и отвод струи будет прекращен.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ермолаев А.М. Слойевые и местные скопления метана в тупиковых подготовительных выработках // Вестник научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. 2017. № 4. С. 33-40.
2. Ермолаев А.М. Вопросы борьбы со слоевыми и местными скоплениями метана в тупиковых выработках // Вестник научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. 2018. № 1. С. 63-68.
3. Пат. SU 1724889 A1 E21 F 1/06. Соединение гибких вентиляционных труб / В.М. Абрамов, А.М. Ермолаев, В.П. Птицын (СССР); заявлено 10.08.93; опубл. 07.04.92; бюл. № 12.
4. Пат. RU № 2055214 С1 E21 F 1/06. Соединения гибких вентиляционных труб / А.М. Ермолаев, А.А. Ермолаев; заявлено 10.08.93; опубл. 27.02.96; бюл. № 6.

#### REFERENCES

1. Yermolaev, A.M. (2017). Sloevye i mestnye skopleniia metana v tupikovykh podgotovitelnykh vyrabotkakh [Layer and local accumulations of methane in blind development workings]. *Vestnik Nauchnogo tsentra VostNII po promyshlennoi i ekologicheskoi bezopasnosti – Herald of Industrial and Environmental Safety Scientific Center VostNII*, 4, 33-40 [in Russian].
2. Yermolaev, A.M. (2018). Voprosy borby so sloevymi i mestnymi skopleniami metana v tupikovykh vyrabotkakh [Issues of dealing with stratified and local accumulations of methane in blind workings]. *Vestnik Nauchnogo tsentra VostNII po promyshlennoi i ekologicheskoi bezopasnosti – Herald of Industrial and Environmental Safety Scientific Center VostNII*, 1, 63-68 [in Russian].
3. Abramov, V.M., Yermolaev, A.M., & Ptitsyn, V.P. Soiedinenie gibkikh ventilatsionnykh trub [Flexible ventilation duct connection]. *Patent RF No. SU 1724889 1993* [in Russian].
4. Yermolaev, A.M., & Yermolaev, A.A. Soiedinenie gibkikh ventilatsionnykh trub [Flexible ventilation duct connection]. *Patent RF No. RU 2055214 1993* [in Russian].





**М.В. Шинкевич //**  
**M.V. Shinkevich**  
**max-valerich@rambler.ru**

канд. техн. наук, старший научный сотрудник ФГБУН «ФИЦ УУХ СО РАН», Россия, 650065, г. Кемерово, Ленинградский проспект, 10  
 candidate of technical sciences, senior researcher of Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 10, Leningrad Avenue, Kemerovo, 650065, Russia

УДК 622.23.02

## **ВОЗМОЖНОСТЬ УТОЧНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ КОМПЛЕКСНО-МЕХАНИЗИРОВАННЫХ ВЫЕМОЧНЫХ УЧАСТКОВ**

### **ABILITY TO IMPROVE TECHNOLOGICAL SOLUTIONS WHEN DESIGNING COMPLEX-MECHANIZED EXTRACTION SECTIONS**

*В статье рассмотрены современные представления о происходящих в горном массиве геомеханических процессах при высокопроизводительной отработке пласта угля длинным очистным забоем. Из анализа метанообильности выемочного участка и изменения давления жидкости в стойках механизированной крепи показано развитие процесса сдвижений горных пород как в окрестности очистного забоя, так и до земной поверхности. Отмечается, что процессы сдвижений имеют нелинейный характер и соответствуют волнообразному изменению метанообильности выемочного участка, из представления об угольных пластах, как о пластинах-индикаторах, которые при снижении напряжений выделяют газ, непрерывно контролируемый системой рудничного мониторинга. Отмечается необходимость рассмотрения массива горных пород при выемке пласта угля комплексно, учитывая, как механические напряжения, так и газовую составляющую. Появляется возможность проектирования геометрических размеров выемочных участков с учетом отмеченных особенностей, уточнения их технологических параметров.*

*The article discusses the current concepts of geomechanical processes occurring in a rock massif during high-performance mining of a coal seam with a long extraction face. From the analysis of the extraction section methane inflow and the change in fluid pressure in the power support props, the rock movement process development both in the vicinity of the extraction face and to the earth's surface is shown. It is noted that the displacement processes are non-linear in nature and correspond to the wave-like change in the methane inflow of the extraction section, from the concept of coal seams as indicator plates which with stress reduction emit gas continuously that is monitored by a mine monitoring system. Necessity to consider the rock massif comprehensively when extracting the coal seams is noted, taking into account both mechanical stresses and the gas component. It is possible to design the geometric dimensions of the extraction sections, taking into account the noted features, improving their technological parameters.*

**Ключевые слова:** ГОРНОЕ ДАВЛЕНИЕ, РАЗРАБОТКА УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ, МЕХАНИЗИРОВАННАЯ КРЕПЬ, ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ КОМБАЙНА

**Key words:** ROCK PRESSURE, COAL SEAM DEVELOPMENT, POWER SUPPORT, COMBINE PRODUCTIVITY

**П**ри подземной отработке угольного пласта необходимо принимать во внимание безопасность ведения горных работ, рассматривать проблему безопасности со всех точек зрения. Решению этой проблемы посвящены труды большой группы

ученых за рубежом и в России [1-17].

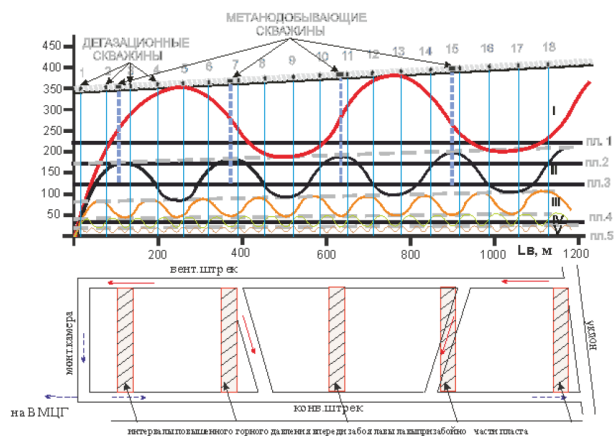
При подземной разработке угольных месторождений добывающее предприятие зачастую сталкивается с негативными следствиями геомеханических аспектов сдвижения горных пород, возникающих при вмешательстве в массив.

Для снижения их негативного влияния необходимо учитывать закономерности процессов, возникающих в подрабатываемом массиве горных пород. Знание и прогнозирование геомеханической обстановки, параметры и элементы процесса сдвижений, вызываемого отработкой угольного пласта, необходимо учитывать при проектировании выемочного участка.

**Геомеханика выемочного участка**

В 2001 г. Институтом угля и углехимии СО РАН (бывший Институт угля ФИЦ УУХ СО РАН) установлены волнообразные изменения метанообильности высокопроизводительных выемочных участков на угольных месторождениях, расширяющие границы аналитических моделей (1921-2009 гг.) периодических процессов в подрабатываемом явно анизотропном массиве горных пород [18-20]. Полученные новые знания о периодичности и волнообразности газогемеханических процессов позволили уточнить их физическую модель. Ее идентификация базируется на следующем: в массиве природой заложены пластины-индикаторы – углеметановые пласты, которые при снижении напряжений выделяют газ, непрерывно контролируемый системой рудничного мониторинга. По этим данным установлены параметры динамики выделения метана, достаточно хорошо согласующиеся с современными геомеханическими моделями.

На рис. 1 изображена предлагаемая схема развития сдвижений подрабатываемого массива горных пород.



I, II, III, IV, V слои пород, в которых формируются своды сдвижений  
 I, II, III, IV, V - layers of rocks in which the arches of displacements are formed

Рисунок 1 – Схемы формирования зон дезинтеграции подрабатываемого массива на выемочном участке Чертинского месторождения Кузбасса

Figure 1 - Disintegration zones' formation schemes of the underworked massif at an extraction section of Kuzbass Chertinsky field

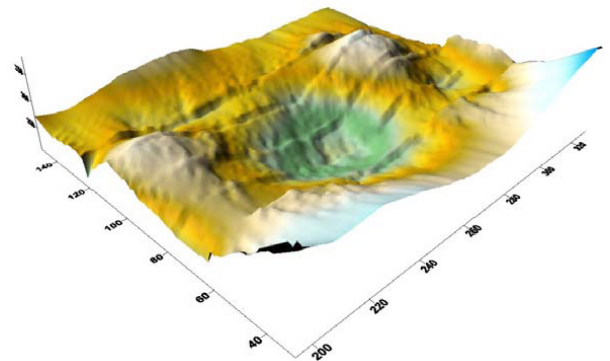


Рисунок 2 – Давление в стойках механизированной крепи при отработке пласта V Чертинского месторождения Кузбасса  
 Figure 2 - Pressure in power support props when mining seam V of Kuzbass Chertinsky field

При построении схемы (рис. 1) самоорганизации геоструктур на выемочном участке, целостность которых нарушена в результате изменения внешних условий при выемке пласта угля, учитывались данные о метанообильности выемочных участков, результаты моделирования геомеханических процессов [21] и данные о давлении в стойках механизированной крепи.

Анализ данных о метанообильности выемочных участков позволил интерпретировать развитие процесса активизации расположенных в подрабатываемом массиве источников метанообильности выемочного участка в виде иерархии вложенных сводов сдвижений, параметры которых кратны 2.

На (рис. 2) представлены значения давления жидкости в стойках механизированной крепи при движении очистного забоя. Реакция крепи на внешнее воздействие носит также волнообразный характер, что соответствует представляемой физической модели.

Процессы, отраженные на рисунке 2, происходят в соответствии с углом полных сдвижений 45 градусов. Указанные особенности также отмечены и по длине лавы [22]. Мы видим реакцию крепи в призабойной части очистного забоя в момент выемки пласта. Когда пласт воспринимает давление кровли в пределах 10 -12 его мощностей.

В этом случае самоорганизация геосреды происходит кратно параметру  $\sqrt{2}$  согласно со структурным параметром В.Н. Опарина ( $\sqrt{2}$ )<sup>m</sup> (на рис. 3. кратность  $\sqrt{2}$  получается при делении положения по Lв, м пиков горного давления друг на друга), полученному в условиях рудных месторождений, где m-уровень иерархии геоструктур (рис. 3.). Несомненным отличии-

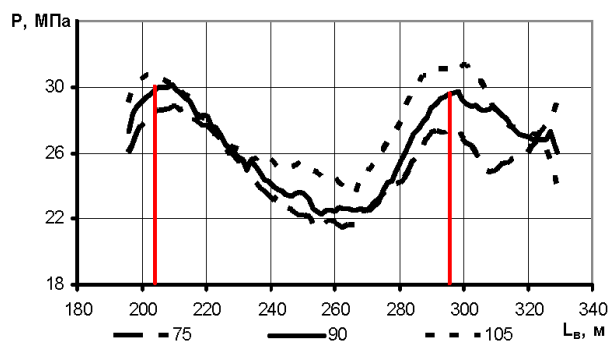


Рисунок 3 – Давление в стойках механизированной крепи по длине столба на расстоянии от конвейерного штрека 75, 90, 105 м.  
Figure 3 - Pressure in power support props along the pillar length at a distance of 75, 90, 105 m from the conveyor drift

ем рудных и угольных месторождений является относительная изотропность рудных тел от явно выраженной анизотропии угольных месторождений [23].

Отличие полученного нами структурного параметра 2 от  $(\sqrt{2})^m$  объясняется тем, что метанообильность выемочного участка отражает снижение напряжений во всем объеме подрабатываемого массива, а давление на крепь характеризует лишь влияние свода сдвижений высотой 10-12 мощностей пласта.

В дальнейшем процесс дезинтеграции горных пород развивается, доходя до поверхности. Причем свод сдвижений над очистным забоем формируется как по длине лавы, так и по длине столба, т.е. впереди забоя лавы пласт угля также претерпевает разгрузку от геостатического горного давления.

Установленные зависимости обеспечивают расчет параметров процесса сдвижений массива горных пород, представленного иерархическим рядом зависимостей от глубины ведения горных работ, углов полных сдвижений и отхода очистного забоя от монтажной камеры. В соответствии с указанной схемой сдвижений, принимая во внимание гипотезу о сводах естественного равновесия, озвученную М.М. Прододьяконовым, горное давление принимаем равным давлению пород в пределах свода сдвижений.

При проектировании размеров выемочных столбов и длин лав необходимо учитывать геомеханическую ситуацию, формирование во вмещающем массиве иерархии сводов при выемке угольного пласта. При проектировании таких элементов выемочного участка, как промежуточные печи и демонтажная камера, необходимо выбирать их расположение по длине столба в местах с наименьшим воздействием горного

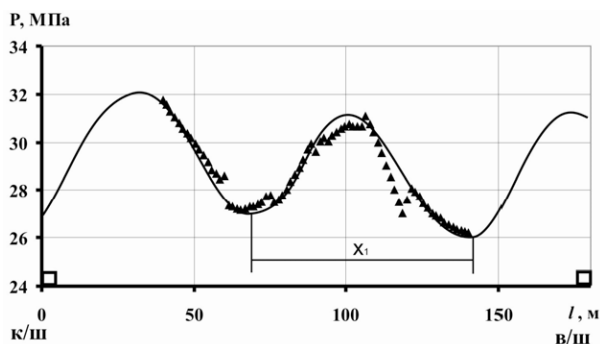


Рисунок 4 – Давление в стойках механизированной крепи по длине лавы  
X1 – длина основания свода сдвижений, м  
Figure 4 - Pressure in power support props along the length of the longwall  
X1 - displacement arch base length, m

давления (рис. 1). Необходимо принимать во внимание вложенность сводов при определении длины лавы с учетом угла полных сдвижений для этих условий (рис. 4). Несоблюдение вложенности может вызвать зависание пород кровли и повышенное давление на крепь лавы.

#### Связь геомеханических напряжений и метановыделения

В последние десятилетия российскими учеными активно развиваются знания о свойствах углеметанового пласта, как твердого углегазового раствора (приоритет научного открытия 1981 г.). Газосодержание твердого углегазового раствора (ТУГР) связано с действующими вертикальными напряжениями [24].

Полученная зависимость газонасности пласта от вертикальных напряжений обеспечивает количественную оценку взаимосвязи форм существования метана в структуре газонасности пласта и расчет элементов газокинетического процесса, определяющих поступление газа в выработку.

Используя вышеизложенные результаты, появляется возможность, учитывая геомеханическую ситуацию в подрабатываемом массиве горных пород, определять максимально возможную нагрузку на выемочный участок по газовому фактору (рис. 5). Зная газонасность в отбиваемой полосе угля, можно определить максимально возможную скорость подачи выемочного комбайна для недопущения превышения норм содержания газа в исходящей струе очистного забоя (рис. 6).

#### Заключение

Таким образом, установленные особенности процесса сдвижений при обработке угольно-

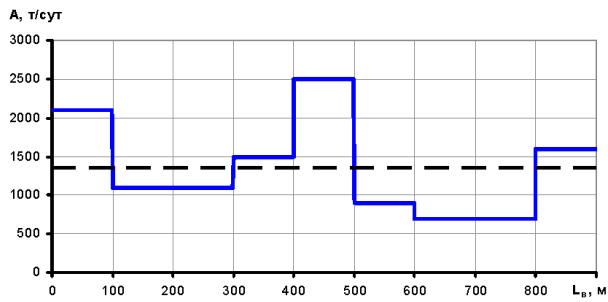


Рисунок 5 – График допускаемой по газовому фактору среднесуточной производительности участка (А) № 546 ш. Чертинская-Коксовая  
 Figure 5 - The graph of the allowed by gas factor section (A) No. 546 of mine Chertinskaya-Koksovaya daily average performance

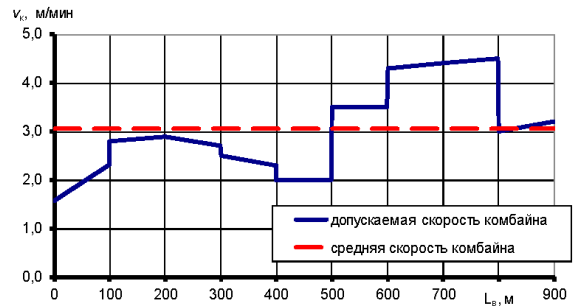


Рисунок 6 – Максимально допускаемая скорость ( $V_c$ ) угледобывающего комбайна на выемочном участке № 546 ш. Чертинская-Коксовая  
 Figure 6 - The maximum permissible speed ( $V_c$ ) of a coal-mining combine at the excavation section number 546 of Chertinskaya-Koksovaya mine

го пласта длинными столбами позволяют предвидеть следствия технологических решений при определении основных параметров выемочных

участков. Прогнозировать метановыделение при разработке пласта, планировать соответствующую нагрузку на очистной забой и скорость движения добычного комбайна.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Shemyakin E.I. Zonal disintegration of rocks around underground workings, part iii: theoretical concepts /Shemyakin E.I., Fisenko G.L., Kurlenya M.V., Oparin V.N., Reva V.N., Glushikhin F.P., Rozenbaum M.A., Tropp E.A., Kuznetsov Y.S. // Soviet Mining Science. 1987. Т. 23. № 1. С. 1.
2. Курленя М. В., Опарин В. Н. Проблемы нелинейной геомеханики // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 1999. № 3. С. 12–26.
3. Волнообразное распределение горного давления вдоль забоя лавы // Ройтер М. [и др.] // ФТПРПИ. 2009. № 2. С. 38-45.
4. Мониторинг динамических проявлений горного давления в системе управления МАРКО «Цифровая шахта» / Ройтер М. [и др.] // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов: сб. науч. статей / сиб. Гос индустр. Ун-т; под общей ред. В.Н. Фрянова. Новокузнецк. 2015. С. 33-39.
5. Клишин В. И., Бучатский В. М., Коновалов Л. М. Поддержание и сохранение подготовительных выработок анкерной крепью при посадке кровли направленным гидроразрывом // Уголь. 2007. № 6. С. 45-50.
6. Метод направленного гидроразрыва труднообрушающихся кровель для управления горным давлением в угольных шахтах / Клишин В. И. [и др.] // Уголь. 2008. № 11 (991). С. 12-17.
7. Клишин В. И., Курленя М. В. Создание оборудования для дегазации угольных пластов на принципе гидроразрыва горных пород // Уголь. 2011. № 10. С. 34-39.
8. Клишин С. В., Клишин В. И., Опрук Г. Ю. Моделирование процесса выпуска угля при механизированной отработке мощных крутопадающих угольных пластов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2013. № 6. С. 105-116.
9. Черданцев Н. В., Преслер В. Т., Изаксон В. Ю. Обоснование геомеханической модели разрушения многосвязного массива горных пород с прочностной анизотропией // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2009. № 07. С. 122-125.
10. Черданцев Н. В. К проблеме оценки прочности породного слоя, расположенного в кровле горной выработки // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2013. № 1.2. С. 38 - 44.
11. К оценке ресурсов шахтного метана в выработанном пространстве / Тайлаков О. В. [и др.] // Отдельный выпуск Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2013. № 06. С. 160-165.
12. Портола В.А. Эндогенная пожароопасность шахт в условиях управления газовой выделением средствами вентиляции // Безопасность труда в промышленности. 2006. № 9 С. 32-35.
13. Определение коэффициента диффузии и содержания газа в пласте на основе решения обратной задачи по данным измерения давления в герметичной емкости с угольным веществом / Назарова Л. А. [и др.] // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2012. № 5. С. 15-23.
14. Особенности дегазации высокогазоносных угольных пластов / Полевщиков Г. Я. [и др.] // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. Новосибирск: ИГД СО РАН. 2014. № 1. Т. 2. С. 27-34.
15. A. V. Shadrin and A. A. Kontrimas. Basic tasks for improving spectral-acoustic forecasting of dynamic phenomena in coal mines / IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 84, conference 1. (2017), 012040.
16. Шадрин А.В., Диук Ю.А., Телегуз А.С. Применение акустических методов для управления параметрами гидроразработки горного массива и оценки ее эффективности // Горная промышленность. 2018. №2. С. 79-82.
17. Шадрин А.В., Клишин В.И. Установление связи параметров акустической эмиссии с фильтрационно-коллекторскими свойствами массива и характеристиками насосной установки при гидроразработке кровли и угольного пласта // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2018. № 1. С. 77-87.
18. Снижение газодинамической опасности подземных горных работ / Полевщиков Г.Я. [и др.] // Уголь. 2007. № 11

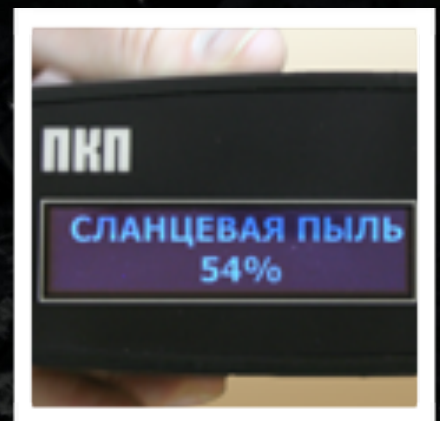
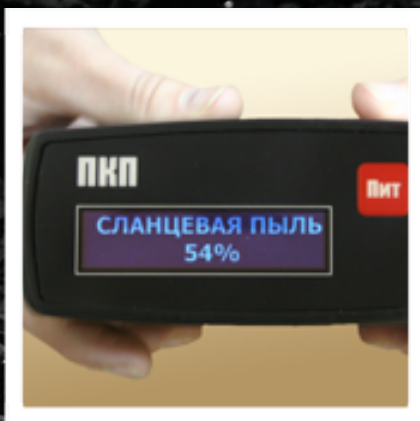


- (979). С. 13-16.
19. Шинкевич М.В. Газовыделение из обрабатываемого пласта с учётом геомеханических процессов во вмещающем массиве // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2013. № 6. С. 278-285.
  20. Шинкевич М.В., Козырева Е.Н. Взаимосвязи основных особенностей процессов разгрузки и сдвижения вмещающих пород с динамикой выделения метана из разрабатываемого пласта при его отработке длинными выемочными столбами // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2006. № 6. С. 17-19.
  21. Якоби О. Практика управления горным давлением. Пер. с нем. М.: Недра, 1987. 566 с.
  22. Волнообразное распределение горного давления вдоль забоя лавы / Ройтер М. [и др.] // ФТПРПИ. 2009. № 2. С. 38-44.
  23. Зональная дезинтеграция горных пород и устойчивость подземных выработок / Опарин В. Н. [и др.]. Новосибирск: Изд-во СО РАН. 2008. 278 с.
  24. Малышев Ю. Н., Трубецкой К. Н., Айруни А. Т. Фундаментально-прикладные методы решения проблемы угольных пластов М.: ИАГН, 2000. 516 с.

## REFERENCES

1. Shemyakin E.I. (1987). Zonal disintegration of rocks around underground workings, part iii: theoretical concepts / Shemyakin E.I., Fisenko G.L., Kurlenya M.V., Oparin V.N., Reva V.N., Glushikhin F.P., Rozenbaum M.A., Tropp E.A., Kuznetsov Y.S. // *Soviet Mining Science*. 1987. T. 23. № 1. С. 1 [in English].
2. Kurlenya, M.V., & Oparin, V.N. (1999). Problemy nelineinoy geomekhaniki [Problems of non-linear geo-mechanics]. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh - Physical and technical problems of mineral resources development*, 3, 12-26 [in Russian].
3. Roiter, M., Roiter, M., Kurfiust, V., Mairkhover, K., & Veksler, Yu. (2009). Volnoobraznoie raspredelenie gornogo davlenia vdol zaboia lavy [Wave-like distribution of rock pressure along the longwall face]. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh - Physical and technical problems of mineral resources development*, 2, 38-45 [in Russian].
4. Roiter, M., Krakh, M., Mairkhofer, K., Kisling, U., & Veksler, Yu. (2015). Monitoring dinamicheskikh proiavlenii gornogo davlenia v sisteme upravleniia MARKO «Tsifrovaia shakhta» [Monitoring of dynamic manifestations of rock pressure in MARCO “Digital Mine” control system]. *Naukoemkie tekhnologii razrabotki i ispolzovaniia mineralnykh resursov: sb. nauch. statei [High technologies of mineral resources development and use: scientific articles collection]*. Novokuznetsk: Siberian State Industrial University, pp. 33-39 [in Russian].
5. Klishin, V.I., Buchatsky, V.M., & Konovalov, L.M. (2007). Podderzhanie i sokhranenie podgotovitelnykh vyrobotok ankernoii krepui pri posadke krovli napravlennym gidrorazryvom [Maintenance and preservation of development workings with anchor roof support when breaking roof with directional hydraulic fracture]. *Ugol – Coal*, 6, 45-50 [in Russian].
6. Klishin, V.I., Nikolsky, A.M., Opruk, G.Yu., Neverov, A.A., & Neverov, S.A. (2008). Metod napravlennogo gidrorazryva trudnoobrushaiushchikhsia krovli dlia upravleniia gornym davleniem v ugolnykh shakhtakh [Hard-breaking roof directed hydraulic fracturing method to control rock pressure in coal mines]. *Ugol – Coal*, 11 (991), 12-17 [in Russian].
7. Klishin, V.I., & Kyrlenya, M.V. (2011). Sozdanie oborudovaniia dlia degazatsii ugolnykh plastov na printsipe gidrorazryva gornykh porod [Coal seam degassing equipment based on mine rocks hydraulic fracturing principle creation]. *Ugol – Coal*, 10, 34-39 [in Russian].
8. Klishin, S.V., Klishin, V.I., & Opruk, G.Yu. (2013). Modelirovanie protsessa vypuska uglia pri mekhanizirovannoi otrabotke moshchnykh krutopadaiushchikh ugolnykh plastov [Modeling of free flow coal outlet process at mechanized mining of thick steep coal seams]. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh - Physical and technical problems of mineral resources development*, 6, 105-116 [in Russian].
9. Cherdantsev, N.V., Presler, V.T., & Izakson, V.Yu. (2009). Obosnovanie geomekhanicheskoi modeli razrusheniia mnogosviaznogo massiva gornykh porod s prochnostnoi anizotropiei [Multiply-connected rock massif with strength anisotropy destruction geomechanical model substantiation]. *Gorny informatsionno-analiticheskii biulleten – Mining Informational Analytical Bulletin*, 7, 122-125 [in Russian].
10. Cherdantsev, N.V. (2013). K probleme otsenki prochnosti porodnogo sloia, raspolzhenno v krovle gornoii vyrabotki [To the problem of assessing the strength of the rock layer located in the mine working roof]. *Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugolnoi promyshlennosti – Herald of Safety in Mining Industry Scientific Center*, 1.2, 38-44 [in Russian].
11. Tailakov, O.V., Tailakov, V.O., Makeev, M.P., Sokolov, S.V., & Kormin, A.N. (2013). K otsenke resursov shakhtnogo metana v vyrabotannom prostranstve [To the assessment of coal mine methane resources in the gob area]. *Otdelnyy vypusk Gorny informatsionno-analiticheskii biulleten – Special Edition Mining Informational Analytical Bulletin*, 6, 160-165 [in Russian].
12. Portola, V.A. (2006). Endogennaia pozharoopasnost shakht v usloviakh upravleniia gazovydeleniem sredstvami ventilyatsii [Endogenous fire hazard of mines in terms of gas emission control by means of ventilation]. *Bezopasnost truda v promyshlennosti – Industrial Labor Safety*, 9, 32-35 [in Russian].
13. Nazarova, L.A., Nazarov, L.A., Polevshchikov, G.Ya., & Rodin, R.I. (2012). Opredelenie koeffitsienta diffuzii i sodержaniia gaza v plaste na osnove resheniia obratnoi zadachi po dannym izmereniia davleniia v germetichnoi emkosti s ugolnym veshchestvom [Determination of the diffusion coefficient and gas content in the seam based on the solution of the inverse problem according to the pressure measurement data in a sealed container with coal substance]. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh - Physical and technical problems of mineral resources development*, 5, 15-23 [in Russian].
14. Polevshchikov, G.Ya., Rodin, R.I., Riabtsev, A.A., Nazarov, L.A., & Nazarova, L.A. (2014). Osobennosti degazatsii vysokogazonosnykh ugolnykh plastov [Degassing features of high-gas-containing coal seams]. *Fundamentalnye i prikladnye voprosy gornykh nauk - Fundamental and applied issues of mining sciences*, 1, v. 2, 27-34 [in Russian].
15. Shadrin, A. V. & Kontrimas, A. A. (2017). Basic tasks for improving spectral-acoustic forecasting of dynamic phenomena

- in coal mines / *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 84, conference 1* [in English].
16. Shadrin, A.V., Diiuk, Yu.A., & Teleguz, A.S. (2018). Primenenie akusticheskikh metodov dlia upravleniia parametrami gidroobrabotki gornogo massiva i otsenki ee effektivnosti [The use of acoustic methods to control the rock massif hydrotreatment parameters and its effectiveness assessment]. *Gornaia promyshlennost – Mining Industry, 2*, 79-82 [in Russian].
  17. Shadrin, A.V., & Klislin, V.I. (2018). Ustanovlenie sviazi parametrov akusticheskoi emissii s filtratsionno-kollektorskimi svoistvami massiva i harakteristikami nasosnoi ustanovki pri gidroobrabotke krovli i ugolnogo plasta [Establishing the relationship of acoustic emission parameters with the filtration and collection properties of the seam and the characteristics of the pumping unit during the hydrotreatment of the roof and the coal seam]. *Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugolnoi promyshlennosti – Herald of Safety in Mining Industry Scientific Center, 1*, 77-87 [in Russian].
  18. Polevshchikov, G.Ya., Kozyreva, Ye.N., Shinkevich, M.V., Briuzgina, O.V., Riabtsev, A.A., Nazarov, N.Yu., & Plaksin, M.S. (2007). Snizhenie gazodinamicheskoi opasnosti podzemnykh gornykh rabot [Reducing the gas-dynamic hazard of underground mining]. *Ugol – Coal, 11* (979), 13-16 [in Russian].
  19. Shinkevich, M.V. (2013). Gazovydelenie iz otrabatyvaemogo plasta s uchiotom geomekhanicheskikh protsessov vo vmeshchaiushchem massive [Gas emission from the seam under development, with the account of geomechanical processes in the bedding massif]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten – Mining Informational Analytical Bulletin, 6*, 278-285 [in Russian].
  20. Shinkevich, M.V., & Kozyreva, Ye.N. (2006). Vzaimosviasi osnovnykh osobennostei protsessov razgruzki i sdvizheniia vmeshchayushchikh porod s dinamikoii vydeleniia metana iz razrabatyvaemogo plasta pri ego otrabotke dlinnymi vyemochnymi stolbami [Bedding rocks unloading and displacement processes main features relationships with the dynamics of methane emission from the seam under development when it is developed by long extraction pillars]. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Herald of Kuzbass State Technical University, 6*, 17-19 [in Russian].
  21. Yakobi, O. (1987). *Praktika upravleniia gornym davleniem [Rock pressure control practice]*. Moscow: Nedra [in Russian].
  22. Roiter, M., Kurfiust, V., Mairkhover, K., & Veksler, Yu. (2009). Volnoobraznoie raspredelenie gornogo davlenia vdol zaboia lavy [Wave-like distribution of rock pressure along the longwall face]. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh - Physical and technical problems of mineral resources development, 2*, 38-44 [in Russian].
  23. Oparin, V.N., Tapsiev, A.P., Rozenbaum, M.A., Reva, V.N., Batdiev, B.P., Trop, E.A., & Chanyshev, A.I. (2008). *Zonalnaia dezintegratsia gornykh porod i ustojchivost podzemnykh vyrabotok [Zonal disintegration of rocks and underground workings stability]*. Novosibirsk: SB RAS Publishing House [in Russian].
  24. Malyshev, Yu.N., Trubetskoi, K.N., & Airuni, A.T. (2000). *Fundamentalno-prikladnyie metody reshenia problem ugolnykh plastov [Fundamental-applied methods for solving the coal seam problems]*. Moscow: IAGN [in Russian].



**ПКП**  
**ПРИБОР КОНТРОЛЯ ПЫЛЕВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК**  
**ООО "ГОРНЫЙ-ЦОТ"**  
**INDSAFE.RU**





■ П.Б. Герике // P.V. Gerike  
am\_besten@mail.ru

канд. техн. наук, доцент, старший научный сотрудник ФГБУН «ФИЦ УУХ СО РАН», Россия, 650065, г. Кемерово, Ленинградский проспект, 10  
candidate of technical sciences, assistant professor, senior researcher of Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 10, Leningradsky Av., Kemerovo, 650065, Russia

УДК 53.083(430.1)

## НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ БУРОВЫХ СТАНКОВ SOME RESULTS OF DRILLING RIGS EQUIPMENT DIAGNOSTICS

*В статье рассмотрены результаты работ по обеспечению предпосылок для создания группы единых диагностических критериев, пригодных для выполнения оценки фактического состояния и прогнозирования процесса деградации оборудования электрических буровых станков и дизель-гидравлических установок. Целью работы являлось решение задачи по разработке алгоритма создания единых критериев оценки для анализа параметров механических колебаний, генерируемых при работе энерго-механического оборудования буровых станков и установок; классификация дефектов по типам, причинам возникновения и степени опасности; формализовать диагностические признаки для удобства их использования при разработке кода алгоритма автоматизированного контроля технического состояния бурового оборудования по частотным наборам диагностических признаков. Кроме того, в рамках исследования доказывается целесообразность применения адаптивных краткосрочных моделей в условиях действующей на предприятиях угольной отрасли системы плановых ремонтов технологического оборудования. В работе обоснован комплексный подход к анализу параметров вибрации энерго-механического оборудования горных машин, включающий результаты спектрального анализа, анализа огибающей, вейвлет-преобразование, анализ характеристики выбега. Показано, что только при условии реализации комплексного подхода к использованию диагностических методологий открывается возможность для получения наиболее полных результатов анализа диагностических данных и эффективного диагностирования дефектов, в том числе находящихся на стадии зарождения. Полученные результаты свидетельствуют об эффективности предложенного подхода для решения задачи по разработке единых критериев оценки технического состояния сложных механических систем, при помощи которых можно осуществлять прогнозирование изменения фактического состояния оборудования буровых станков и установок.*

*This paper considers the results of work to provide the prerequisites for creating a group of common diagnostic criteria suitable for performing an assessment of the actual state and predicting the process of electric and diesel-hydraulic drilling rigs equipment degradation. The work aim was development of an algorithm for creating common evaluation criteria for analyzing the parameters of mechanical vibrations generated during operation of power-mechanical equipment of drilling rigs and also defects classification by types, causes and hazard levels and to formalize diagnostic features for convenience in their use when developing a code for an automated control algorithm for the technical condition of drilling equipment based on frequency types of diagnostic features. In addition, the study proves the expediency of using adaptive short-term models in the conditions of technological equipment operating at the coal industry enterprises planned repairs system. The paper substantiates a comprehensive approach to the vibration parameters analysis of the power-mechanical equipment of mining machines, including the results of spectral analysis, envelope analysis, wavelet transform, and run-out characteristics analysis. It is shown that only in condition of a comprehensive approach to diagnostics methods wide opportunities open for timely diagnosis of mining machine equipment defects, including those at the stage of origination. The results indicate the proposed approach effectiveness for solving the problem of developing common criteria for assessing the complex mechanical systems technical condition, with which you can predict changes in the actual state of drilling machines and drilling rigs equipment.*

**Ключевые слова:** БУРОВЫЕ СТАНКИ, ВИБРОДИАГНОСТИКА, ДЕФЕКТЫ ЭНЕРГО-МЕХАНИЧЕСКОГО

## ОБОРУДОВАНИЯ, ГОРНЫЕ МАШИНЫ, УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИМ ОБСЛУЖИВАНИЕМ

**Key words:** DRILLING RIGS, IBROGIAGNOSIS, POWER-MECHANICAL EQUIPMENT DEFECTS, MINING MACHINES, MAINTENANCE MANAGEMENT

По некоторым оценкам сегодня в Кузбассе до 20% буровых станков и установок, из числа подлежащих проведению процедуры экспертизы промышленной безопасности, находятся в недопустимом техническом состоянии. Дальнейшая эксплуатация этого оборудования сопряжена со значительным ростом числа непроизводительных аварийных простоев. В настоящее время нормы системы планово-предупредительных ремонтов позволяют продолжать эксплуатацию заведомо неисправного технологического оборудования, таким образом провоцируется возникновение ситуаций, составляющих реальную угрозу для жизни и здоровья обслуживающего и ремонтного персонала буровых установок. Кроме того, сама система оценки технического состояния оборудования, применяемая в рамках экспертизы промышленной безопасности, является несовершенной и не позволяет в должной мере спрогнозировать оценку степени опасности развития существующих дефектов.

Основой для выполнения настоящей работы послужила выборка из двадцати единиц бурового оборудования, включающая в себя электрические буровые станки типа СБШ и СБР, а также дизель-гидравлические буровые установки DML. Период сбора диагностической информации составил более десяти лет, что позволило сформировать представительные базы данных по параметрам виброакустического сигнала, включающие результаты замеров с применением различных диагностических методологий в расширенном частотном и динамическом диапазонах. Обобщение статистических данных позволило приступить к разработке группы единых диагностических критериев, по одному на каждую группу базовых дефектов оборудования буровых станков и установок (дефекты подшипников качения, электродвигателей, дефекты редукторов, дизельных двигателей, роторных компрессоров и гидромоторов – см. примеры анализа на рисунках 1 – 3). Каждый создаваемый для отдельной группы базовых дефектов оборудования единый диагностический критерий основывается на результатах комплексного анализа полученной информации несколькими различными методами вибродиагностики, что нивелирует необходимость использования при проведении анализа большого числа диагностических признаков и правил. Из-за существенных

ограничений в области применения методов контроля по параметрам механических колебаний [1–3] используемые при разработке единых критериев наборы диагностических характеристик и параметров выбирались с учетом специфики конструкции, особенностей режимов работы и специфики возникновения и распространения виброакустических волн. Результаты применения комплексного подхода к анализу вибрации включали спектральный анализ, эксцесс, анализ огибающей и вейвлет-преобразование, выбор конкретного сочетания методологий определялся типом объекта исследования, предполагаемыми дефектами и режимами работы оборудования. Создаваемые единые критерии, кроме прочего, могут использоваться для моделирования процесса деградации технического состояния оборудования буровых станков, что составляет дополнительный интерес для практической реализации таких подходов к совершенствованию методологии нормирования параметров механических колебаний [4]. Если учесть, что присутствующее на рынке программное обеспечение, использующее прогнозные модели для описания процессов деградации технического состояния сложных механических систем, является несовершенным, т.к. область таких моделей ограничивается обычно однотипными дефектами, а в качестве моделируемых параметров используется один-два наиболее изученных критерия [5–7], то разработка единых диагностических критериев оценки фактического состояния представляется весьма важной и актуальной научной задачей. Действующая по сей день на предприятиях угольной промышленности Кузбасса система планово-предупредительных ремонтов делает возможным использование только лишь одного типа прогнозных моделей, позволяющих получить в краткосрочной перспективе ответ на вопрос, проработает ли техническое устройство до момента постановки на очередной ремонт или нет. Для решения данной задачи можно применять алгоритмы адаптивного краткосрочного прогнозирования, предложенные в работах [8]. Преимущество таких моделей заключается в максимальном использовании диагностической информации из предыдущих замеров, быстрой адаптации к изменяющимся условиям и высокой достоверности результатов моделирования на малых интервалах прогнозирования. К недостаткам можно отнести ограниченную область



реализации и не всегда достаточную апробацию разрабатываемых моделей [9].

Анализ данных по параметрам виброакустического сигнала, полученных на работающем энерго-механическом оборудовании буровых станков и установок, позволил сгруппировать все дефекты данного класса горной техники по базовым группам в зависимости от особенностей их возникновения и степени опасности и осуществить их классификацию для удобства использования диагностических признаков и правил при разработке кода алгоритма создания единых критериев оценки состояния сложных механических систем. Формализации подверглись более ста двадцати признаков, из которых более 80% находятся в области спектрального анализа, остальные 20% - диагностические правила выявления дефектов энерго-механического оборудования при помощи методов анализа огибающей, эксцесса, вейвлет-преобразования параметров исходного сигнала.

Результаты исследований позволили сформулировать несколько групп базовых диагностических признаков, пригодных для создания единых диагностических критериев оценки технического состояния энерго-механического оборудования буровых станков и установок. Так, например, при разработке критерия для выявления дефектов электрической природы на силовых установках станков серии СБШ использовался следующий набор базовых диагностических признаков:

1. Анализ временной реализации сигнала, используемой для выявления ярко выраженной амплитудной модуляции полигармонической волны, а также наличие в спектре ряда характерных частот, включая пазовую частоту и частоту вращения магнитного поля, являющихся признаками повреждений стержней ротора (обрыв или растрескивание).

2. Сопоставление общего уровня всех составляющих гармонического ряда частот пита-

ющей сети до и после отключения напряжения.

3. Анализ гармонической активности на удвоенной частоте питающей сети и одновременно первой гармонике оборотной частоты при условии наличия боковых частот прохода поля (неточное расположение пакета ротора относительно оси вращения – вращающийся эксцентриситет ротора).

4. Выявление процесса нарушения симметрии магнитного потока, выражающегося через генерацию составляющих спектра на частоте скольжения (наличие межвитковых замыканий в обмотке ротора).

5. Глубина модуляции спектра огибающей вибросигнала в области частот, генерируемых пульсацией магнитного потока из-за периодического изменения электромагнитных сил в воздушном зазоре между ротором и статором по причине наличия эксцентриситета или отклонения геометрических параметров статора/ротора.

6. Тангенциальные колебания статора, сопровождающиеся ростом гармонической активности на частотах  $2 \cdot f_c \pm f_c/3$ , свидетельствующие о нарушении симметрии фаз вследствие неравномерного распределения сопротивления обмоток по фазам.

7. Преобладающий рост первой и шестой гармоники гармонического ряда  $k \cdot f_r$  в тангенциальном направлении измерений, свидетельствующий о тепловой неуравновешенности ротора из-за межвитковых замыканий обмоток в результате воздействия влаги, грязи или нарушений технологии монтажа/сборки.

Анализ данных, полученных в рамках проведения процедуры экспертизы промышленной безопасности буровых станков, позволяет заявлять о необходимости реализации принципов комплексного подхода к диагностике энерго-механического оборудования горных машин. Кроме того, удалось дать обоснование применению конкретных наборов диагностических методологий в зависимости от типа обследуемого оборудования и режимов его работы. Основу такого подхода, как правило, составляют результаты спектрального анализа, анализа огибающей и эксцесс [10, 11].

Использование других диагностических методологий, таких как вейвлет-преобразование, анализ кепстра, ударные импульсы и т.д., применяется в рамках комплексного диагностического подхода только тогда, когда появляется необходимость дополнительно подтвердить полученные ранее результаты [12]. Таким образом, на данном этапе исследований при создании единых диагностических крите-

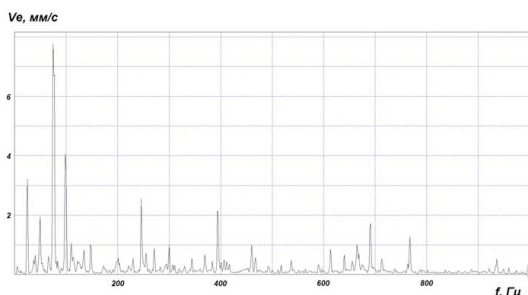


Рисунок 1 – Нарушение центровки силового агрегата, ослабление крепежа двигателя буровой установки DML-LP  
Figure 1 - Power unit misalignment, drilling rig DML-LP motor fasteners loosening

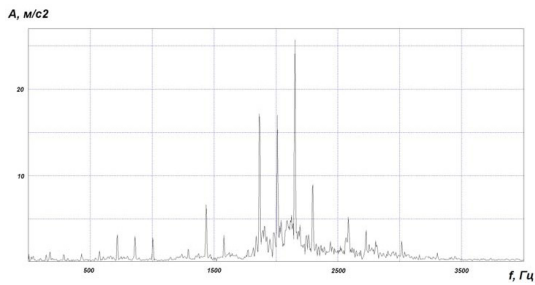


Рисунок 2 – Множественные дефекты подшипника гидромотора вращателя на буровой установке DML-LP  
Figure 2 - Bearing multiple defects of the DML-LP drilling rig hydraulic motor rotator

риев для диагностики бурового оборудования, в первую очередь, использовались результаты формализации признаков, относящихся к базовым методам, которые с достаточным успехом могут использоваться для оценки технического состояния обследуемого оборудования. Кроме того, проведенные исследования в области совершенствования методологии нормирования параметров механических колебаний позволили обобщить результаты статистических данных по параметрам вибрации и осуществить разработку спектральных масок для оборудования дизель-гидравлических буровых установок серии DML, а также обосновать целесообразность проведения мониторинга технического состояния бурового оборудования и открыть дополнительные возможности для осуществления прогнозирования изменения величины остаточного ресурса, что нашло свое отражение в рамках разработанных рекомендаций по осуществлению вибромониторинга буровых установок, принятых к внедрению на одном из угольных предприятий Кузбасса.

Для каждого из элементов энерго-механического оборудования должен быть разработан свой уникальный единый критерий, учитывающий все аспекты специфики конструкции, особенности эксплуатации и диагностирования того или иного узла или элемента, и первым шагом разработки таких критериев является очистка спектра от так называемых «лишних» гармоник. Алгоритмы клиппирования, использованные при разработке единых критериев оценки, были апробированы на объектах с неявными максимумами оборотных и основаны на процедуре уточнения оборотной частоты вращения по принципу поиска в низкочастотной области спектра отдельных составляющих с максимальными амплитудами [8].

Количество разработанных процедур клиппирования совпадает с числом возможных дефектов диагностируемого бурового оборудования, что обусловлено тем фактом, что каждая

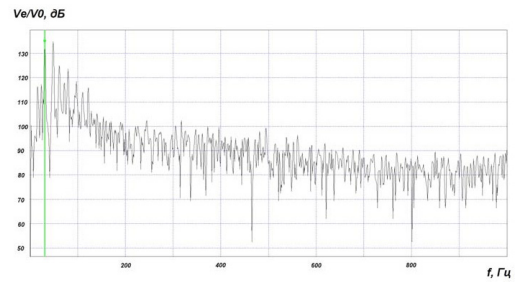


Рисунок 3 – Дисбаланс ротора электродвигателя силовой установки бурового станка СБШ-250 МНА-32  
Figure 3 - SBSH-250 MNA-32 drilling rig power unit electric motor rotor out-of-balance

из них основана на принципе удаления из спектра всех составляющих иной природы по сравнению с рассматриваемым в данный момент времени дефектом (например, при разработке алгоритма создания единого диагностического критерия для выявления дефектов подшипников качения из спектра необходимо удалить все гармонические составляющие, природа возникновения которых вызвана другими причинами: нарушением жесткости системы, нарушением соосности валов, дефектами зубчатых передач, дефектами соединительных муфт, неуравновешенностью вращающихся деталей, дефектами электрической природы и т.д.). В основу алгоритма создания единых диагностических критериев проложен набор процедур скаляризации, при помощи которых осуществляется замена множества векторов диагностических признаков на набор скалярных величин [8, 13] с использованием принципов пошагового распределения объектов на группы по степени развития дефектов энерго-механического оборудования.

Одним из важнейших преимуществ создаваемых единых диагностических критериев является возможность их использования при создании условий для внедрения на предприятиях угольной отрасли системы обслуживания горной техники по ее фактическому состоянию. Такие критерии могут быть применены для выполнения эффективной оценки фактического состояния сложных механических систем и использоваться в качестве моделируемых параметров при разработке прогностических деградационных моделей [14–16]. Использование предложенных алгоритмов создания единых диагностических критериев оценки технического состояния буровой техники в рамках внедрения элементов системы обслуживания горной техники по ее фактическому техническому состоянию позволит снизить количество аварийных простоев технологического оборудования, свести к минимуму затраты на техническое обслужива-

ние и ремонт, а также логистические издержки промышленных предприятий, повысится в целом

безопасность проведения буровых работ в условиях промышленной добычи полезных ископаемых открытым способом.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гольдин А. С. Вибрация роторных машин. М.: Машиностроение, 1999. 344 с.
2. Tse P., Peng Y., Yam R. Wavelet Analysis and Envelope Detection For Rolling Element Bearing Fault Diagnosis—Their Effectiveness and Flexibilities. *Journal of Vibration and Acoustics*. 2001. Vol. 123. Pp 303-310. DOI: 10.1115/1.1379745.
3. Ещеркин П.В. Разработка методики диагностирования и прогнозирования технического состояния дизель-гидравлических буровых станков. Автореф. дисс. канд. техн. наук. Кемерово, 2012 год. 18 с.
4. Bently D.E., Hatch C.T. "Fundamentals of rotating Machinery Diagnostics", Bently Pressurized Press, 2002, P.726.
5. Герике Б.Л., Герике П.Б. Диагностика технического состояния преобразовательных агрегатов экскаваторов типа драглайн // Вестник КузГТУ. 2014. № 4. С. 16–19.
6. S. Delvecchio, G. DElia, E. Mucchi, G. Dalpiaz, Advanced signal processing tools for the vibratory surveillance of assembly faults in diesel engine cold tests, *Journal of Vibration and Acoustics*, April 2010, Vol. 132, Issue 2, 021008-10, ISSN: 1048-9002, doi:10.1115/1.4000807
7. Кравченко В. М., Сидоров В. А., Буцукин В. В. Повреждения подшипников качения в результате износа // Горное оборудование и электромеханика. 2013. № 2. С. 45-47.
8. Сушко А. Е. Разработка специального математического и программного обеспечения для автоматизированной диагностики сложных систем. Дисс. ... канд. техн. наук. М.: МИФИ, 2007. 170 с.
9. Skeinik R., Petersen D. Automated fault detection via selective frequency band alarming in PC-based predictive maintenance systems. CSI, Knaxville, TN 37923, USA.
10. Ширман А.Р., Соловьев А.Б. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования. Москва, 1996. 276 с.
11. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. / Под общ. ред. В. В. Клюева. Т. 7: В 2 кн. Кн. 2: Ф.Я. Балицкий [и др.] Вибродиагностика. М.: Машиностроение, 2005. – 829 с.: ил
12. Лукьянов А.В. Классификатор вибродиагностических признаков дефектов роторных машин. Иркутск: Издательство ИрГТУ, 1999. 230 с.
13. Герике П.Б. Виброанализ тяговых и подъемных лебедок экскаваторов-драглайнов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2017. № S38. С. 344-349.
14. Краковский Ю. М. Математические и программные средства оценки технического состояния оборудования. Новосибирск: Наука, 2006. 227 с.
15. Rudloff L., Arghir M., Bonneau O., Guingo S., Chemla G., Renard E., "Experimental Analysis of the Dynamic Characteristics of A Hybrid Aerostatic Bearing" *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, vol. 134(18) – 2012
16. Проблемы безопасности и новые технологии подземной разработки угольных месторождений / В.И. Клишин [и др.]. Новосибирск, 2011. 524 с.

### REFERENCES

1. Goldin, A. S. (1999). *Vibratsiia rotornykh mashin [Vibration of rotary machines]*. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].
2. Tse P., Peng Y., Yam R. Wavelet Analysis and Envelope Detection For Rolling Element Bearing Fault Diagnosis—Their Effectiveness and Flexibilities. *Journal of Vibration and Acoustics*. 2001. Vol. 123. Pp 303-310. DOI: 10.1115/1.1379745. [in English].
3. Eshcherkin, P.V. (2012). Razrabotka metodiki diagnostirovaniya i prognozirovaniia tekhnicheskogo sostoianii dizel-gidravlicheskiykh burovykh stankov [Technique development of diagnosis and prediction of diesel-hydraulic drilling rigs technical condition]. *Extended abstract of candidate's thesis*, Kemerovo [in Russian].
4. Bently, D.E., Hatch, C.T. "Fundamentals of rotating Machinery Diagnostics", Bently Pressurized Press, 2002, P.726. [in English].
5. Gericke, P.B. (2014). Diagnostika tekhnicheskogo sostoiania preobrazovatelnykh agregatov ekskavatorov tipa draglain [Diagnostics of the technical condition of converter units of dragline-type excavators]. *Vestnik KuzGTU - KuzGTU Herald*, 4, 16-19 [in Russian].
6. S. Delvecchio, G. DElia, E. Mucchi, G. Dalpiazю (2010). Advanced signal processing tools for the vibratory surveillance of assembly faults in diesel engine cold tests, *Journal of Vibration and Acoustics*, April 2010, Vol. 132, Issue 2, 021008-10, ISSN: 1048-9002, doi:10.1115/1.4000807 [in English].
7. Kravchenko, V.M., Sidorov, V.A., & Butsukin V.V. (2013). [Rolling bearing damage due to wear]. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika - Mining equipment and electrical engineering*, 2, 45-47 [in Russian].
8. Sushko, A.E. (2007). Razrabotka spetsialnogo matematicheskogo i programmnoho obespecheniia dlia avtomatizirovannoi diagnostiki slozhnykh sistem [Special mathematical software development for complex systems automated diagnosis]. *Candidate's thesis*. Moscow [in Russian].
9. Skeinik R., Petersen D. *Automated fault detection via selective frequency band alarming in PC-based predictive maintenance systems*. CSI, Knaxville, TN 37923, USA [in English].
10. Shirman, A.R., & Solov'ev A.B. (1996). *Prakticheskaiia vibrodiagnostika i monitoring sostoiania mekhanicheskogo oborudovaniia [The practical vibration-based diagnostics and mechanical equipment monitoring]* Moscow: Spectrum engineering Publishers [in Russian].
11. Balitsky, F.Ya. et al. (2005). *Nerazrushayushchii kontrol: spravochnik. V 7 tomakh [Non-destructive testing: Handbook. In 7 Vol. V.7]*. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].
12. Lukianov, A.V. (1999). *Klassifikator vibrodiagnosticheskikh priznakov defektov rotornykh mashin [The classifier of rotary*

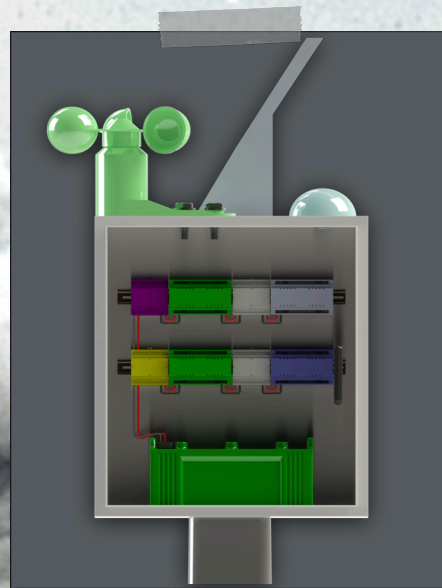


- machine defects vibrodiagnostic symptoms*. Irkutsk: IrGTU [in Russian].
13. Gericke, P.B. (2017). *Vibroanaliz tiagovykh i podiomnykh lebedok ekskavatorov-draglainov* [Vibroanalysis of haulage and hoist mechanisms of dragline excavators]. *Gornyj informacionno-analiticheskij biulleten - Mining Informational Analytical Bulletin*, S38, 344-349. [in Russian].
  14. Krakovskiy, Yu. M. (2006). *Matematicheskie i programmnye sredstva otsenki tekhnicheskogo sostoyaniya oborudovaniya* [Mathematical and software evaluation of equipment technical condition]. Novosibirsk: Nauka, [in Russian].
  15. Rudloff L., Arghir M., Bonneau O., Guingo S., Chemla G., Renard E., (2012). "Experimental Analysis of the Dynamic Characteristics of A Hybrid Aerostatic Bearing", *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, vol. 134(18) [in English].
  16. Klishin, V.I., Zvorygin, L.V., Lebedev, A.V., & Savchenko, A.V. (2011). *Problemy bezopasnosti i novye tekhnologii podzemnoi razrabotki ugolnykh mestorozhdeniy* [Problems of safety and new technologies of underground coal mining]. Novosibirsk: [in Russian].

## СИСТЕМА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

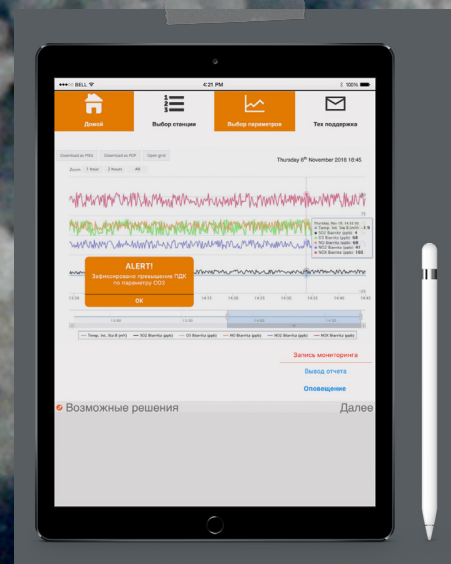
*Автоматизированный модульный комплекс экологического мониторинга для контроля параметров атмосферы и загрязняющих веществ*

- Компактность
- Модульность - до 50 показателей
- Нейросети
- Быстрота конфигурации
- Онлайн, в режиме реального времени
- Низкое энергопотребление
- Российское собственное производство
- Автоматические отчеты о выбросах
- Цена
- Открытая API для сторонних разработчиков ПО и датчиков
- Интегрируется с системами охраны труда и промбезопасности на производствах
- Может являться элементом глобальной системы поддержки принятия управленческих решений



«ВостЭКО и Горный-ЦОТ»

**INDSAFE.RU**





## IV. ПРОБЛЕМЫ И СУЖДЕНИЯ IV. PROBLEMS AND OPINIONS



С. В. Бычков // S.V. Bychkov  
serguei58@rambler.ru

инженер-исследователь сейсмических сигналов западного побережья Северной Америки Университета Британской Колумбии, 170-6371 Кришент Роуд, Ванкувер, Британская Колумбия, Канада V6T 1Z2  
the university of british columbia north america west coast seismic signals research engineer, the University of British Columbia, 170-6371 Crescent Road, Vancouver, BC, Canada V6T 1Z2

УДК 528.2+550.3+551.1

### МОДЕЛЬ ОЧАГА ВНЕЗАПНОГО ВЫБРОСА ПОРОД И ГАЗА ИЗ ГОРНОГО МАССИВА FOCUS MODEL OF ROCK AND GAS SUDDEN OUTBURST FROM ROCK MASSIF

*Не поддающиеся решению вопросы в процессах подвижек земной коры, особенно в моделировании очагов землетрясений и газодинамических явлений, а также вопросы в прогнозировании этих явлений [1–3], вынуждают геофизиков пересмотреть и серьёзно переосмыслить основы, на которых построена современная сейсмология. Вместе с этим в горное дело также пришло понимание того, что в основах объяснения процессов газодинамических явлений в шахтах было потеряно действительно что-то очень важное и исследователи забрели в непролазные геофизические дебри, из которых, в силу академической инертности, теперь трудно выбраться на реальную научную основу. Эра классического понимания газодинамических процессов в шахтах, которые согласно существовавшей много лет теории происходят за счёт потенциальной энергии упругого деформирования горного массива и выделившегося при этом процессе газа, подходит к логическому концу. В первую очередь, это касается объяснения энергетики процесса подвижек земной коры, который при внимательном рассмотрении в современном изложении противоречит фундаментальным законам физики [4]. Цель данной работы – описание единой теории землетрясений применительно к горным ударам и внезапным выбросам пород и газа из массива, как части сейсмических процессов с позиции фундаментальных законов физики.*

*Unresolvable issues in the processes of earth crust movements, especially in modeling earthquake foci and gas-dynamic phenomena, as well as questions in forecasting these phenomena [1] [2] [3], force geophysicists to reconsider and seriously rethink the basis on which modern seismology is built. At the same time, mining also came to the realization that in the basics of explaining the processes of gas-dynamic phenomena in mines, something really important was lost and the researchers wandered into impassable geophysical jungle, from which, due to academic inertia, it is now difficult to get into real scientific basis. The era of gas-dynamic processes in mines classical understanding, which, according to the theory that has existed for many years, occur due to the potential energy of rock massif elastic deformation and the gas released during this process, is coming to a logical end. First of all, it concerns the earth's crust movement process energetics explanation, which, upon careful consideration in modern exposition, contradicts the fundamental physics laws [4]. The purpose of this work is to describe a unified theory of earthquakes as applied to rock bursts and sudden outbursts of rock and gas from rock massif, as part of seismic processes from physics fundamental laws standpoint.*

**Ключевые слова:** ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ, ГОРНЫЙ УДАР, ВНЕЗАПНЫЙ ВЫБРОС ПОРОД И ГАЗА, ЭНЕРГИЯ, ГОРНЫЙ МАССИВ, ЭЛЕМЕНТАРНАЯ ЧАСТИЦА, ФИЗИЧЕСКОЕ ПОЛЕ, УПРУГИЕ ДЕФОРМАЦИИ.

**Key words:** EARTHQUAKE, ROCK SHOCK, SUDDEN ROCK AND GAS OUTBURST, ENERGY, ROCK MASSIF, ELEMENTARY PARTICLE, PHYSICAL FIELD, ELASTIC DEFORMATIONS

**В**ведение

Уходящая в историю геофизики теория Упругой отдачи Рейда-Рихтера,

на фундаменте которой построены множественные гипотезы землетрясений, горных ударов и внезапных выбросов, освободила место для новых гипотез. Одна из современных гипотез – это

гипотеза Деформационного взрыва пород [5–8], в основу которой положена идея процесса землетрясения как единого физического явления, которое обязано происходить по одному сценарию, по единым законам физики и механики, независимо от типа подвижек пород земной коры. Разделение единого геофизического процесса на типы сейсмических толчков и признание их, как чисто геологических [9] и механических процессов, послужило первородной ошибкой геофизики и завело её развитие в тупик, ибо такой вывод просто не оставлял других путей объяснения причин землетрясений и газодинамических явлений. Рассматривая вопрос источников энергии подземных толчков и газодинамических явлений, всё больше исследователей приходят к логическому выводу, что теория Рейда и Рихтера об аккумуляции и реализации горным массивом энергии упругих деформаций, как о главном источнике подвижек земной коры обветшала до такого состояния, что её абсурдность и псевдонаучность стала понятна большинству учёных. Член-корреспондент РАН Г. Грицко отметил в своей работе [10]: “Современные научные представления о происходящих процессах при горных ударах и внезапных выбросах в шахтах не соответствуют реальным процессам. Следует с горечью констатировать, что эффективных методов прогноза и борьбы с внезапными выбросами метана в угольных шахтах пока нет. Нет и программ создания новых научных основ для познания и предотвращения этих явлений. А безопасность добычи угля нужна здесь и сейчас”. Этими словами маститый учёный, хорошо известный в горном мире, признал, что современный уровень знаний, на котором основаны теории горного удара не соответствует происходящим в горном массиве процессам. Это значит, что наши знания теоретических основ горного удара построены на ошибочной теории либо в этой теории существуют значительные пробелы, которые не позволяют понять суть происходящих процессов, связанных с горными ударами. Известный новозеландский учёный Д. Эйби заявил [11]: “Возможно, большая часть энергии землетрясения высвобождается не от разрядки упругих напряжений массива, а по другим причинам, а всё остальное только формы сейсмической активности”. Эту же мысль выражал известный российский сейсмогеолог Г.П. Горшков [12]: “Отсутствие законченной теории физических процессов, связанных с возникновением землетрясений, я бы сказал больше: наличие широко распространённой, но необоснованной гипотезы, лежащей в основе многих современных ис-

следований в области сейсмологии, тормозит работу, уводит её в сторону ложных путей и не приводит и не может привести к положительным результатам”. Об этом пишут и другие учёные [13–15]. Геофизики наконец-то обратили внимания на то, что второй закон термодинамики и в частности его принцип минимума энергии любой системы категорически не допускает устойчивого состояния горных и любых других систем, в которых имеется избыток энергии. Возможна ли такая ситуация в жизни, чтобы какой-то горный массив или блок, тектоническая плита или любая другая часть земной коры получили энергию упругих деформаций и находились в “подогретом состоянии” много лет, ожидая подходящего момента, чтобы реализовать накопленную энергию? Наш опыт и фундаментальные законы термодинамики однозначно говорят – нет! Тогда почему мы до сих пор верим авторам и проводникам этих псевдоидей, пусть даже обладающими высокими научными регалиями, голословно утверждающими: “Мы приходим к заключению, что кора во многих частях Земли медленно перемещается, и разности перемещений в соседних областях создают упругие деформации большие, чем порода может выдержать, затем возникает разрыв, и деформированные породы испытывают упругую отдачу под действием их собственных упругих напряжений, пока эти деформации в значительной степени или почти полностью не будут сняты...” [16]. Или: “Земная кора не является ни абсолютно упругим, ни абсолютно пластическим телом – и в ней запасается упругая энергия, в ней запаздывание между деформационной накачкой энергии и её катастрофическим высвобождением (землетрясением) достигает нескольких лет, а иногда столетий” [17].

Никто не спорит, что любая горная система может подвергаться воздействию незначительных упругих деформаций. Отметим особо – незначительных, ибо, во-первых, упругая энергия не аддитивна, а во-вторых, прочностные свойства горных пород никаким образом не допустят достижения сколько-нибудь значительных упругих деформаций в горном массиве. Самое печальное для сторонников теории энергии упругих деформаций горного тела то, что природных механизмов и физических процессов, препятствующих релаксации энергии деформаций, в природе не существует, иначе они бы давно их предъявили! А вот процессов, ставящих их идею в разряд псевдо, более чем достаточно, чтобы раз и навсегда поставить на ней жирный крест. Согласно хорошо изученному физическому процессу упругой деформации, для того чтобы тело

начало аккумулировать энергию деформаций, оно обязано иметь:

1. Упругие свойства (то есть, почти мгновенно изменять свою кристаллическую решётку вслед за изменением избыточного давления).

2. Достаточно свободно изменять свою форму от действия приложенной силы (пример-рессора).

3. Достаточно легко изменять свои размеры (пример-пружина).

Строго говоря, ни то, ни другое, ни третье не присуще горным породам. Плюс, в теории упругости существует хорошо известный принцип Сен-Венана, согласно которому на расстояниях, больших линейного размера зоны приложения упругих нагрузок, неравномерность распределения напряжения и упругие деформации оказываются пренебрежительно малы. Плюс, сейсмологи почему-то рассматривают главным образом тектонические землетрясения. При этом отсутствуют их вразумительные объяснения причин газодинамических явлений в шахтах, вулканических, глубокофокусных, обвальных, техногенных, морозобойных землетрясений, при которых ни о каких упругих деформациях горного массива, выделении и накоплении энергии не идёт и не может идти и речи!!! Можно с уверенностью сказать, что если бы эти типы землетрясений и газодинамические явления в шахтах не происходили на памяти людей, то обладатели и соискатели научных степеней в своих трудах вполне убедительно нам доказали бы, что такие явления в природе не могут существовать, ибо противоречат всем основам современной геофизики. Очевидно, не зная, как объяснить энергетику и механизмы подвижек пород земной коры, рейдисты “свалили в кучу” геологию и механику, искусственно разделили единый сейсмический процесс на различные типы подвижек земной коры и модели образования подземных толчков. Вероятно, отсюда и возникла ложная уверенность в объяснении сейсмических процессов с позиции геологических особенностей строения земной коры и чистой механики упругих напряжений в породах. Наконец на современном этапе стало очевидным, что существующие концепции, теории и гипотезы о том, что очаги землетрясений и газодинамических явлений формируются под воздействием сил упругих деформаций горного массива, не оправдываются и являются псевдонаучными. Целью данной работы является выявление энергетических источников газодинамических процессов в шахтах и объяснение их смысла в самом простом виде с таким расчётом, чтобы физические

принципы образования энергии горных ударов и внезапных выбросов пород и газа были понятны студентам первого курса горных факультетов.

### Энергия горных ударов и внезапных выбросов пород и газа

Как нам известно, *энергия* – это способность системы совершать работу. Чем большей энергией обладает система, тем больше работы она способна совершить. В нашем случае, чем большей энергией будет обладать какой-то горный массив, блок, пласт, тем мощнее и катастрофичнее будет горный удар или внезапный выброс пород и газа. Современная физика рассматривает существование несколько видов энергий: механической, химической, атомной, электромагнитной, тепловой, световой и др. Рассматривая газодинамические процессы, нас в первую очередь интересует механическая энергия, то есть энергия непосредственного взаимодействия частей горного массива и движения его физических тел. Опять же в нашем случае это будет энергия движения частей земной коры – пород и газов. В рамках раздела физики, изучающего механику тел, механическая энергия подразделяется на *потенциальную* и *кинетическую*, а их сумма составляет полную механическую энергию системы тел. *Кинетическая энергия* – это энергия движения. *Потенциальная энергия* – это энергия взаимодействия тела с каким-либо силовым полем. Понятно, что на первоначальном этапе горного удара или внезапного выброса, когда не происходит никакого движения горного массива, кинетическая энергия очага газодинамического явления будет равна нулю. **Значит, мы можем констатировать простой и единственно возможный вывод номер 1: источником любого газодинамического явления служит потенциальная энергия его очага.** Просто и понятно, не правда ли? Осталось выяснить, что такое *потенциальная энергия*. Из школы известно, *потенциальная энергия* характеризует тело относительно источника силы или, проще говоря, физического (силового) поля. То есть *кинетическая энергия* тела определяется его скоростью относительно выбранной системы отсчёта, а *потенциальная энергия* – расположением тела в физическом поле. Говоря школьным языком, *потенциальная энергия* – это скалярная физическая величина, которая характеризует запас энергии некоего тела (в нашем случае горного массива, блока, плиты), находящегося в силовом поле, который идет на приобретение энергии тела за счет работы сил поля. То есть для того, чтобы образо-

валась *потенциальная* энергия очага выброса, необходимо (строго обязательно) наличие физического поля. **Следовательно, мы можем сделать простой и опять же единственный вывод номер 2: очаг любого газодинамического явления обязан находится в физическом поле или вокруг очага должно быть создано физическое поле.** Опять же ничего сложного мы не сказали, но, чтобы двигаться дальше, нам необходимо выяснить, а что такое физическое поле – это пространство, в котором проявляются силы материального тела, имеющие гравитационный или электромагнитный характер”. Довольно часто в околонуучной литературе можно найти ложный вывод о том, что существуют многие виды физических полей: тепловое, акустическое, вибрационное... и даже сейсмическое. Школьная физика говорит, что это не так и все физические поля есть не что иное, как производные от гравитационных и электромагнитных полей. Говоря про гравитационное взаимодействие на поверхности Земли, мы знаем, что все элементарные частицы имеют массу и согласно закону всемирного тяготения притягиваются друг к другу. Но большинство элементарных частиц обладают способностью взаимодействовать друг с другом с силой электромагнитного взаимодействия, которая во много раз превосходит силу тяготения. Так, в атоме водорода электрон притягивается к протону с силой, в  $10^{39}$  раз превышающей силу гравитационного притяжения. А это значит, что в силу ничтожности гравитационных взаимодействий объектов, находящихся на земле, наше внимание при определении энергетических источников газодинамических явлений должно быть сосредоточено на электромагнитном поле. **Следовательно, из этого мы можем сделать простой и единственный вывод номер 3: энергия горных ударов и внезапных выбросов пород и газов – это энергия электромагнитного поля, о которой мы достаточно много знаем из школьного учебника.** Опять же ничего сложного для понимания процесса энергетике газодинамических процессов мы не описали. Осталось выяснить, откуда берётся физическое поле? Частью создающей физическое поле является заряд, но из школьной физики известно, что **сам по себе заряд не существует.** Чтобы в точке пространства-времени существовал заряд, необходима заряженная частица, и этими частицами могут являться электроны, позитроны или протоны, а также другие заряженные элементарные частицы. Электрический заряд определяет интен-

сивность электромагнитных взаимодействий подобно тому, как масса определяет интенсивность гравитационных взаимодействий. Помимо электрона и протона, есть другие заряженные элементарные частицы, но только электрон и протон могут неограниченно долго существовать в свободном состоянии. Остальные заряженные частицы живут миллионные доли секунды. К примеру, позитрон существует всего  $10^{-8}$  –  $10^{-6}$  секунды, поскольку, сталкиваясь с электроном, исчезает вместе с ним, превращаясь в два гамма – кванта. **Следовательно, мы можем сделать очередной простой и единственный вывод номер 4: носителями энергии газодинамических явлений являются электроны и протоны.** Как мы видим, вся энергетика горных ударов и внезапных выбросов пород и газов свелась к хорошо известным нам из школьной физики электронам и протонам. Осталось понять, почему электроны и протоны возмущаются в физическом поле в виде выбросов *потенциальной* энергии и как от этого зависит количество выделенной энергии. Как мы уже выяснили, *потенциальная* энергия описывает взаимодействие некоторого поля с некоторым телом в некоторой точке. Поэтому она зависит от трех факторов: "силы" поля, которую принято называть напряженностью поля, координаты, описывающей точку, в которой находится тело, и способности самого тела воспринять данное поле. Эта способность является важнейшей характеристикой тела. Для электрического поля способность тела взаимодействовать – это заряд  $q$ : если он равен нулю, электрическое поле "не существует" для данной частицы. Для магнитного поля способность взаимодействовать – это магнитный момент. Напряжённость поля, как материальной среды, это неравномерное распределённые параметров самого физического поля. В нашем случае это, в первую очередь, неравномерность распределения по площади поля и величине зарядов, а также параметры среды, способствующие возникновению зарядов: плотность среды, температура, величина горного давления и другие физические, химические и термодинамические параметры, составляющие эту среду, которые наслаиваются друг на друга, вызывая появление высокоэнергетических зарядов. Главным параметром, играющим ключевую роль в старте газодинамического процесса, по нашему заключению, является изменение горного давления вокруг его очага. В этом случае в согласии со вторым законом термодинамики появляются силы, стремящиеся устранить неравновесность среды путем переноса частиц, устраняя возник-



шую разность потенциалов между системой и окружающей ее средой, проще говоря, рассеивая энергию в окружающее пространство. Если процессы выделения энергии идут медленно, то энергия успевает рассеиваться в окружающем горном массиве и никаких резких подвижек пород массива не происходит. Если скорость выделения энергии большая, но недостаточная для полновесного горного удара или внезапного выброса пород и газа, то происходят щелчки, стреляние груди забоя кусочками породы и другие известные незначительные проявления газодинамических процессов, а если процессы идут со скоростями распространения физического поля, то есть почти мгновенно, то происходит горный удар или внезапный выброс. **Следовательно мы можем сделать вывод номер 5: энергия газодинамического явления – это энергия его электромагнитного поля, величина которого зависит от напряжённости и скорости взаимодействия элементарных зарядов.**

#### Гипотеза Деформационного взрыва

Резюмируя вышесказанное, можно сделать вывод о том, что главным источником газодинамических явлений является заряженная элементарная частица. Нам осталось выяснить совсем немного, а именно: как конкретно образуется заряд в горном массиве, и почему он порождает разрушительные газодинамические процессы? Опять же мы будем опираться на школьную физику, и если и затронем уровень университета, то совсем чуть-чуть. Итак, что собой представляет электрический заряд? Как мы выяснили выше, это электрон или протон, и это не подлежит никакому сомнению с точки зрения современной науки. При изменении горного давления в каком-то объёме горного массива происходит изменение размеров атомов (размеров электронных облаков) вследствие реакции кристаллических решёток на силу горного давления, которая действовала на породы в течение миллионов лет. В этом случае, опять же согласно школьному учебнику физики и фундаментальному Закону сохранения момента импульса, в момент изменения горного давления в массиве возникнет бароэлектрический эффект [18], который заключается в том, что электроны переходят из областей, где работа выхода электрона меньше, в те, где она больше. Такое перераспределение электронов породит электромагнитное поле, в котором электроны начнут с ускорением, по спирали, отдаляться от атома. Сила, которая “гонит прочь” электроны от ядра, является упругая сила реакции

(Кулоновская сила), возникающая между ядром и электронным облаком, как производная от силы объёмного сжатия массива. **Именно в согласии с постулатами Бора выделившаяся в момент перемещения электрона на другие уровни (орбиты) энергия и будет той энергией газодинамического явления, которую некоторые горные инженеры ошибочно принимают за Упругую энергию деформаций горного массива.** Кулоновская сила постарается отодвинуть электрон на положенную ему природой “законную” (стационарную) орбиту, которую он имел до приложения силы объёмного сжатия пород, а возникший в этот момент ток самоиндукции в согласии с Фарадеем и школьным учебником будет помогать Кулоновской силе. После достижения электроном “законной” орбиты кулоновская сила начнёт тормозить движение электрона, стараясь удержать его на положенной ему природой орбите. Как мы опять же знаем из курса школьной физики, при движении заряда (электрона) возникает электрический ток, то есть горный массив становится проводником, по которому потечёт электрический ток. Но, для того чтобы между двумя точками протекал электрический ток, необходимо, чтобы возникшие электрические заряды носили разноименную полярность, что и будет происходить в массиве, так как появившиеся области с разным горным давлением будут генерировать разную полярность. Возникнет известная нам из школьной физики разность потенциалов. (рис. 1. а–в).

Так как движение электронов в горном массиве будет происходить с ускорением, а сила тока будет меняться, то электрический ток будет носить переменный характер. Вокруг заряда возникнут электрические и магнитные поля. Если у электронов с помощью тока самоиндукции хватит энергии уйти от ядра атома, то произойдёт ионизация горного массива со всеми вытекающими последствиями. Разгоняясь в сильном электрическом поле на расстоянии свободного пробега, электроны могут приобретать кинетическую энергию, достаточную для ударной ионизации атомов или молекул материала при соударениях с ними. В результате каждого такого столкновения с достаточной для ионизации энергией возникает пара противоположно заряженных частиц, одна или обе из которых также начинают разгоняться электрическим полем и могут далее участвовать в ударной ионизации. Сегодня программа 9 класса по химии учит, что единственный электрон водорода имеет некоторое (вероятное) пространственное распределение в виде облака. Причем плотность этого об-

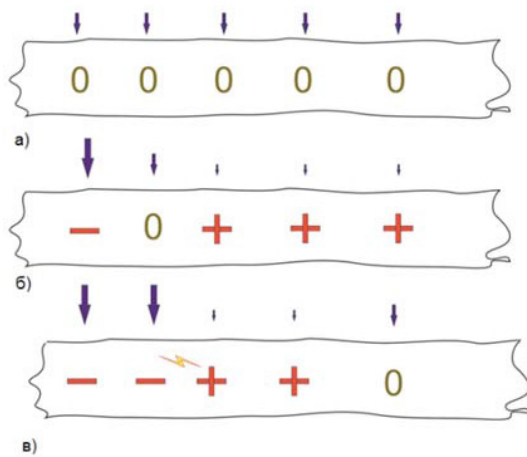


Рисунок 1 – Появление электрического разряда в массиве в момент изменения горного давления:  
 а) горное давление одинаково распределено по горному массиву, заряды и разность потенциалов отсутствует или незначительны;  
 б) горное давление меняется по простиранию горного массива, образуются области с разными по величине зарядами, но разность потенциалов еще недостаточна для возникновения электрического разряда;  
 в) резкое изменение давления в соседних областях горного массива, возникновение зарядов с разностью величин

Figure 1 - An electrical discharge appearance in rock massif at the moment of the rock pressure change:  
 a) the rock pressure is equally distributed over the massif, charges and potential difference are absent or insignificant;  
 b) rock pressure varies along the strike of the mountain massif, areas with different size charges are formed, but the potential difference is still insufficient for the electric discharge occurrence;  
 c) pressure sharp change in the rock massif neighboring areas, the occurrence of charges with values difference

лака в любой точке характеризуется квадратом волновой функции, то есть электронное облако - это не круговая орбита электрона, а усреднение вероятных расположений электрона в пространстве – орбиталь. К сожалению, ещё несколько десятков лет назад геофизики не знали об этом, как и о том, что каждая орбиталь имеет своё, присущее только этой орбитали электронную конфигурацию, которая, в свою очередь, будет отличаться по размеру, форме и плотности от других орбиталей атома. Плюс к этому, взаимодействуя между собой под действием физического поля, атомные орбитали будут создавать комбинации различных электромагнитных взаимодействий, которые и будут определять свойства вещества и его энергетику. При изменении горного давления в массиве получится огромный калейдоскоп – реактор с огромным числом комбинаций расположения и влияния орбиталей атомов друг на друга, электроны которых начнут отчаянно “биться за свои права”, поглощая или отдавая энергию (рис. 2).

Существенным фактором, определяющим ход газодинамического явления, является цеп-

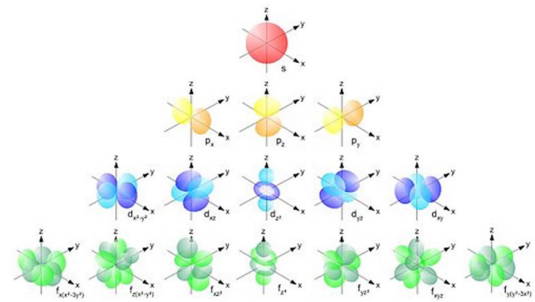


Рисунок 2 – Форма и расположение в пространстве орбиталей  
 Figure 2 - Orbitals shape and location

ная химическая реакция. Газ, растворённый в породе в виде твёрдого раствора, может мгновенно переходить в свободное состояние и покидать места, занимаемые им в кристаллических решётках породы. Произойдёт так называемое явление Холодного взрыва [19,20]. В результате мгновенного исхода газов, кристаллические решётки начнут принимать свою первоначальную форму, в результате чего выделится дополнительная потенциальная энергия, равная энергии затраченной горным массивом на сжатие газов до твёрдого раствора. Плюс, в результате возникновения электрического и магнитного полей, фазовых переходов и механических деформаций массива обязательно возникнут явления различных стрикций (электро, механо, термо, магнито). Произойдёт резкое объёмное расширение горного массива (возможно и расширение – сжатие с определённой частотой). Процессы стрикций начнут “раскачивать” горный массив, что приведёт к микроударам в виде пульсаций предвещающих главный удар. В этот момент может начаться цепной процесс магнитопластичности, который дополнит картину газодинамического явления. Исходя из опыта случившихся внезапных выбросов и зная огромные скорости прохождения цепных химических реакций и цепных процессов магнитопластичности, главный удар или выброс может произойти сразу, без “раскачки”, буквально за считанные миллисекунды. Но и это не вся картина, возникающая при изменении горного давления в массиве, у электрона в запасе есть **СПИН** с фундаментальным свойством его сохранения, который дирижирует процессами магнитного взаимодействия. Будучи ничтожно маленькими по энергии, магнитные взаимодействия могут запустить неудержимые процессы, связанные с выделением огромного количества энергии. Но и это ещё не все. Добавим в миксер нашего калейдоскопа - реактора газонасыщенность массива, его структурные геологические особенности, гидросостояние и ещё

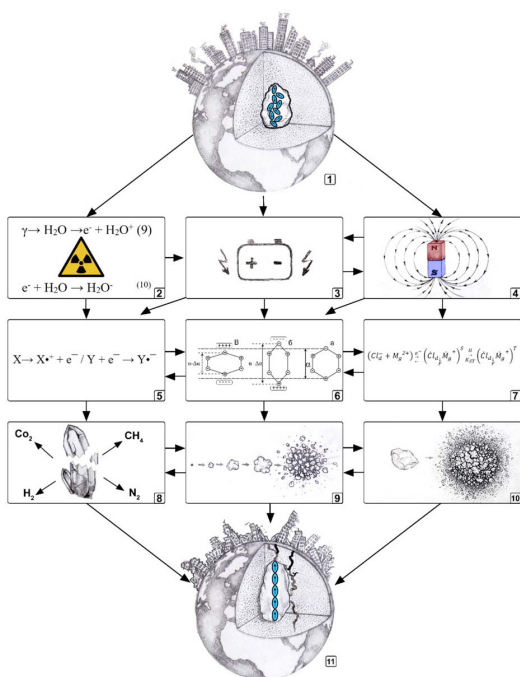


Рисунок 3.

1. Будущий очаг землетрясения до изменения горного давления в массиве.
2. Радиолиз. Образование в массиве свободных радикалов радиоактивной природы.
3. Появление в массиве электрического заряда и сил барозлектрической природы.
4. Образование в массиве сил магнитной природы.
5. Цепная химическая реакция в массиве.
6. Поляризация массива, Электромеханические эффекты (пьеzo, пиро, сегнето и др.)
7. Цепная реакция Магнитопластичности.
8. Исход газов из кристаллических решёток массива, изменение объёма массива.
9. Линейное и объёмное расширение массива вследствие стрижки.
10. Деппинг дислокаций массива вследствие магнитопластичности.
11. Сейсмическое излучение энергии, распространение механического импульса, удар в массиве, разрушение массива под действием фронта ударной волны.

Figure 3.

- The future earthquake focus before the rock pressure change in the massif.
2. Radiolysis. Radioactive nature free radicals formation in rock massif.
3. Appearance of electric charge and baroelectric nature forces in the massif.
- Magnetic nature forces formation in the massif.
5. Chain chemical reaction in the massif.
6. Massif polarization, Electromechanical effects (piezo, pyro, ferro, etc.)
7. Magnetoplasticity chain reaction
8. Gases outcome from the massif crystal lattices, the massif volume change.
9. Massif linear and volumetric expansion due to striction.
10. Deppening of massif dislocations due to magnetoplasticity.
11. Seismic energy radiation, mechanical impulse propagation, shock in massif, massif destruction under the shock wave front action.

много второстепенных параметров. В результате “игры природных сил” при изменении горного давления в массиве начнут образовываться бесконечные композиции состояния вещества: полей, волн и энергий, и при “удачном” стечении

каких-то случайных параметров, при огромном выборе комбинаций, располагая достаточным временем, природа легко может смоделировать сейсмический удар или внезапный выброс. А кажущийся хаос этого процесса и случайность событий могут вполне оказаться пересечением закономерностей, о которых мы пока не ведаем. На рисунке 3 показан механизм гипотезы Деформационного взрыва пород горного массива, графически поясняющий, как с изменением горного давления в очаге будущего землетрясения (1) или газодинамического удара возникают заряды (позиции 3, 4); как образуются свободные радикалы и ионы в процессе радиолиза (позиция 2); как может начаться процесс цепной химической реакции исхода газов, находящихся в кристаллических решётках пород, выделение которых в огромных количествах отмечено при землетрясениях и внезапных выбросах пород (позиция 5, 8); как в результате фазовых переходов энергия, выделившаяся вследствие изменения формы кристаллической решётки после исхода газов и вследствие разного рода стрижки (позиции 6, 9) и процесса магнитопластичности (позиции 7, 10), развивает подвижку земной коры и в конечном итоге вызывает горный удар или выброс (позиция 11).

### Единая модель образования землетрясений, горных ударов и внезапных выбросов пород и газов

Теперь, исходя из вышеописанных процессов, мы можем коротко описать модель очага газодинамического явления. Представим очаг в виде объёмного тела (рис. 4.), размещённого на какой-то глубине и находящегося под действием сил всестороннего (объёмного) сжатия горного давления. На его поверхность будут действовать *силы давления*, перпендикулярные его поверхности. Эти силы вызовут сближение частиц тела, в результате чего произойдет уменьшение линейных размеров и объёма тела. Связь между деформацией и напряжением выражается через известный нам из школы закон Гука:

$$P = - K \theta$$

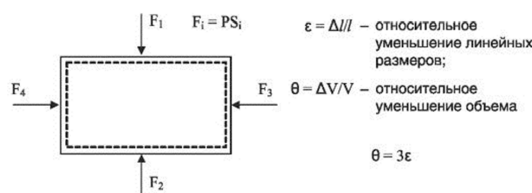


Рисунок 4 – Всестороннее (гидростатическое) сжатие  
Figure 4 - Comprehensive (hydrostatic) compression



где  $K$  – модуль всестороннего сжатия, сжимаемость (модуль объемного сжатия, объемный модуль). Знак «минус» означает, что объем уменьшается с увеличением напряжения. Сжимаемость – важнейшая характеристика вещества, которая позволяет судить о зависимости физических свойств от межатомных (межмолекулярных) расстояний. При сжатии твердой среды в ней возникает сложная система механических напряжений, которые в общем случае изменяются от одной точки тела к другой, и создаваемое давление называют квазигидростатическим. При постепенном формировании горного массива увеличивалось горное давление, которое неизбежно привело к уменьшению межатомных и межмолекулярных расстояний и, в конечном счете, к деформации молекул и внешних электронных оболочек атомов, к изменению характера межатомных взаимодействий, что неизбежно изменило физические и химические свойства вещества. В таком состоянии горный массив мог находиться неопределенно долго, пока вокруг очага газодинамического явления, в результате горных работ не изменилось горное давление. В момент его изменения заработает природный механизм, известный из школьной программы как *Принцип Ле Шателье – Брауна* (1884 г.), если на систему, находящуюся в устойчивом равновесии, воздействовать извне, изменяя какое-либо из условий равновесия (*температура, давление, концентрация, внешнее электромагнитное поле*), то в системе усилятся процессы, направленные в сторону противодействия изменению. Принцип применим к равновесию любой природы: механическому, тепловому, химическому, электрическому (эффект Ленца, явление Пельтье). Если сказать коротко, то принцип Ле Шателье – Брауна характеризует смещение равновесия при участии вторичных сил, индуцируемых в системе той силой, которая непосредственно воздействует на систему, то есть горным давлением. При увеличении давления смещение равновесия связано с уменьшением общего объема системы, а уменьшению давления сопутствуют физические или химические процессы, приводящие к увеличению объема. В момент изменения горного давления в горном массиве очаг землетрясения вследствие принципа Ле Шателье-Брауна резко изменит свою форму и размеры (увеличится в объеме и размерах), что запустит в массиве хорошо изученный процесс упругого удара, который в виде механического импульса распространится в массиве со скоростью сейсмической волны. Газодинамические явления в шахтах представляют собой

землетрясения малого масштаба. А так как эти явления являются частью сейсмического процесса, то и причины, энергетика и кинематика их ничем не отличается от землетрясений. При ведении горных работ происходит изменение горного давления в зоне выемки горной массы. Под действием описанных выше физических явлений и обязательной для газодинамического явления цепной химической реакции очаг удара или выброса резко изменит свою форму и размеры (увеличится в объеме) и запустит в массиве хорошо изученный процесс упругого удара в виде механического импульса. На фронте волны будет действовать ньютоновская сила (изменение импульса), давление которой будет пропорционально производной плотности импульса по времени и которая при выходе на поверхность выработки вызовет сейсмические разрушения. Количество движения будет распространяться в среде в виде продольной волны, а момент количества движения – в виде поперечной волны. Следовательно, сейсмическое излучение газодинамического явления есть не что иное, как распространение механического импульса в горном массиве в виде сферических волн, а землетрясение, горный удар и внезапный выброс пород и газа – это обыкновенный упругий удар при внезапном увеличении объема пород очага события.

#### Комбинированное землетрясение

Предлагаем сделать анализ землетрясения, которое объединяет в себе сразу несколько типов подземных толчков. Такие необычные землетрясения случаются довольно редко. На этом примере можно наглядно объяснить природу и энергетику подвижек земной коры с позиции одной, общей гипотезы для всех типов землетрясений, раскрывающей суть процесса, в частности с позиции описанной нами гипотезы Деформационного взрыва пород массива, что невозможно сделать, следуя постулатам современной сейсмологии. В данном примере “тесно переплелись” четыре типа подвижек земной коры в одном сейсмологическом событии: тектоническое, вулканическое, внезапный выброс пород и газов, обвальное. Кстати, этот пример “четыре в одном” убедительно и наглядно указывает на то, что энергетическим источником совершенно разных типов подвижек земной коры и землетрясений служит кулоновское взаимодействие атомов и молекул, вызванное изменением горного давления в массиве. Классическим примером такого сложного сейсмического события является землетрясение, произошедшее в США



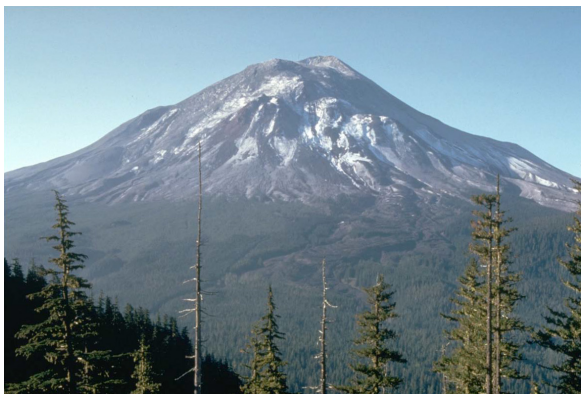


Рисунок 5 – Гора Святая Елена до взрыва  
Figure 5 - St Helens mountain before the explosion



Рисунок 6 – Гора святая Елена с той же точки съёмки  
через 4 месяца после взрыва  
Figure 6 - St Helens mountain from the same shooting point  
4 months after the explosion

в 154 километрах к югу от Сиэтла, при извержении вулкана Сент Хеленс в 1980 году после его 123 летнего молчания [21 видеофайл]. Сейсмическое событие началось 20 марта 1980 года, когда в этот и последующие дни в окрестностях вулкана произошло несколько десятков слабых землетрясений с максимальной мощностью 4.2 баллов по шкале Рихтера, а 27 марта произошёл взрыв в кратере вулкана, и над его вершиной поднялся столб пепла и пара. Началось извержение вулкана без излития лавы из жерла, которая, по всей видимости, скапливалась у подошвы вулкана. Весь апрель наблюдалось усиление выбросов газов и пепла. Северный склон вулкана начал деформироваться от вспучивания пород массива, которое прирастало до двух метров в сутки и к 17 мая достигло высоты 135 метров. Восемнадцатого мая 1980 года в 8:32 произошло землетрясение мощностью 5,1 балла, и сразу за подземным толчком верхняя часть северного склона вулкана была отделена от всего массива огромной силой. В результате этого примерно от 7 до 9 миллиардов тонн скального массива в один миг превратились в рыхлую мас-

су, которая гигантским оползнем устремилась вниз по северному склону, сметая всё на своём пути. По мере движения горной массы вниз по склону последовало несколько колоссальных взрывов газа, и столб пепла поднялся на высоту 25 километров. Буквально за секунды высота горы уменьшилась с 2950 до 2550 метров, превратившись из правильного в усеченный конус. Диаметр нового кратера (каверны внезапного выброса) составила 4.5км, глубина 1.5 км. Совершенно очевидно, что к марту 1980 года в результате подъёма лавы к подошве вулкана, массив в результате разогрева и увеличения линейных и объёмных размеров начал терять устойчивость. Горное давление стало перераспределяться среди потерявших устойчивость блоков, составляющих подземное и наземное тело вулкана, в результате чего в массиве появились электрические заряды, которые вкупе с фазовыми переходами пород массива начали создавать рой слабых форшоков за счёт энергии кулоновских взаимодействий. Необычность реакции горного массива на извержение вулкана заключалось в пучении пород массива, которое, что хорошо известно из горного дела, является индикатором того, что массив потерял устойчивость, и среди его блоков происходит интенсивное перераспределение горного давления. Очевидно, что в апреле горное давление в массиве продолжало стремительно меняться, и это предвещало массиву дальнейшую сейсмическую активность, что и подтвердили последующие события. Утром 18 мая последовали сразу два сейсмических события: подземный толчок 5.1 баллов и одновременно с ним внезапный выброс породы и газа мощностью 7-9 миллиардов тонн горной массы (3 км<sup>3</sup>). То, что два сейсмических события произошли в одно время, не является случайным, и нам необходимо рассматривать эти события как один процесс, который перерос из подземного движения пород в наземный процесс внезапного выброса, что вполне согласуется с нашей гипотезой Деформационного взрыва пород массива. С механикой подземного толчка в данном случае вопросов не возникает, это обычные подвижки блоков при извержении вулкана. А внезапный выброс пород и газа случается обычно в подземных шахтах и вызывается цепной химической реакцией твёрдого раствора газа в кристаллической структуре пород. Всё это говорит о том, что гипотеза Деформационного взрыва правильно описывает механику и энергетику сейсмических событий, являясь общей гипотезой происхождения всех видов землетрясений, горных ударов и внезапных выбросов.

### Заключение

Подводя итог, можно сказать, что источником газодинамических явлений является заряженная элементарная частица. Отсюда следует опять же простой вывод: **чтобы предотвратить горный удар или выброс породы и газа, необходимо исключить появление заряда в массиве.** Возможно ли это на практике? Хотя горные инженеры связаны той же ошибкой, что и сейсмологи, считая, что горный массив запасает энергию упругих деформаций горного тела и реализует её в виде выбросов и горных ударов, они, в отличие от сейсмологов, имели и имеют возможность “пощупать” очаг выброса и буквально “вслепую” найти несколько удачных отгадок этого процесса. Достигнутые горными инженерами локальные успехи убедительно опровергают мнения некоторой части геофизиков в абсолютной непредсказуемости и случайности сейсмических процессов. Судя по успешному опыту горных инженеров, это вполне возможно, и, что особенно важно, это опытным путём подтверждает единую гипотезу землетрясений – Деформационный взрыв горных пород. Из представленной в данной работе модели землетрясений и газодинамических явлений делается несколько принципиальных выводов:

1. Стартом и движущей силой любого зем-

летрясения, горного удара и внезапного выброса служит потенциальная энергия горного давления в массиве, который по каким-то причинам потерял равновесное состояние.

2. Потенциальная энергия горного давления основывается на энергии кулоновского взаимодействия атомов и молекул.

3. Изменение горного давления в горном массиве открывает возможность атомам и молекулам массива или его отдельных блоков трансформировать энергию деформаций в форме потенциальной энергии электронных облаков в энергию сейсмического удара.

4. Согласно второму закону термодинамики и принципу минимума энергии любой системы, горный массив физически не может накапливать энергию деформаций.

5. Горный массив реализует только энергию текущих (сиюминутных) деформаций.

6. Согласно первому постулату Бора, горный массив, в котором его атомная система находится в стационарном состоянии, не может излучать сейсмических волн.

7. Удержание горного массива в стационарном состоянии, а также его приведение в стационарное состояние открывает возможность активного воздействия на очаги газодинамических явлений с целью их предотвращения или понижения мощности.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Geller R.J. Without progress no funding, *Nature debates*, 18. 05.1999
2. Saegusa, A. Japan to try to understand quakes, not predict them. *Nature* 397, 284 1999
3. Roeloffs, E. & Langbein, J., The earthquake prediction experiment at Parkfield, California, *Reviews of Geophysics* 32, no., 315—335, 1994
4. Бычков С.В. Термодинамика сейсмических процессов как эволюция Вселенной // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2018. № 3. 79-87.
5. Бычков С.В. Критический обзор статьи \*Магнито пластичность и физика землетрясений. Можно ли предотвратить катастрофу\*? // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2017. № 4. С. 68-73.
6. Бычков С.В. Горный массив как аккумулятор энергии землетрясений, горных ударов и внезапных выбросов. Миф или реальность? // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2018. № 1.
7. Бычков С.В. Химические реакции в процессе землетрясений. Взрывы пород горного массива как источник толчков, внезапных выбросов и горных ударов // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2018. № 4. С. 36-47.
8. Бычков С.В. Движение электрического заряда, цепная химическая реакция, магнитострикция как источники землетрясений и внезапных выбросов // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2017. № 2.
9. Гамбурцев Г. А. Избранные труды. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 461 с.
10. Грицко Г.И. Наука в Сибири. 2007. № 32-33. Режим доступа: <http://www.sbras.ru/HBC/article.phtml?nid=428&id=17>
11. Eibi, G.A. Earthquake. Moscow: Nedra [in Russian] 1982
12. Горшков Г.П. Региональная сеймотектоника территории юга СССР. Альпийский пояс. М.: Наука, 1984. 272 с.
13. Ребецкий Ю.Л. Современное состояние теорий прогноза землетрясений. Результаты оценки природных напряжений и новая модель очага землетрясений. Режим доступа: <http://yak.ifz.ru/pdf-lib-yak/Pages359-395.pdf>.
14. Мишин С.О. гипотезе упругой отдачи в сейсмологии. Интернет-журнал "Технологии техносферной безопасности". 2016. № 2 (66). Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2016-2/13-02-16.ttb.pdf>
15. Bakun W.H. et al Implications for prediction and hazard assessment from the 2004 Parkfield earthquake // *Nature*. 2005. Vol. 437, No 13. P. 969–974
16. Reid, H. F. The elastic-rebound theory of earthquakes. Department Geology. Univ. Calif., 6(19), 1910 с. 413-444.
17. Буаченко А.Л. Магнитоупругость и физика землетрясений. Можно ли предотвратить катастрофу? // Успехи

- физических наук. 2014. № 1. Т. 184.
18. Григорьев В. И. Григорьева Е.В. Ростовский В.С. Бароэлектрический эффект и электромагнитные поля планет и звезд. М.: Физматлит, 3-е изд., 2003. 192 с. ISBN 5-9221-0391-1.
  19. Кошушнер М. А. Холодный взрыв // Квант. 1983. № 2.С. 20.
  20. Холодный взрыв. Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A5%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D1%8B%D0%B9\\_%D0%B2%D0%B7%D1%80%D1%8B%D0%B2](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A5%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B2%D0%B7%D1%80%D1%8B%D0%B2)
  21. Видеофайл взрыва вулкана Святая Елена. Режим доступа: [https://www.youtube.com/watch?v=EEenwyxL\\_9Xo](https://www.youtube.com/watch?v=EEenwyxL_9Xo).

#### REFERENCES

1. Geller R.J. (1999). Without progress no funding, *Nature debates*, 18. 05.1999 [in English].
2. Saegusa, A. (1999). Japan to try to understand quakes, not predict them. *Nature* 397, 284 [in English].
3. Roeloffs, E. & Langbein, J. (1994). The earthquake prediction experiment at Parkfield, California, *Reviews of Geophysics* 32, no., 315—335 [in English].
4. Bychkov, S.V. (2018). Termodinamika seismicheskikh protsessov kak ehvoliutsiia Vselennoi [Seismic processes thermodynamics as the Universe evolution]. *Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugolnoi promyshlennosti – Herald of Safety in Mining Industry Scientific Center*, 3, 79-87 [in Russian].
5. Bychkov, S.V. (2017). Kriticheskiy obzor statii “Magnito plastichnost i fizika zemletriasenii. Mozhno li predotvratit katastrofu?” [Critical review of the article “Magneto plasticity and physics of earthquakes. Is it possible to prevent a disaster?”]. *Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugolnoi promyshlennosti – Herald of Safety in Mining Industry Scientific Center*, 4, 8-73 [in Russian].
6. Bychkov, S.V. (2018). Gornyy massiv kak akkumulyator ehnergii zemletriasenii, gornyykh udarov i vnezapnykh vybrosov. Mif ili realnost? [Rock massive as the earthquake, rock shocks and sudden outbursts energy accumulator. Myth or reality?]. *Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugolnoi promyshlennosti – Herald of Safety in Mining Industry Scientific Center*, 1 [in Russian].
8. Bychkov, S.V. (2018). Khimicheskie reaktsii v protsesse zemletriasenii. Vzryvy porod gornogo massiva kak istochnik tolchkov, vnezapnykh vybrosov i gornyykh udarov [Chemical reactions during earthquakes. Rock massif explosion as a source of shocks, sudden outbursts and rock bursts]. *Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugolnoi promyshlennosti – Herald of Safety in Mining Industry Scientific Center*, 4, 36-47 [in Russian].
9. Bychkov, V.S. (2017). Dvizhenie elektricheskogo zariada, tsepnaia khimicheskaiia reaktsiia, magnitostriktsiia kak istochniki zemletriasenii i vnezapnykh vybrosov [Electric charge movement, chain chemical reaction, magnetostriction as sources of earthquakes and sudden outbursts]. *Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugolnoi promyshlennosti – Herald of Safety in Mining Industry Scientific Center*, 2 [in Russian].
10. Gamburtsev, G.A. (1960). *Izbrannyye Trudy [Selected works]*. Moscow: The USSR Academy of Sciences [in Russian].
11. Gritsko, G.I. (2007). Nauka v Sibiri – Science in Siberia, 32-33. Retrieved from: <http://www.sbras.ru/HBC/article.phtml?nid=428&id=17> [in Russian].
12. Eibi, G.A. (1982). *Earthquake*. Moscow: Nedra [in Russian]
13. Gorshkov, G.P. (1984). *Regionalnaia seismotektonika territorii yuga SSSR. Alpijskii poias. [Regional seismotectonics of the USSR south territory. Alpine belt]*. Moscow: Nauka [in Russian].
14. Rebetsky, Yu.L. (). Sovremennoe sostoianie teorii prognoza zemletriasenii. Rezultaty otsenki prirodnykh napriazhenii i novaia model ochaga zemletriasenii. [The modern state of earthquake forecast theories. The results natural stresses assessment and the new model of the earthquake focus]. Retrieved from: <http://yak.ifz.ru/pdf-lib-yak/Pages359-395.pdf> [in Russian].
15. Mishin, S.O. (2016). O gipoteze uprugoi otdachi v seismologii [About hypothesis of elastic return in seismology]. *Internet magazine "Technosphere safety technologies"*, 2. Retrieved from: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2016-2/13-02-16.ttb.pdf> [in Russian].
16. Bakun W.H. et al. (2005). Implications for prediction and hazard assessment from the 2004 Parkfield earthquake // *Nature*. 2005. Vol. 437, No 13. P. 969–974 [in English].
17. Reid, H. F. (1910). The elastic-rebound theory of earthquakes. *Department Geology. Univ. Calif.*, 6(19), pp. 413-444 [in English].
18. Buchachenko, A.L. (2014). Magnitoplastichnost i fizika zemletriasenii. Mozhno li predotvratit katastrofu? [Magnetoplasticity and earthquake physics. Is it possible to prevent a catastrophe?]. *Uspekhi fizicheskikh nauk - Advances in the physical sciences*, 1, v. 184 [in Russian].
19. Grigoriev, V.I., Grigorieva, Ye.V., & Rostovsky, V.S. (2003). *Baroelektricheskiy effekt i ehlektromagnitnye polia planet i zviozd [Baroelectric effect and electromagnetic fields of planets and stars]*. Moscow: Fizmatlit [in Russian].
20. Kozhushner, M.A. (1983). Kholodny vzrUV [Cold Blast]. *Kvant - Quant*, 2, 20 [in Russian].
21. Kholodny vzrUV [Cold Blast]. Retrieved from: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A5%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D1%8B%D0%B9\\_%D0%B2%D0%B7%D1%80%D1%8B%D0%B2](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A5%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B2%D0%B7%D1%80%D1%8B%D0%B2) [in Russian].
22. Videofail vzryva vulkana Sviataia Yelena [Video file of the volcano St Helens explosion]. Retrieved from: [https://www.youtube.com/watch?v=EEenwyxL\\_9Xo](https://www.youtube.com/watch?v=EEenwyxL_9Xo) [in English].

## ТРЕБОВАНИЯ К РАЗМЕЩЕНИЮ РЕКЛАМНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Научно-технический журнал «Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности» приглашает научные институты, организации и промышленные предприятия разместить информацию о конференциях, выставках, разрабатываемой и выпускаемой продукции в области охраны труда, безопасности в чрезвычайных ситуациях, пожарной и промышленной безопасности в угольной промышленности, контроля природной среды, веществ, материалов и изделий, а также приборостроения.

### РАЗМЕРЫ РЕКЛАМНЫХ МОДУЛЕЙ:

- размер для 1 полосы: 216\*303 мм, включая по 3 мм на обрезку с каждой стороны внешнего периметра, на корешок допуск ставить не нужно.
- 1/2 полосы вертикальная: 103\*303 мм,
- 1/2 полосы горизонтальная: 216\*151 мм
- 1/3 полосы горизонтальная: 216\*92 мм
- 1/4 полосы горизонтальная: 216\*67 мм
- 1/4 полосы вертикальная в верхнем или нижнем внешнем углу страницы: 103\*151 мм

### ТРЕБОВАНИЯ К РЕКЛАМНЫМ СТАТЬЯМ

1. Текст для статьи предоставляется только в текстовом редакторе Word.
2. Объем статьи: не более 4500 печатных знаков с пробелами (без изображений). При использовании фотографий объем текста пропорционально уменьшается.
3. Требования к фотографиям: формат .eps или .tiff с разрешением 300 dpi.
4. Логотип – в форматах .cdr, .eps, при этом шрифты должны быть переведены в кривые.
5. Текст рекламной статьи должен включать заголовок (подзаголовок), выходные данные заказчика: название, адрес, телефон, электронный адрес компании.

### ТРЕБОВАНИЯ К РЕКЛАМНЫМ МАКЕТАМ

1. Размер электронного макета должен соответствовать размерам рекламного модуля.
2. Растровые файлы должны быть в форматах .tif, .psd, .eps с разрешением 300 dpi, векторные – .ai, .eps и .cdr.
3. Оригинал-макеты передаются в цветовой модели CMYK без компрессии.
4. Верстка может быть в форматах Adobe Illustrator, Corel Draw, Adobe InDesign (в этом случае должны предоставляться все связанные элементы, а также все используемые шрифты, обязательно макет должен так же прилагаться в pdf).
5. В макете, подготовленном в пакете Corel Draw не допускается наличие следующих эффектов: shadow, transparency, gradient fill, lens, texture fill и postscript fill. Все вышеперечисленные эффекты Corel Draw должны быть конвертированы в bitmap 300 dpi.
6. Черный цвет текста должен состоять только из черного канала – C:0, M:0, Y:0, K:100 или 100 Black в одноцветной шкале Grayscale.
7. Все текстовые элементы оригинал-макета должны быть переведены в кривые.
8. Текст и важные изображения (логотип и т. п.) не должны располагаться ближе 5 мм к обрезному краю.

Информация о расценках на размещение рекламы размещена на сайте [www.ind-saf.ru](http://www.ind-saf.ru).

**Редакция журнала оставляет за собой право отбора поступивших рекламных материалов.**



# ТРЕБОВАНИЯ, УСЛОВИЯ И ПОРЯДОК ПРЕДСТАВЛЕНИЯ РУКОПИСЕЙ В НТЖ «Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности»

## ***I. Порядок представления материалов в редакцию***

1. В журнал принимаются статьи, соответствующие его тематике – охрана труда, безопасность в чрезвычайных ситуациях, пожарная и промышленная безопасность в угольной промышленности, приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий.

2. Статья должна быть оригинальной, не представленной в других изданиях.

3. На основании положений части четвертой Гражданского кодекса Российской Федерации (раздел VII «Права на результаты интеллектуальной деятельности и средства индивидуализации») представляемые в журнал статьи должны сопровождаться лицензионным договором о передаче ООО «ВостЭКО» (издатель журнала) простой (неисключительной) лицензии. Договор заполняется на бланках по образцам лицензионных договоров с одним или коллективом авторов (при написании статьи несколькими авторами). Лицензионный договор является договором присоединения. Необходимо заполнить и подписать договор, отсканированный вариант отправить по e-mail: yarosh\_mv@mail.ru, два первых экземпляра оформленного договора отправить в редакцию по почте: 650002, Кемерово, Сосновый бульвар, д. 1, ООО «ВостЭКО». Договор, подписанный автором/авторами и направленный по электронной почте, признается равнозначным документу на бумажном носителе, подписанному собственноручной подписью, порождающим права и обязанности сторон. Скачать бланки договора можно на сайте [www.indsafe.ru](http://www.indsafe.ru).

## ***II. Форма представления рукописи***

1. Рукопись представляется отпечатанной в текстовом редакторе Word через 1,5 интервала на одной стороне стандартного листа белой бумаги формата А4 и в электронном виде (передается по электронной почте [yarosh\\_mv@mail.ru](mailto:yarosh_mv@mail.ru) или на магнитном носителе).

2. Все страницы рукописи, включая таблицы, список литературы, рисунки должны быть пронумерованы. Рекомендуемый объем статьи 5–7 страниц. Статья должна быть подписана всеми авторами.

3. Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

## ***Подготовка электронной версии материалов***

1. Текст набирается шрифтом Arial, размер шрифта 10, для заголовка 14, полуторный интервал, абзацный отступ 1,25 см, формат листа А4. Поля с левой стороны 3 см, сверху и снизу 2 см, справа 1,5 см;

2. Электронная версия должна быть идентична распечатанному тексту. В случае расхождения за основу берется печатный вариант.

## ***Структура статьи***

1. Индекс УДК.

2. Фотографии всех авторов (форматы: TIF, Jpeg, Png, не сканированные, не ретушированные, не обрезанные, разрешение 300 dpi).

3. Инициалы и фамилия автора (ов).

4. Место работы.

5. Название статьи.

6. Реферат. *Реферат должен быть информативным, отражать основное содержание статьи и результаты исследований, следовать логике описания результатов в статье, укладываться в объем от 100 до 250 слов. Возможно краткое повторение структуры статьи, включающей введение, цели и задачи, методы, результаты, заключение.*

7. Ключевые слова.

8. Текст статьи с таблицами, иллюстрациями, формулами.

9. Список литературы (оформленный в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5 - 2008 «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления»).

На отдельном листе или в конце статьи размещается «Список авторов», который должен содержать:

- публикуемые сведения об авторах (название организации указывается в соответствии с учредительными документами);
- служебные или домашние адреса с указанием почтового индекса;
- адрес электронной почты (e-mail).

Обращаем ваше внимание, что представление оригинальной статьи к публикации в НТЖ означает согласие авторов на передачу права на воспроизведение, распространение и доведение произведения до всеобщего сведения любым способом.

*Редколлегия*



**ind-saf.ru**  
Новый сайт журнала "Вестник"

**СЛОВО РЕДАКТОРА // EDITORIAL**

**5** Трубицына Н. Trubitsyna N.

**5** Трубицына Н. Trubitsyna N.

**АКТУАЛЬНО // IMPORTANT**

**6** С. Б. Романченко, В. Н. Костеренко. Полномасштабные исследования взрывов угольной пыли и критерии эффективности средств локализации.

**S. B. Romanchenko, V. N. Kosterenko.** Coal dust explosions full-scale research and localization means efficiency criteria.

**I. ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ГЕОМЕХАНИКА // INDUSTRIAL SAFETY AND GEOMECHANICS**

**21** А. В. Шадрин, А. А. Контримас, Ю. А. Диук. Установление функциональной связи между критериями выбросоопасности спектрально-акустического и инструментального методов текущего прогноза выбросоопасности

**A. V. Shadrin, A. A. Kontrimas, Yu. A. Diuk.** Functional relationship establishment between the outburst hazard criteria of spectral-acoustic and instrumental methods of current outburst forecast

**32** В. В. Иванов, В. В. Соболев, В. С. Лудзиш, А. В. Дягилева, К. Х. Ли. Расчет поправочного коэффициента в кажущееся удельное электросопротивление выбросоопасного массива горных пород при электрическом зондировании массива с контура подготовительной выработки с металлической крепью

**V. V. Ivanov, V. V. Sobolev, V. S. Ludzish, A. V. Diagileva, K. H. Li.** Calculation of the correction factor to the apparent electrical resistivity of the outburst-hazardous rock massif during electrical sounding of the massif from the contour of the development working with metal support

**II. ПОЖАРНАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ // FIRE AND INDUSTRIAL SAFETY**

**36** В. А. Портола, В. Г. Игишев, С. А. Син, А. Е. Овчинников. Анализ аварийности и пожароопасности угольных шахт

**V. A. Portola, V.G. Igishev, S. A. Sin, A. Ye. Ovchinnikov.** Coal mine accident rate and fire hazard analyses

**43** А. И. Фомин, И. М. Анисимов. Разработка прогрессивной модели управления рисками возникновения профессиональных заболеваний у работников при разработке угольных месторождений открытым способом

**A. I. Fomin, I. M. Anisimov.** Employees professional diseases occurrence risk management progressive model development when mining coal deposits by open cast method

**49** А. С. Голик, А. С. Ярош, С. В. Новоселов, В. Б. Попов. Система жизнеобеспечения работников угольных шахт при локализации и ликвидации подземных пожаров, осложненных взрывами метановоздушной смеси

**A. S. Golik, A. S. Yarosh, S. V. Novoselov, V. B. Popov.** Coal mine workers life support system in cases of underground fires complicated by methane-air mixture explosions control and fighting

**54** А. И. Фомин, М. Н. Халявина, В. Г. Казанцев, Д. В. Ботвенко, А. М. Ермолаев. Управление рисками при разработке угольных месторождений подземным способом

**A. I. Fomin, M. N. Khaliavina, V. G. Kazantsev, D.V. Botvenko, A.M. Yermolaiev.** Risks management when developing coal deposits with the underground method

### **III. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ БЕЗОПАСНОСТИ ГОРНЫХ РАБОТ // TECHNOLOGICAL QUESTIONS OF MINING WORK SAFETY**

**64** А. М. Ермолаев, В. В. Соболев, В. Г. Казанцев, Д. В. Ботвенко, А. А. Ермолаев.

Неприспособленность аэродинамики става вентиляционных труб к потребностям аэродинамики подготовительной выработки

**A. M. Yermolaiev, V. V. Sobolev, V. G. Kazantsev, D. V. Botvenko, A. A. Yermolaiev.** Ventilation pipe column aerodynamics unpracticality to meet the needs of preparatory mine opening aerodynamics

**68** М. В. Шинкевич. Возможность уточнения технологических решений при проектировании комплексно-механизированных выемочных участков

**M. V. Shinkevich.** Ability to improve technological solutions when designing complex-mechanized extraction sections

**74** П. Б. Герике. Некоторые результаты диагностирования оборудования буровых станков

**P. B. Gerike.** Some results of drilling rigs equipment diagnostics

### **IV. ПРОБЛЕМЫ И СУЖДЕНИЯ // PROBLEMS AND OPINIONS**

**80** С. В. Бычков. Модель очага внезапного выброса пород и газа из горного массива

**S. V. Bychkov.** Focus model of rock and gas sudden outburst from rock massif

### **91 ТРЕБОВАНИЯ К РЕКЛАМНЫМ МАТЕРИАЛАМ // ADVERTISING MATERIALS REQUIREMENTS**

### **92 ТРЕБОВАНИЯ К СТАТЬЯМ // DEMANDS TO ARTICLES**

### **94 СОДЕРЖАНИЕ // CONTENT**



Подписано в печать 17.12.2018. Тираж 1000 экз. Формат 60x90 1/8.  
Выпуск 4-2018, дата выхода в свет 25.12.2018  
Объем 10 п. л. Заказ № 4 2018 г. Цена свободная.  
Типография ООО «ИНТ».  
650065, Россия, Кемеровская область, г. Кемерово, пр-т Октябрьский, 28 офис 215  
Тел. 8 (3842) 657889.