

# ВЕСТНИК

Научного центра по безопасности работ  
в угольной промышленности

Научно-технический журнал



Кемерово

4-2015

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

**№ 4-2015**

**Выходит 4 раза в год**

Подписной индекс  
в Каталоге Агентства  
«Роспечать» 2015 г. – 35939

**ЖУРНАЛ ЗАРЕГИСТРИРОВАН**

Федеральной службой по надзору в сфере связи и массовых коммуникаций. Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС 77-56356 от 02.12.2013 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 издателя и редакции:

650002, г. Кемерово, Сосновый бульвар, 1

Редакторы: *М.В. Ярош, Е.В. Володина, Д.А. Трубицына*

Компьютерная верстка *Д.А. Трубицына*

тел. 77-86-62, 64-26-51.

e-mail: yarosh\_mv@mail.ru

Leeanatoly@mail.ru

[www.indsafe.ru](http://www.indsafe.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.freelimages.com](http://www.freelimages.com), National Institute for  
Occupational Safety and Health, и [www.graphicriver.net](http://www.graphicriver.net)

© ООО «ВостЭКО», 2015

Адрес типографии:

650065, г. Кемерово, пр-т Октябрьский, 28 офис 215

тел. 8 (3842) 657889.

ООО «ИНТ».

**Редакционная коллегия:**

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

**А.А. Ли** – заместитель главного редактора,  
ученый секретарь АО «НЦ ВостНИИ»,  
д-р техн. наук, проф., академик АГН, МАНЭБ

**Е.В. Володина** – ответственный секретарь,  
редактор АО «НЦ ВостНИИ»

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

**А.В. Шадрин** – начальник Центра научных  
программ и анализа ФГБОУ ВПО «КемГУ», д-р  
техн. наук, чл.-корр. РАЕН

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

**Г.Я. Полевщиков** – заведующий лабораторией  
ФГБУН Институт угля СО РАН, д-р техн. наук, проф.

**В.С. Зыков** – главный научный сотрудник  
Кемеровского представительства АО «ВНИМИ»,  
д-р техн. наук, проф.

**В.Г. Игишев** – научный консультант  
АО «НЦ ВостНИИ», д-р техн. наук, проф.

**А.Ф. Павлов** – заведующий лабораторией  
АО «НЦ ВостНИИ», д-р техн. наук, проф.

**А.С. Ярош** – заместитель директора по научной  
работе АО «НИИГД», канд. техн. наук

# **VESTNIK**

## **OF SAFETY IN COAL MINING SCIENTIFIC CENTER**

---

**Scientific-technical magazine**

**Kemerovo**

**4 - 2015**

**VESTNIK  
OF SAFETY IN  
COAL MINING  
SCIENTIFIC  
CENTER  
ISSN 2072-6554**

---

**№ 4-2015**

**Is issued 4 times a year**

Subscription index  
in «Rospechat» Agency  
Catalogue: Year 2015 – 35939

---

**MAGAZINE IS REGISTERED**

by Federal service of communication means monitoring. Registration certificate of mass information means PI № FS 77-56356 dated by 02.12.2013

**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 «Vestnik...»  
scientific-technical magazine:  
Co Ltd «VostEKO»**

Address of the publisher and editors:  
650002, Kemerovo, Sosnovyi bd., 1.

Editors: *M.V. Yarosh, E.V. Volodina, D.A. Trubitsyna*  
Computer layout *D.A. Trubitsyna*

Tel. 77-86-62, 64-26-51.  
e-mail: yarosh\_mv@mail.ru  
Leeanatoly@mail.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.freelimages.com, National Institute for  
Occupational Safety and Health, and www.graphicriver.  
net are used**

---

---

**© Co Ltd «VostEKO», 2015**

---

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

**Editorial board:**

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

**A.A. Li** – deputy chief editor, scientific secretary PC «SC VostNII», doctor of technical sciences, professor, academician of Mining Sciences Academy and International Academy of Ecology, Man and Nature Protection and Science

**Ye.V. Volodina** – executive secretary, PC «SC VostNII» editor

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

**A.V. Shadrin** – the head of Scientific Programm and Analyses Center of FGBOU VPO «KemGU», doctor of technical sciences, correspondent member Russian Academy of Natural Sciences

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

**G.Ya. Polevshchikov** – FGBUN laboratory head, Institute of Coal, Siberian Branch of RAcSc, doctor of technical sciences, professor

**V.S. Zykov** – the chief scientific worker of Kemerovo AO «VNIMI» office, doctor of technical sciences, professor

**V.G. Igishev** – PC «SC VostNII» scientific consultant, doctor of technical sciences, professor

**A.F. Pavlov** – PC «SC VostNII» laboratory head, doctor of technical sciences, professor

**A.S. Yarosh** – deputy director for scientific work of PC «Scientific-Research Mine Rescue Institute», candidate of technical sciences

## НАВСТРЕЧУ НОВЫМ ГОРИЗОНТАМ

### Уважаемые читатели «Вестника»!

Четвёртый номер «Вестника» подвёл итог издательским планам редакции в 2015 году. Но уже сверстаны тематические планы на будущий, 2016 год. Они подчинены решению магистральных проблем промышленной безопасности на угледобывающих предприятиях Кузбасса, других ведущих бассейнов страны. Формируя портфель публикаций, редакционный совет остаётся верен своему правилу и делает ставку на инновационные идеи и научные исследования как хорошо известных в стране и за рубежом учёных, так и творческую молодёжь.

Приоритетом будут пользоваться материалы отдельных авторов и авторских коллективов, чьи усилия подчинены решению важной государственной задачи – оправданному импортозамещению угледобывающего оборудования, а также приборов и средств защиты, обеспечивающих промышленную безопасность на предприятиях отрасли. Это для всех нас сегодня важнее важного. Ведь речь идёт на самом деле о большем, о технологической безопасности нашей страны.

Сама жизнь ставит нам сегодня условия, побуждающие эффективно двигаться вперёд в вопросах фундаментальной науки и исследованиях, нацеленных на практический результат. Редакция журнала уверена, что партнёры и авторы «Вестника» воспользуются нашим изданием, этой зарекомендовавшей и признанной в среде учёных и практиков информационной площадкой и заявят о себе в 2016 году новыми публикациями, где будет тесно от новаторских решений и инновационных идей.

В 2015 году журнал вышел не 2 раза, как в прежние годы, а 4 раза. Он приходил к читателям в конце каждого квартала. В новом году эта периодичность выхода издания в свет сохранится. Но сверх того редакция планирует подготовить ещё и специальный выпуск «Вестника». Анонсируя его, отмечу, что он полностью, «от корочки до корочки» будет посвящён актуальнейшей проблеме локализации взрывов и пылевзрывозащиты на угольных шахтах.

Обращаясь к читателям и друзьям журнала на пороге Нового года, справедливо будет сказать, что уходящий оставляет о себе след в нашей памяти. Он обогатил всех нас новым опытом и заложил надёжный фундамент для будущих свершений и совместной творческой работы в рамках научного медиапроекта по имени «Вестник».

Наши отношения проверены временем. Поэтому нет сомнений в том, что в 2016 году мы по-прежнему будем все вместе и внесём заметный вклад в укрепление потенциала угледобывающей отрасли Кузбасса и России, в обеспечение безопасного труда горняков.

Пусть Новый год станет для Вас успешным и счастливым, принесёт признание и уважение коллег. Пусть преданность и тепло близких и любимых Вами людей окрыляют Вас, становятся толчком для выхода на новые горизонты во всем – в сокровенном и личном, и конечно же, в деле, которому служите и которым живёте.

С Новым годом и Рождеством! Счастья Вам в большом и малом!

**С уважением, НЭЛЯ ТРУБИЦЫНА,**  
главный редактор





**Н.В. Трубицына**  
доктор техн. наук, директор  
по научной работе ООО  
«ВостЭКО»



**С.Н. Подображин**  
доктор техн. наук, ведущий  
эксперт отдела по надзору  
за открытой угледобычей  
и обогащению углей  
Федеральной службы  
по экологическому,  
технологическому и атомному  
надзору



**Н.Н. Ахлестин**  
первый заместитель директора  
Группы Компаний ООО  
«ВОСТЭКО», ООО «Горный-  
ЦОТ»



**С.В. Спирин**  
Технический директор ООО  
«Горный-Цот»

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПЫЛЕВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТИ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

УДК 622.8

*В статье приведены подходы к организации системы пылевзрывобезопасности угольных шахт, требования к элементам системы мониторинга интенсивности пылеотложений.*

*Ключевые слова: ПЫЛЕВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК, ИНТЕНСИВНОСТЬ ПЫЛЕОТЛОЖЕНИЙ, КОНЦЕНТРАЦИЯ ПЫЛИ, СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА.*

**Б**езопасное ведение горных работ, сохранение жизни и здоровья работников подземных угольных предприятий является неотъемлемой частью позитивного развития угольной промышленности Кузбасса и России в целом.

Вместе с тем, история шахтерского труда и шахтерских побед, к сожалению, омрачена трагедиями повлекшими гибель и травмирование людей, связавших свою жизнь с опасной горняцкой профессией.

Крупные аварии с человеческими жертвами происходят чаще всего при недостаточном или полном отсутствии должного контроля за производственным процессом со стороны руководителей, специалистов и исполнителей работ. Также, аварии неизбежны при отсутствии непрерывного автоматического контроля состояния рудничной атмосферы в действующих горных выработках и выработанных пространствах выемочных участков (полей).

Вспомним аварии прошлых лет. В 2005 году авария — пожар и взрыв в выработанном пространстве шахты «Есаульская» с гибелью 8 работников предприятия и 17 горноспасателей; в 2006 году взрыв в выработанном пространстве шахты «Томская» в результате которого гибнет шахтер и принимается решение по закрытию предприятия; в 2009 году взрыв в изолированном пространстве шахты «им. Ворошилова» с гибелью двух бойцов Прокопьевского ОВГСО. Затем аварии 2007 года: «Ульяновская», «Юбилейная», унесшие жизни 149 человек, 2010 года — авария на шахте «Распадская», где смертельные травмы получили 71 шахтер и 20 горноспасателей. Последние аварии и их масштабность произошли по причине участия отложившейся угольной пыли во взрыве метано-воздушной смеси, что заставило в корне пересмотреть отношения к созданию безопасных условий труда, как специалистами шахт, надзорных органов, горноспасательных частей, так и научных организаций.

В результате внедрения новых безопасных методов ведения горных работ, высокопроизводительной техники и

устройств, выполнение проектных решений и научных проработок с применением способов и средств по предупреждению аварий и инцидентов стало возможным на порядок сократить количество травм и аварий и в тоже время позволило увеличить объемы добычи угля.

С другой стороны повышение нагрузок на забои угольных шахт привело к тому, что ситуация с обеспечением пылевзрывобезопасности горных выработок угольных шахт сложилась крайне не однозначная: декларировать собственно безопасность на практике невозможно. Это обусловлено целым комплексом причин, поясним главные из них.

1. В настоящее время все мероприятия, направленные на обеспечение безопасности регламентируются двумя документами: ГОСТ Р [1] и инструкцией [2], и по сути многочисленный комплекс мероприятий, поддерживающий должный уровень пылевзрывозащиты, вынесен за рамки обязательных, открывая тем самым абсолютно не защищённые в данном контексте ниши.

2. Высокие нагрузки на забои сопровождаются, что очевидно, многократно возросшей интенсивностью пылеотложений, которая не нашла отражения в действующих нормативных документах. Следствием этого является то, что периодичность и эффективность профилактических мероприятий ни в коей мере не обеспечивают сколько-нибудь приемлемый уровень пылевзрывозащиты.

Из этих причин следуют два комплекса необходимых действий: детальный и глубокий анализ реальной ситуации по количественной оценке интенсивности пылеотложений в горных выработках, на основе которого должна быть разработана инструкция по обеспечению пылевзрывобезопасности с адаптированным комплексом регламентированных мероприятий и их периодичностью.

Экспериментальная оценка уровня интенсивности пылеотложений в очистных и проходческих забоях была проведена коллективом исследователей в 2011-2012 гг., [3-5] которая показала, что действующая периодичность мероприятий обеспечивала лишь частичный уровень безопасности. Кроме того, отсутствует мониторинг реальной ситуации этого показателя, в нормативной документации отсутствуют удобные для практического применения методы оценки, а приборы для автоматического определения интенсивности пылеотложений до сих пор не разработаны.

Сегодня, предприятиями подземной добычи угля ведется активная работа по внедрению на шахтах современных систем и приборов контроля производственных процессов, мониторинга рудничной атмосферы по содержанию вредных газов и запыленности на рабочих местах, разработанных заводами-изготовителями средств измерений.

При существующем положении наиболее быстро с позиций организационных и практических можно реализовать только один поход (при этом уделив пристальное внимание разработке инструментов для автоматического мониторинга): вернуться к старому методу оценки интенсивности пылеотложений с помощью двух приборов стационарного и непрерывного контроля концентрации пыли в воздухе, четко регламентировав места их установки и алгоритм автоматического расчета показателя с выводом в диспетчерскую службу шахты и сигнализацией о необходимой периодичности используемого мероприятия по обеспечению пылевзрывобезопасности. Что должно быть внесено в проектную документацию, а также разработаны регламенты предприятий по предупреждению взрывов.

При этом не стоит полагаться и руководствоваться установленным техническим руководителем (главным инженером) шахты порядком по контролю состояния взрывозащиты, пылевзрывобезопасности с выполнением определенных мероприятий по предупреждению взрывов угольной пыли. Учитывая человеческий фактор и другие, вдруг возникшие, негативные обстоятельства, позволяющие привести горную выработку (шахту) в предаварийное состояние, необходимо обеспечить надежный автоматический контроль у источника пылевыделения с установкой специального устройства (двух измерителей запыленности) с вводом их в систему АГК. В системе АГК в качестве уровня тревоги должно быть введено значение нижнего предела взрываемости отложившейся угольной пыли для конкретного угольного пласта. При достижении 90-процентного значения нижнего предела взрываемости система выдает сигнал тревоги и горный диспетчер приостанавливает горные работы и выдает команду на приведение выработки в пылевзрывобезопасное состояние.

Для реализации этого алгоритма могут быть использованы любые приборы непрерывного действия включённые в систему АГК, и допущенные к эксплуатации в установленном порядке.

Суть алгоритма определения интенсивности пылеотложений и выбора периодичности профилактических мероприятий заключается в следующем.

1. В соответствии с руководством по АГК на исходящих из очистных и проходческих забоев угольных шахт должны устанавливаться приборы непрерывного контроля запыленности воздуха, с выдачей результатов на пульт диспетчера шахты. В 50 м от этого датчика должен быть установлен второй, также

соответствующий этим требованиям.

2. Сервер диспетчера должен быть оснащён программным обеспечением, которое бы обеспечивало регистрацию показаний с двух датчиков и автоматический расчёт интенсивности пылеотложений на участке выработки между ними и прогнозной оценки интенсивности пылеотложений на прямом участке выработки далее за местом установки второго датчика на расстояние не менее 1 км.

3. Результаты расчета должны сравниваться с нормативными показателями для данного забоя и по мере достижения порога накопления опасности сигнализировать о необходимости проведения следующего цикла профилактических мероприятий диспетчеру. Диспетчер обязан сообщить об установленной необходимости и отдать распоряжение на приведение выработки в пылевзрывобезопасности состояние.

4. Контроль интенсивности пылеотложений с помощью двух датчиков измерения концентрации пыли в горной выработке при этом следует регламентировать как достаточный только на определенный временной период. Необходимо интенсифицировать работы по созданию инновационных приборов нового поколения по автоматическому контролю интенсивности пылеотложений. Спектр обязательно контролируемых параметров такого прибора должен включать: дисперсный состав витающей пыли, концентрацию пыли в атмосфере горной выработки, скорость движения воздуха в выработке, площадь сечения выработки, влажность воздуха. Кроме того, в программное обеспечение прибора должны быть заложены количественные оценки нижнего предела взрываемости угольного пласта и его зольность. Программное обеспечение прибора должно быть также оснащено алгоритмом экстраполяции показателя интенсивности пылеотложений до следующего по выработке источника интенсивного пылевыделения на основании данных регистрации в точке установки устройства.

Проведённые исследования показали, что используемые в настоящее время профилактические мероприятия (осланцевание, обмывка) требуют многократного снижения их периодичности для обеспечения требуемого уровня безопасности. В этой связи необходима разработка эффективных технологий и способов, которые бы обеспечивали максимальную периодичность для того чтобы по крайней мере не повышать затратную финансовую часть на их выполнение.

В концепте этой работы могут быть быстро реализованы два направления:

1. Разработка пылесвязывающих составов и технологии для их не затратного по времени и средствам нанесения, которые бы обеспечивали надежную защиту в течении не менее двух-трёх суток в местах интенсивных пылевыделений и пылеотложений, что обеспечит необходимость профилактики только по мере подвигания забоя. Эти работы уже несколько лет проводит ООО «Сибэкохим» (г.Омск). К недостаткам такого подхода можно отнести только одно: в любом случае состав будет обладать повышенной травмоопасностью для персонала, т.к. устранить скольжение при передвижении по обработанной горизонтальной поверхности вряд ли удастся.

2. Капсулированные инертизаторы и/или ингибиторы, которые бы не позволили в случае вспышки метана принять угольной пыли участие во взрыве. В этой технологии наиболее слабым местом является нанесение капсул с реагентом на вертикальные поверхности горных выработок, хотя возможно отработать алгоритм, исключающий эту необходимость.

Для создания этой технологии требуется разработка нового поколения инертизаторов и ингибиторов, которые бы повысили эффективность пылевзрывозащиты при минимальных концентрациях.

Кроме того, не следует выпускать из внимания тот факт, что в последние годы в научном сообществе сложились крайне полярные позиции о первичном составе газовой среды, которая взрывается в первую очередь. Большая часть мнений сходится на взрывоопасности метановоздушной смеси, другие утверждают о наличии более легко воспламеняемого водорода в призабойных пространствах, третьи - что минимальный поджиг метана влечёт за собой пиролиз угольной пыли причём в геометрической прогрессии, который сопровождается выделением ещё более взрывоопасных летучих веществ, обладающих высокой детонационной способностью.

В связи с этим возникает необходимость проведения широчайшей научной дискуссии, которую необходимо организовать в кратчайшие сроки.

Не выдерживает никакой критики также и методика определения нижнего предела взрываемости угольной пыли и, соответственно, нормы осланцевания. Данные нормативы устарели настолько, что даже в ближайшем приближении не обеспечивают минимальный уровень безопасности горных выработок.

Конструкции обязательных взрывокализирующих водяных и сланцевых заслонов также морально устарели, так как те уже не единожды наблюдаемые, после последних аварий в угольных шахтах,



параметры взрыва позволяют утверждать, что мы имеем дело с очень мощными детонационными эффектами, противостоять которым заслоны не могут, так как количество отложившейся угольной пыли увеличилось многократно, что и является причиной таких явлений.

**Кардинально решение этой проблемы возможно только двумя путями:**

1. Кратное увеличение нормы ослабления горных выработок, причём на всём их протяжении вне зависимости от интенсивности пылеотложений от конкретного источника пылевыделения. Это полностью исключит возможность формирования детонационных эффектов в случае возникновения взрыва, позволит отказаться от крайне неудобных сланцевых и водяных заслонов и, соответственно, затрат на их обслуживание.

Проблемными вопросами при данном подходе останутся контроль за призабойной зоной и участком по мере продвижения забоя и высокие скорости движения воздуха, обусловленные высоким уровнем метано-



выделения в угольных шахтах России. Для минимизации развития сильного взрыва необходимо будет и контролировать интенсивность пылеотложений от первичного источника и увеличить частоту его профилактической обработки.

2. Многократное снижение периодичности (увеличение количества циклов мероприятия в единицу времени по сравнению с нормативными требованиями) весьма затратной профилактической обработки существующими материалами и составами и обеспечение системами надежного контроля за интенсивностью пылеотложений с выводом результатов оценки текущей ситуации на диспетчерский пульт. При такой схеме необходимость сохранения системы стационарных водяных либо сланцевых заслонов становится обязательным условием, для того чтобы хотя бы частично предотвратить возможность разгона взрывной волны до детонации. Новых разработок, доведенных до серийного производства, в области создания более эффективных и легко эксплуатируемых заслонов ни в России, ни за рубежом пока нет.

По сути, этот путь характеризует существующую, текущую ситуацию с обеспечением пылевзрывозащиты на угольных шахтах России.

Таким образом, необходимо в кратчайшие сроки, объединив усилия научного, экспертного и производственного сообществ, выработать единую стратегию, принять решение по выбору технологических схем обеспечения пылевзрывобезопасности горных выработок и, соответственно, разработать нормативный документ для обеспечения общих требований и правил ведения профилактических мероприятий, методов и способов контроля обеспечения их качества и уровня ответственности за их выполнением.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. ГОСТ Р 54776-2011. Оборудование и средства по предупреждению и локализации взрывов пылевоздушных смесей в угольных шахтах, опасных по газу и пыли. Общие технические требования. Требования безопасности и методы испытаний.

2. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по локализации и предупреждению взрывов пылегазовоздушных смесей в угольных шахтах». Серия 05. Выпуск 25. –М: ЗАО «Научно-технический центр исследования проблем промышленной безопасности», 2013 – 40 с.

3. Трубицына, Д.А. Исследование интенсивности пылеотложений в угольных шахтах/ Д.А. Трубицына, Д.С. Хлудов, Н.В. Трубицына // Безопасность труда в промышленности. – М.: 2014. № 9 – С. 62-67.

4. Трубицына, Д.А. Исследование дисперсного состава отложившейся пыли углей различной стадии метаморфизма/ Трубицына Д.А., Хлудов Д.С. //Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. - 2014. № 1. - С. 13-23.

5. Трубицына, Д.А. Результаты шахтных исследований интенсивности пылеотложений по сети горных выработок/ Д.А. Трубицына, А.А. Анисимов, Д.С. Хлудов, С.В. Оленников, Н.В. Трубицына//Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2014. - № 1. - С. 68-74.

ENFORCEMENT DUST EXPLOSIONS  
COAL MINE SAFETY

**Trubitsyna N.V., Podobrajin S.N., Ahlestin  
N.N., Spirin S.V.**

*The article presents approaches to the organization of pylevzryvobezопасnosti coal mines, requirements for elements of the monitoring system of intensity pyleotlozheny.*

**Keywords:** COAL MINE DUST EXPLOSION  
PROTECTION, INTENSITY OF COAL DUST  
DEPOSITS, DUST CONCENTRATION  
MONITORING SYSTEM.

*Трубицына Нэля Вадимовна  
ntrubitsyna@rambler.ru*

*Подображин Сергей  
tghcn13@mail.ru*

*Ахлестин Николай Николаевич  
a9617087450@gmail.com*

*Спирин Сергей Владимирович  
s9069877090@gmail.com*

*Надежный уровень безопасности на рабочем месте -  
неотъемлемое право человека*



Группа Компаний  
«ВостЭКО и Горный-ЦОТ»  
Россия, г Кемерово, 650002  
Сосновый бульвар, 1  
[www.indsafe.ru](http://www.indsafe.ru)

# ПОЛНОЕ ПОДАВЛЕНИЕ ДЕТОНАЦИИ И ГОРЕНИЯ МЕТАНОВЫХ СМЕСЕЙ ПЫЛЕВОЙ ЗАВЕСОЙ



**А.А. Васильев**  
доктор физ-мат. наук  
Институт гидродинамики  
им. М.А.Лаврентьева СО  
РАН



**А.В. Пинаев**  
доктор физ-мат. наук  
Институт гидродинамики  
им. М.А.Лаврентьева СО  
РАН



**А.В. Троцюк**  
кандидат физ-мат. наук  
Институт гидродинамики  
им. М.А.Лаврентьева СО  
РАН

УДК 534:222.2, 536.46, 661.215.1

*В работе приведен анализ теории распространения волн горения и детонации, а также результаты теоретических и экспериментальных исследований по разработке двухстадийной модели кинетики детонационного горения метана в смеси метан - воздух - угольная пыль. Сформулированы требования к системам пожаротушения взрывов пылеметановоздушной смеси.*

*Ключевые слова: ГОРЕНИЕ, ДЕТОНАЦИОННАЯ ВОЛНА, УДАРНАЯ ВОЛНА, ФРОНТ ХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ, ЭНЕРГИЯ ЗАЖИГАНИЯ, ТЕМПЕРАТУРА ВСПЫШКИ, ТЕМПЕРАТУРА САМОВОСПЛАМЕНЕНИЯ.*

**В** 80-х годах 19-го века именно катастрофические взрывы в шахтах положили начало исследованиям газовой детонации: эксперименты Berthelot, Vieille, Mallard, Le Chatelier (статьи 1883 г.) привели к созданию теории идеальной детонации – Chapman (1889), Михельсон (1890), Jouguet (1904), базой которой послужили работы по теории ударных волн (УВ) - Rankine (1870) и Hugoniot (1887-1889). За 130 лет в вопросах горения и детонации многое изучено, но взрывы в шахтах (Турция – 2014, Китай, Россия, ЮАР) происходят до сих пор. Требуется беспристрастный анализ современного состояния данной проблемы с целью выработки обоснованных направлений дальнейших исследований по предупреждению аварийных взрывов. Предполагается один из номеров нашего журнала посвятить этой проблеме. Данная публикация – краткая аннотация основной тематики анализа.

Известны предельные режимы самоподдерживающегося распространения фронта химической реакции в газообразных смесях: дозвуковое ламинарное горение со скоростями порядка сантиметров в секунду и сверхзвуковое детонационное горение со скоростями порядка нескольких километров в секунду [1-5]. Низкоскоростное горение распространяется за счет механизма теплопроводности (от горячих продуктов к исходной смеси) и диффузии активных радикалов из зоны реакции в исходную смесь, а высокоскоростное детонационное горение – с помощью ударно-волнового возбуждения химической реакции. В диапазоне скоростей от мм/с до км/с наблюдается огромное разнообразие нестационарных и квазистационарных режимов распространения волн горения и детонации [6-7].

Традиционно условия распространения волн горения и детонации связываются с нижним и верхним концентрационными пределами, характеризующими минимальную и мак-

симальную концентрации топлива в горючей смеси, внутри которых возможно существование того или иного процесса. Наряду с концентрационными пределами существуют геометрические пределы, обычно связанные с минимальным размером заряда, при котором еще возможно распространения процесса. Для детонации – это критический диаметр заряда, ниже которого детонационная волна не способна распространяться в самоподдерживающемся режиме и потому затухает при любом сверхмощном инициирующем импульсе. Для горения – это критический диаметр гашения пламени, ниже которого фронт горения распространяться не может. В технике используется термин безопасный гасящий зазор.

Для оценки последствий аварийного возгорания метана необходимо четко представлять возможные сценарии возникновения и развития очага горения в условиях шахт, чтобы максимально обезопасить людей и оборудование от воздействия горячих продуктов. К настоящему времени экспериментально хорошо изучены процессы низкоскоростного горения метановых смесей как одного из главных виновников трагедий на шахтах. Процессы высокоскоростной детонации и, тем более, нестационарного горения (например, процесс ускорения пламени вплоть до перехода горения в детонацию) изучены в значительно меньшей степени. Что такое «взрыв» в шахте с точки зрения идентификации процессов горения и детонации? К сожалению, даже в современной справочной литературе по безопасности нет ответа на этот вопрос, а процессы низко- и высокоскоростного горения рассматриваются в рамках единого термина «пожаро-взрывоопасность». С научной точки зрения его нельзя признать корректным, поскольку, как правило, пожароопасность связана с низкоскоростным горением, а взрыв – с высокоскоростным детонационным процессом. Несопоставимы и последствия пожара и взрыва газовой смеси по динамическому воздействию.

В большинстве случаев характерный размер зоны химической реакции в волне горения и детонации оказывается значительно меньше характерного масштаба горючей системы. Это позволяет заменить реальные волны на поверхности разрыва со скачкообразным изменением параметров системы. Классическая одномерная теория детонации базируется на законах сохранения массы, импульса и энергии, записываемых в системе фронта волны для двух произвольных сечений трубки тока постоянного сечения:

$$\begin{aligned} \rho_0 v_0 &= \rho v \\ P_0 + \rho_0 v_0^2 &= P + \rho v^2 \\ H_0 + v_0^2/2 &= H + v^2/2 + Q. \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь  $v_0$  и  $v$  – скорости втекающего и вытекающего потоков между выбранными сечениями,  $\rho$  – плотности потока,  $P$  – давления,  $H$  – энтальпии,  $Q$  – удельное энерговыделение смеси [1-2]. В рамках модели идеального газа с уравнением

$$P = \rho RT \quad (2)$$

энтальпия выражается формулой

$$H = \frac{\gamma}{\gamma - 1} \frac{P}{\rho} \quad (3)$$

Первые два уравнения дают уравнение прямой в плоскости (P,V) – ее называют прямой Михельсона-Рэлея

$$\frac{P - P_0}{V - V_0} = -\rho_0^2 v_0^2 \quad (4)$$

Преобразуя систему, получаем уравнение  $P=F(V,Q)$ , называемое адиабатой энерговыделения:



**П.А. Фомин**  
кандидат физ.-мат. наук  
Институт гидродинамики  
им. М.А.Лаврентьева СО  
РАН



**А.А. Трубицын**  
профессор, доктор техн.  
наук, заместитель  
директора по научной  
работе ООО «ВостЭКО+»



**Д.А. Трубицына**  
Выпускающий редактор  
ООО «ВостЭКО», директор  
ООО «ЦОТ-Горный»

$$\left(\frac{P}{P_0} + \frac{\gamma-1}{\gamma+1}\right)\left(\frac{V}{V_0} - \frac{\gamma-1}{\gamma+1}\right) = 1 - \left(\frac{\gamma-1}{\gamma+1}\right)^2 + 2\frac{\gamma-1}{\gamma+1} \frac{Q}{P_0 V_0} \quad (5)$$

При  $Q=0$  получаем уравнение ударной адиабаты. На рис.1 представлен типичный график состояний горючей системы и ее продуктов. Адиабата энерговыведения представляет собой гиперболу, сдвинутую относительно точки исходного состояния  $O$  так, что точка  $O$  лежит вне гиперболы (рис.1). Из точки  $O$  к данной гиперболе можно провести множество прямых. Существуют три варианта взаимного расположения адиабаты энерговыведения и прямой: а) пересечения нет; б) есть пересечение в двух точках; в) осуществляется касание прямой и адиабаты.

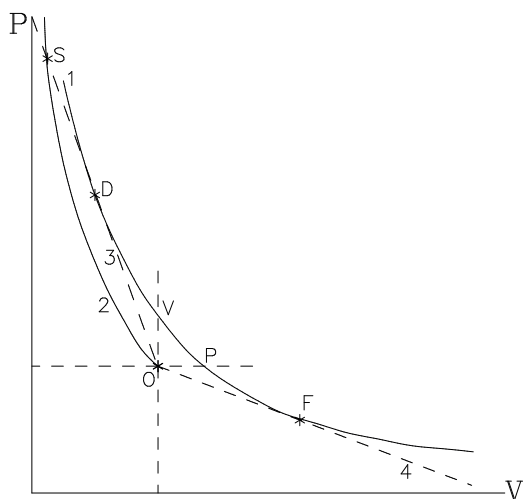


Рисунок 1 - Типичная (P-V)-диаграмма горючей смеси

Классические представления о детонационной волне (ДВ) как о стационарно распространяющемся со сверхзвуковой скоростью газодинамическом комплексе из бесконечно тонкой ударной волны (УВ) и одномерных зон индукции и химической реакции (модель «прямоугольной ДВ») являются сильно идеализированными при рассмотрении газовой детонации. Основная причина нарушения подобной идеализации – неустойчивость совместного взаимодействия газодинамических и кинетических факторов, проявляющаяся в усилении слабых возмущений и нарушении одномерности течения. Сложная неоднородная и нестационарная структура фронта ДВ оказалась присущей не только чисто газовым системам, но и ряду жидких и твердых взрывчатых веществ (ВВ), а также гетерогенным смесям.

В настоящее время общепринято, что ДВ в газовой смеси представляет сложный квазистационарный многофронтный газодинамический комплекс из ударных скачков, волн разрежения, контактных разрывов и локальных зон химической реакции. На рис.2 представлена шлирен-фотография фронта ДВ, иллюстрирующая сложную структуру детонационного фронта в области сопряжения головных

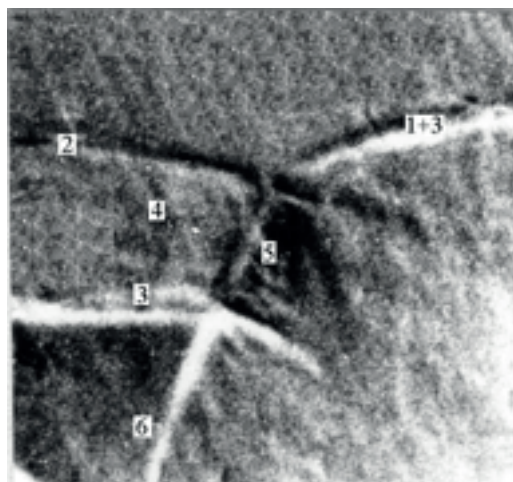


Рисунок 2 - Фотография фронта ДВ: 1 и 2 – элементы фронта ударных волн, 3 – фронт горения, 4 – зона индукции за УВ, 5 – поперечная волна, 6 – шлейф (пучность акустических возмущений в продуктах детонации). ДВ движется снизу-вверх, поперечная волна – справа налево. Размер поперечной волны примерно совпадает с размером зоны индукции!

участков фронта ДВ с поперечной волной (ПВ), распространяющейся по зоне индукции.

При распространении ДВ траектории движения ПВ по зоне индукции образуют упорядоченную структуру с характерным масштабом, называемым размером ячейки  $a$  (рис.3). Средний размер ячейки определяется как отношение длины базовой линии в нормальной к направлению распространения ДВ плоскости, деленной на количество траекторий поперечных волн одного направления, пересекающих данную линию. Для большинства горючих смесей количество поперечных волн на детонационном фронте уменьшается при понижении начального давления и приближении к концентрационным пределам, что приводит к увеличению размера ячейки  $a$ .

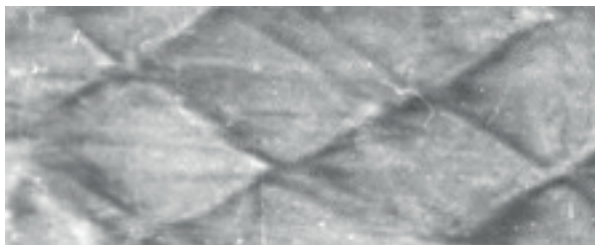


Рисунок 3 - Классическая структура многофронтной газовой детонации (распространение ДВ слева направо).

Эффект возбуждения горения или детонации обычно носит «пороговый» характер: «да» - «нет» для любого инициатора. Минимальная энергия, обеспечивающая 100-процентное возбуждение данного режима, традиционно называется критической энергией. На рис.4 приведены две фотографии следовых отпечатков, иллюстрирующие пороговый характер сильного инициирования: успешное возбуждение ДВ при энергии, большей критической величины (правая фотография), и отсутствие возбуждения ДВ при энергии, меньшей критической величины (в этом случае возбуждается режим высокоскоростного турбулентного горения).

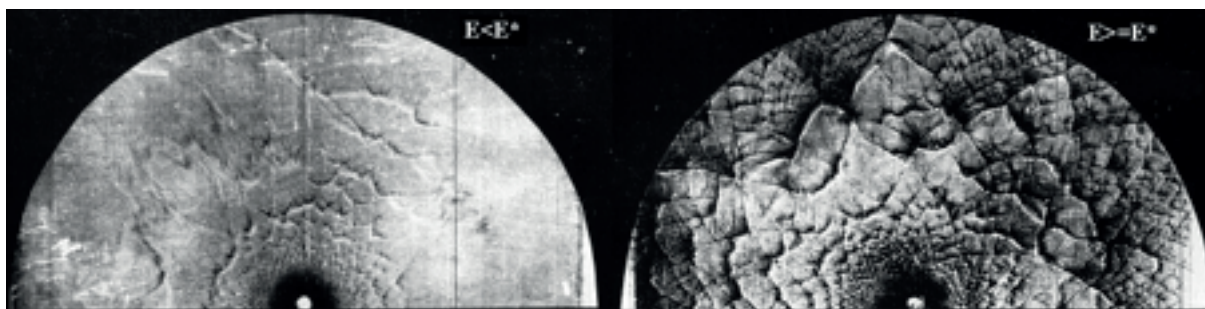


Рисунок 4 - Фотографии следовых отпечатков, иллюстрирующие пороговый характер сильного инициирования

Минимальная энергия зажигания метано-воздушных смесей характеризуется величиной порядка миллиджоуля, а критическая энергия инициирования детонации – порядка  $10^8$  Дж (17 кг ВВ). Огромная разница  $E_{min}$  (около 5-10 порядков) между этими двумя процессами, казалось бы, позволяет основное внимание сосредоточить лишь на процессах воспламенения и низкоскоростного горения и не рассматривать энергетически затратный детонационный режим. Однако специалистам хорошо известны нестационарные режимы ускорения пламени вплоть до перехода горения в детонацию (при выполнении определенных требований), которые могут играть определяющую роль при аварийном возгорании метана в шахтах.

Для моделирования шахтных условий (с характерным размером шахтного туннеля порядка 6 метров) не обойтись без геометрического моделирования. С этой целью были выполнены исследования параметров детонационных волн в стехиометрической смеси метан-кислород при ее постепенном разбавлении азотом вплоть до воздушного соотношения ( $air = O_2 + 3.76N_2$ ). На рис.5 представлены данные о размере ячеек в смесях  $CH_4 + 2(O_2 + nN_2)$  при различных  $n$ . Верхняя горизонтальная пунктирная линия соответствует спиновому режиму детонации в стехиометрической смеси метана с воздухом в трубе 100 мм с характерным размером ячейки детонационной волны  $a \approx 314$  мм. Для приближенных оценок можно взять в качестве характерного размера шахтного штрека его диаметр в 6.3 метра и получить цифру  $d/a = 20$ . Другими словами в условиях шахты при детонации стехиометрической метано-воздушной смеси ДВ является многофронтной. Поскольку характерный размер зоны реакции в ДВ напрямую связан с размером ячейки, то для моделирования «шахтной ДВ» в лабораторных условиях необходимо вы-

полнение критерия геометрического подобия  $d/a = 20$ . Этого можно достичь либо при фиксированном составе смеси соответствующим подбором диаметра детонационной трубы, либо более удобным способом: при фиксированном диаметре подобрать такую смесь, чтобы ее характерный размер ячейки обеспечивал моделирование (область между горизонтальными пунктирными линиями на рис.5).

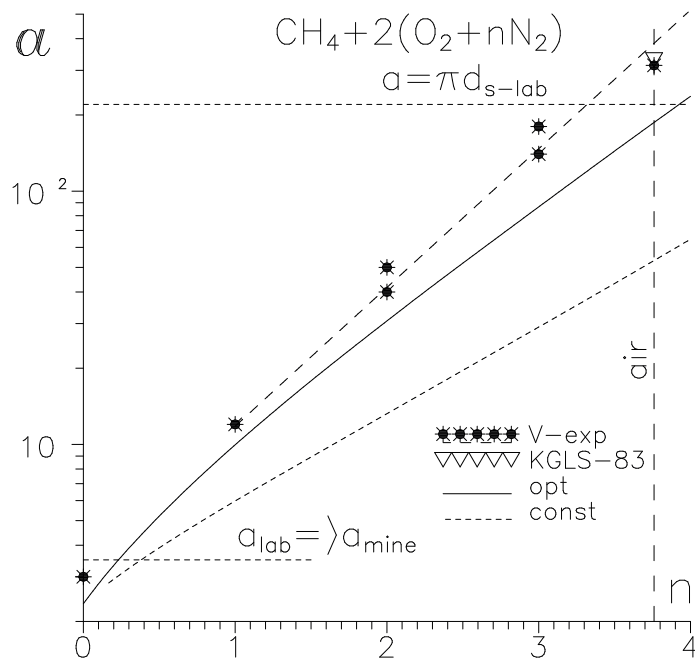


Рисунок 5 - Данные о размере ячейки в метановой смеси при разбавлении азотом

Поскольку в нестационарных режимах весьма важным параметром является не только поперечный, но и продольный размер (длина) рассматриваемого явления, то в данном случае в качестве критерия выбрано соотношение длина–диаметр, равное 100 (сто калибров). Такая величина принята детонационным сообществом в качестве достаточной для вывода о стационарности детонационной волны, распространяющейся в длинной трубе. Динамика событий в лабораторной трубе в 100 калибров в пересчете на шахтные условия дает величину порядка 600 метров. Комбинируя различные критерии в качестве базовой для лабораторных условий была выбрана детонационная труба диаметром 70 мм длиной 7 метров!

Для исследований возможности гашения детонации и взрывных волн пылевой завесой использовалось вертикальное расположение трубы. Труба была оборудована устройством для дозированной подачи пыли (на верхнем торце трубы), электроникой для управления подачей пыли в объём трубы, системой инициирования детонационного процесса, пьезодатчиками давления, ионизационными датчиками, фотоэлектронными умножителями для регистрации свечения и т.д., а также необходимыми приборами для регистрации данных (4–лучевые осциллографы, скоростные кинокамеры и пр). На рис. 6 приведены схема характерных зон трубы (1 – метановая смесь + инертная пыль; 2 – метановая смесь; 3 – фронт детонационной волны; 4 – продукты детонации метановой смеси) и схема генератора пылевзвеси (1 – цилиндрический контейнер с сыпучим материалом; 2 – запорный конус; 3 – стержень электромагнита). В качестве пылевзвеси использован кварцевый песок с фракциями частиц размером  $d = 250 \div 600, 120 \div 250, 90 \div 120$  мкм.

Основные стадии экспериментальных исследований:

- I – динамика формирования облака пыли;
- II – динамика формирования ДВ в газовой смеси;
- III – динамика распространения ДВ в газопылевой среде.

При варьировании концентрации частиц использовались как традиционная схема (рис. 7) – увеличение количества и плотности частиц –  $\rho_2 > \rho_1$  – при постоянном давлении и размере характерной зоны химической реакции ( $L_1 = const$ ), а также схема увеличения размера зоны химической реакции  $L_2 > L_1$  (пропорциональной размеру ячейки в ДВ) при уменьшении начального давления смеси, при этом плотность частиц можно оставлять неизменной ( $\rho = const$ ).

Важно, что для эффективного гашения ДВ пространственно-временные масштабы физических процессов (разгон частиц, нагревание, дробление и тд) должны быть меньше масштабов химических



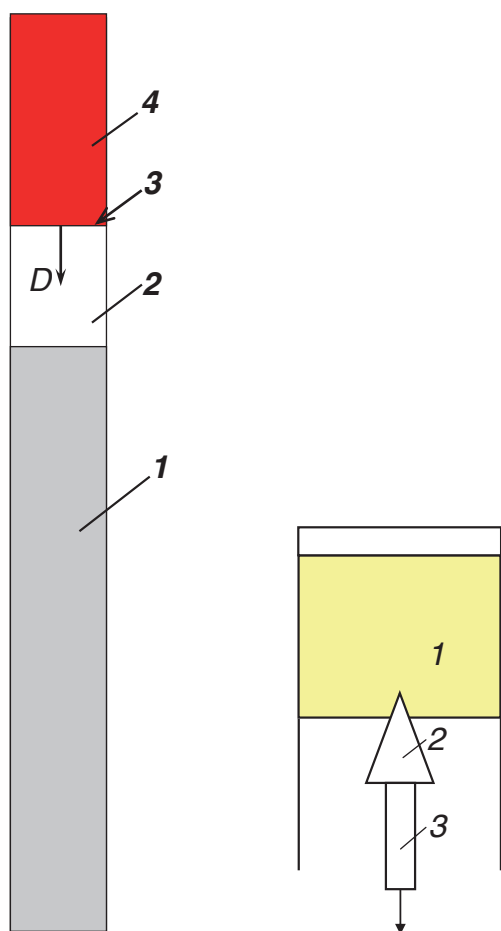


Рисунок 6 - схема характерных зон трубы (1 – метановая смесь + инертная пыль; 2 – метановая смесь; 3 – фронт детонационной волны; 4 – продукты детонации метановой смеси) и схема генератора пылевзвеси (1 – цилиндрический контейнер с сыпучим материалом; 2 – запорный конус; 3 – стержень электромагнита)

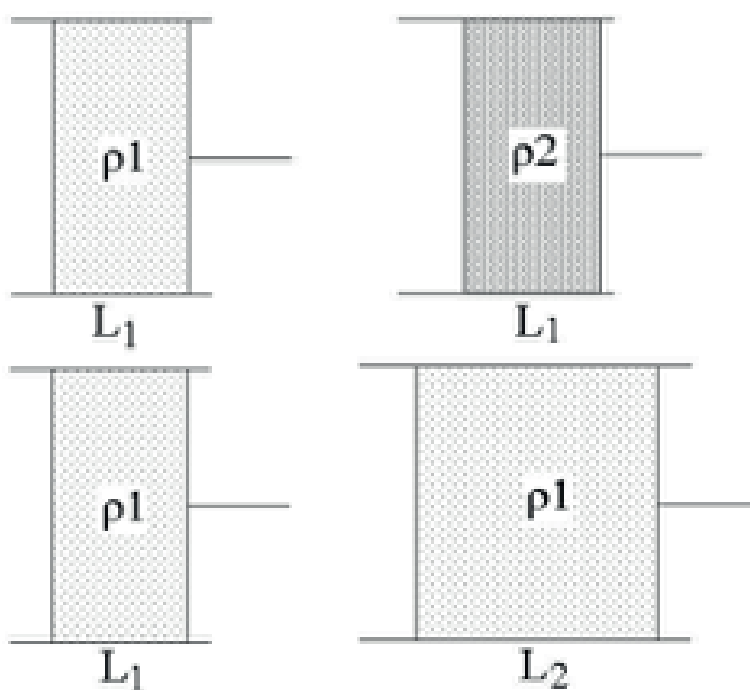


Рисунок 7 - традиционная схема - увеличение количества и плотности частиц при постоянном давлении и размере характерной зоны химической реакции

процессов в зоне реакции. Физические процессы зависят от размера частиц и их концентрации. При нагревании частиц происходит поглощение тепловой энергии из зоны реакции ( $Q_t$ ), а при разгоне частиц – поглощение кинетической энергии газа ( $Q_k$ ), при этом  $Q_t > Q_k$ .

Экспериментально проверено, что ДВ выходит на установившийся режим (2200-2240 м/с) на расстоянии около 2 м от верхнего торца трубы, скорость волны отличается от DCJ менее чем на 1 %.

При воздействии частиц на взрывную волну нужно иметь в виду, что недостаточно «сорванная» взрывная волна способна восстановиться и усилиться при последующем столкновении со стенками или препятствиями, поскольку при отражении ударной волны заметно возрастает температура и смесь может воспламениться. На рис.8 представлен график зависимости температуры за ударной волной в метано-воздушной смеси. Можно видеть, что с точки зрения воспламенения смеси (критерий - температура достигает температуры вспышки) опасными являются волны, скорость которых выше звуковой примерно в 1.45 раза. За такой волной давление возрастает примерно вдвое по сравнению с начальным  $P_0 = 1.0 \text{ атм}$ .

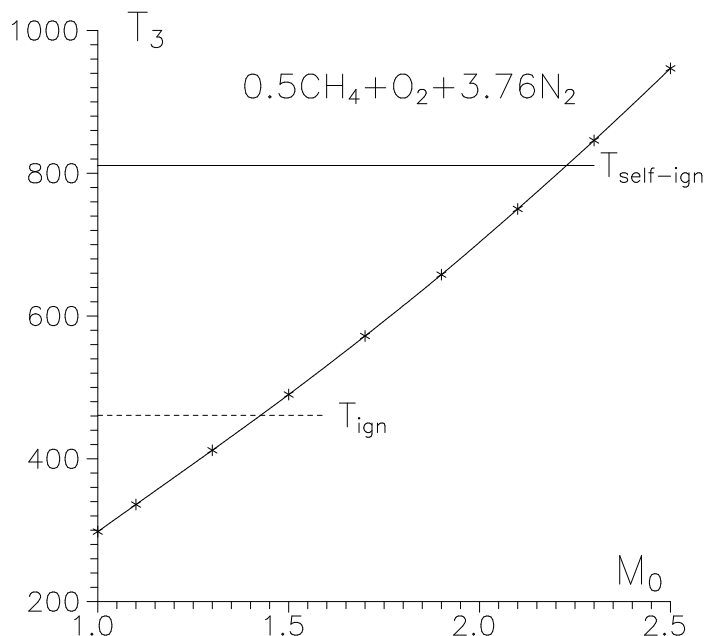


Рисунок 8 - Зависимость температуры газа за отраженной ударной волной (УВ) в метано-воздушной смеси от числа Маха УВ (отношение скорости волны к скорости звука). Горизонтальными линиями отмечены температуры вспышки (пунктир) и самовоспламенения (сплошная) смеси. Видно, что УВ при  $M > 1.45$  уже становится опасной!!!

На рис.9 представлен график зависимости скорости детонационной волны по мере ее распространения в пылевом облаке (по вертикали – скорость волны, м/с; по горизонтали – координата фронта волны от точки входа в пылевое облако, м). Хорошо видно немонотонное ослабление ДВ в облаке. Символами 1-4 обозначены различные условия эксперимента: 3 соответствует полному затуханию взрывной волны – как исходной детонационной, всех промежуточных между детонацией и горением, так и самого горения. Эксперимент (линия 3) доказывает возможность полного гашения взрывных волн пылевыми завесами. Проблема в своевременном создании пылевых завес в нужном месте!

Поскольку энергия зажигания метано-воздушной смеси составляет всего доли миллиджоуля, в то время как энергия прямого инициирования детонации эквивалентна примерно 17 кг тротила, то на начальной стадии всегда реализуется лишь воспламенение метано-воздушной смеси и пламя вначале распространяется из точки в режиме ламинарного горения со скоростью порядка 0.3 м/с. Если диаметр шахтного штрека взять равным равен 5 м, то ламинарное пламя полностью перекроет сечение шахты примерно за 15 сек (в случае воспламенения вблизи стенки). Реально же фронт ламинарного пламени будет взаимодействовать с шероховатостями стенок, превращаться в турбулентное горение и увеличивать скорость распространения. Скорость турбулентного пламени составляет примерно 60 м/с. Особо отметим, что как при ламинарном, так и при турбулентном дозвуковом горении не наблюдается повышения давления в продуктах реакции. При сильно затурбулизованной смеси на перекрытие сечения шахты фронтом турбулентного пламени потребуется примерно 0.1 секунды. После перекрытия сечения шахты пламя будет распространяться вдоль штрека, ускоряясь как за счет автотурбулиза-

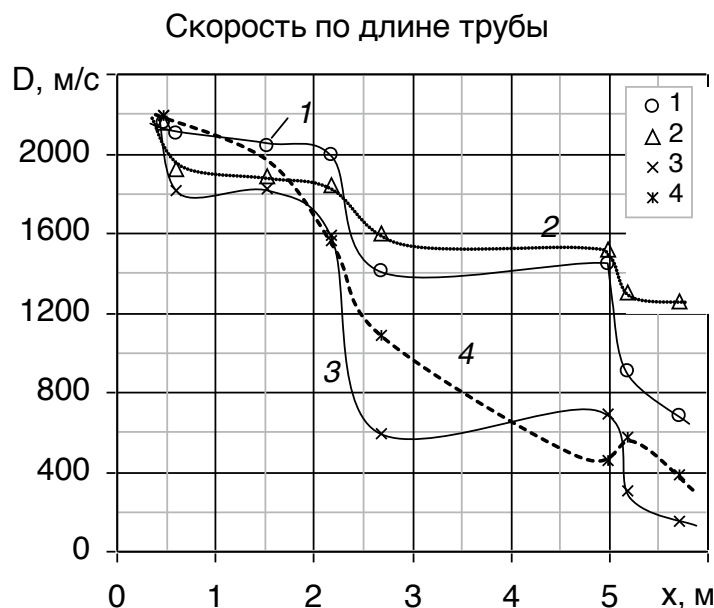


Рисунок 9 - график зависимости скорости детонационной волны по мере ее распространения в пылевом облаке

ции, так и за счет искусственной турбулизации. При этом впереди пламени будет формироваться предвестник из волн сжатия, генерируемых расширяющимся фронтом пламени. Поскольку волны сжатия распространяются значительно быстрее фронта пламени, то они будут способствовать вовлечению в поток мелкодисперсных частиц угольной пыли с формированием гетерогенной двухтопливной системы метан–воздух–угольная пыль. На рис. 10 представлен график основных продуктов реакции метано-воздушных смесей, из которого видно, что в продуктах имеется заметное количество горячего водорода и оксида углерода (известного как синтез-газ), являющимися горючими компонентами. Мелкодисперсная угольная пыль, попадая в такую нагретую смесь, будет вступать в реакцию, усугубляя воздействие метано-воздушной смеси. Нельзя исключить возможность перехода горения в детонацию в условиях шахты, что может существенно усугубить последствия аварии.

Тот факт, что на начальной стадии в метано-воздушной смеси может возбуждаться только горение, позволяет сразу же сформулировать преимущества начальной стадии возгорания.

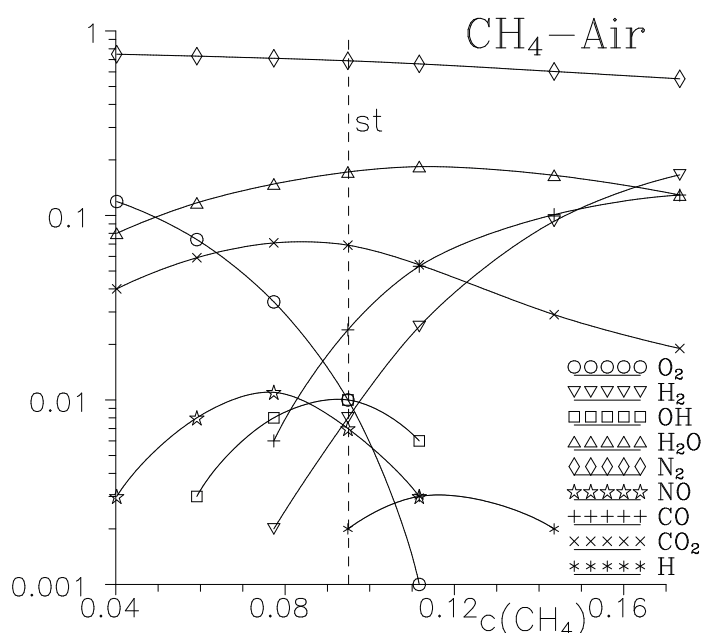


Рисунок 10 - Мольный состав основных продуктов детонации метано-воздушных смесей при различных мольных концентрациях метана в смеси с (CH<sub>4</sub>). При обогащении смеси метаном в продуктах увеличивается доля горючего синтез-газа (смесь водорода и оксида углерода)!

А именно:

- низкие скорости распространения пламени;
- малый размер зоны возгорания;
- максимально возможное время для принятия решения и ввода в действие факторов тушения;
- максимальное время для создания однородного тушащего облака.

Эти преимущества позволяют более адекватно ответить на вопросы – Как предотвратить или ослабить воздействие «взрыва»? Чем гасить?

Среди известных методов, но все еще недостаточно применяемых:

- дегазация угольных пластов;
- постоянный контроль концентрации метана;
- постоянный контроль положения шахтеров – система подземного позиционирования (особо важная для МЧС);
- инертный газ – выход вне концентрационных пределов;
- ингибиторы (кинетическое гашение) – введение веществ, препятствующих размножению активных радикалов в цепном механизме реакций метано-воздушной смеси;
- инертные частицы – отбор кинетической и тепловой энергий;
- распылы инертной жидкости – отбор энергии фазовых переходов (жидкость – пар);
- «подушки безопасности»;
- гасящие зазоры;

и пр

Требования к системе пожаротушения:

- максимально быстрое обнаружение – оптическая диагностика;
- анализ возникшей ситуации и выбор решения (АСУ);
- передача управления на соответствующие элементы пожаротушения (АСУ);
- максимально быстрый ввод системы в рабочее состояние (взрывное диспергирование);
- однородность тушащего средства по сечению и длине;
- оптимизация по физическим свойствам (учет физических свойств гасящего материала: теплоемкость, масса, поверхность, агрегатное состояние,...)...

Очевидно, что для процесса подавления волны наиболее эффективны частицы, имеющие высокую теплоемкость и (при наличии плавления) большую теплоту фазового перехода. Если частицы имеют относительно большой размер, газ и конденсированная фаза не будут находиться в тепловом и механическом равновесии внутри зоны реакции ДВ. Для увеличения эффективности подавления детонации желательно использовать настолько малые частицы, насколько это возможно.

Для моделирования детонации в смеси метан – воздух – угольная пыль разработана приближенная двухстадийная модель кинетики детонационного горения метана.

Для смеси с реальными теплофизическими и химическими свойствами в расчетах была воспроизведена нерегулярная ячеистая структура со всеми основными ее особенностями:

- хаотическое несогласованное движение основных поперечных волн;
- многочисленные вторичные поперечные волны, составляющие иерархию уменьшающихся по размерам возмущений фронта ДВ;
- области несгоревшей смеси на значительном расстоянии за фронтом ДВ;
- тонкая (ячеистая) структура поперечных волн.

Еще раз отметим основной результат – полное гашение детонации и горения с помощью пылевой завесы: экспериментальными исследованиями ослабления детонационной волны (ДВ) в метановой смеси  $CH_4 + 2O_2 + N_2$ , запыленной кварцевым песком, установлено, что пылевое облако с размером частиц 250–600 мкм и их средне-объемной концентрацией  $\rho_s \approx 2.5$  г/литр практически не ослабляет ДВ на длине облака около 6 м при  $p_0 = 0.1$  МПа. Но уже при  $p_0 = 0.01$  МПа пылевое облако с размером частиц 90–120 мкм и их средне-объемной концентрацией  $\rho_s \approx 2.5$  г/литр ослабляет ДВ на такой же длине облака от детонационной (гиперзвуковой) скорости до акустической (линия 3 на рисунке). Другими словами – пылевое облако срывает полностью как детонацию, так и горение смеси, что принципиально важно для взрывобезопасности шахт. Обнаружено немонокотное затухание взрывной волны в пылевом облаке, что свидетельствует о новых механизмах взаимодействия зоны реакции с пылевым облаком.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Зельдович Я.Б., Компанеев А.С. Теория детонации / Москва, Гостехиздат, 1955
2. К.И.Щелкин, Я.К.Трошин. Газодинамика горения//М., из-во АН СССР, 1963
3. Войцеховский Б.В., Митрофанов В.В., Топчян М.Е. Структура фронта детонации в газах// Новосибирск, из-во СО АН СССР. 1963.
4. Физика взрыва//под ред. Л.П.Орленко. М., Физматлит, 2002.
5. Льюис Б., Эльбе Г. Горение, пламя и взрывы в газах//М., Мир, 1984.
6. Vasil'ev A.A. The limits of stationary propagation of gaseous detonation//in «Dynamic structure of detonation in gaseous and dispersed media» ed. by A.A.Borisov: v.5 of «Fluid Mechanics and its applications». Kluwer Academic Publishers. -Dordrecht-Boston-London. -1991. -p.27-49.
7. Vasil'ev A.A. Quasi-stationary regimes of wave propagation in active mixtures// Shock Waves, 2008, 18,4. p.245-253
8. Пожаро-взрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения// Справочник в 2-х томах (под ред. А.Н.Баратова и А.Я.Корольченко). М., Химия, 1990.
9. Андреев К.К., Беляев А.Ф. Теория взрывчатых веществ//М., Гостехиздат. -1960.
10. Стрижевский И.И., Заказнов В.Ф. Промышленные огнепреградители//М., Химия. -1974.
11. Нетлетон М. Детонация в газах//М., Мир. -1989.
12. Химическая энциклопедия (в 5 томах)//под ред. И.Л.Кнунянца. М., «Советская энциклопедия». -1988.
13. Щетинков Е.С. Физика горения газов//М., Наука. 1965.
14. Вредные химические вещества. Углеводороды. Галогенпроизводные углеводородов// Справочник под ред. В.А.Филова. Ленинград, Химия, 1990.
15. Hertzberg M. The flammability limits of gases, vapors and dusts: theory and experiment//in «Fuel-Air Explosions» ed. by Lee and Guirao. University of Waterloo press. 1982. p.3-48.
16. Hertzberg M., Cashdollar K.L., Zlochower I.A. Flammability limit measurements for dusts and gases: ignition energy requirements and pressure dependences//21-th Symp. (International) on Combustion, 1986, p.303-313.
17. Michels H.J., Munday G., Ubbelohde A.R. Detonation limits in mixtures of oxygen and homologous hydrocarbons//Proc. Roy. Soc. A:1539. Math. and Phys. Sci. -1970. 319,10. p.461-477.
18. Когарко С.М. Детонация метано-воздушных смесей и пределы детонации углеводородно-воздушных смесей в трубе большого диаметра//ЖТФ, 1958. 38,9. с.2072-2083.
19. Vasil'ev A.A. Cell size as the main geometric parameter of multifront detonation wave// Journal of Propulsion and Power, 2006, vol.22, n.6, pp. 1245-1260
20. Васильев А.А. Околокритические режимы газовой детонации//Дис. докт. физ.-мат. наук. Новосибирск. 1995.

COMPLETE SUPPRESSION OF  
DETONATION AND COMBUSTION OF METHANE  
MIXTURES OF DUST VEIL

**Vasiliev A.A., Pinaev A.V., Trutsjuk A.V.,  
Fomin P.A., Trubitsyn A.A., Trubitsyna D.A.**

*The paper analyzes the theory of combustion and detonation waves, and the results of theoretical and experimental studies on the development of a two-stage model of the kinetics of detonation combustion of methane in a methane - air - coal dust. The requirements for fire extinguishing systems explosion pylemetanovozdushnoy mixture.*

**Key words:** BURNING, DETONATION WAVE, SHOCK WAVE FRONT OF A CHEMICAL REACTION, IGNITION ENERGY, FLASH POINT, IGNITION TEMPERATURE.

*Васильев Анатолий Александрович  
gasdet@hydro.nsc.ru*

*Пинаев Александр Владимирович  
avpin@ngs.ru*

*Троцюк Анатолий Владиславович  
trotsyuk@hydro.nsc.ru*

*Фомин Павел Аркадьевич  
pavel\_fomin\_new@mail.ru*

*Трубицын Анатолий Александрович  
atrubitsyn@rambler.ru*

*Трубицына Дарья Анатольевна  
dtrubitsyna@gmail.com*

INDSAFE.ru  
г Кемерово, Сосновый бульвар, 1,  
Кузбасский Технопарк

- ООО «ВостЭКО»
- Кузбасский региональный  
горный центр охраны труда  
(ООО «Горный-ЦОТ»)
- ООО «ВостЭКО+»

*«Уголь любой ценой – Кузбассу не  
нужен»*

*А.Г. ТУЛЕЕВ*

# ООО "ВОСТЭКО"

осуществляет проведение научно-исследовательских работ, создание нормативной документации и другие работы в сфере промышленной безопасности на предприятиях угольной отрасли:

## экспертиза промышленной безопасности;

в том числе:

- ▶ технических устройств, применяемых на опасном производственном объекте;
- ▶ документации на капитальный ремонт, консервацию и ликвидацию опасного производственного объекта;
- ▶ документации на техническое перевооружение опасного производственного объекта в случае, если эта документация не входит в состав проектной документации такого объекта, подлежащей государственной экспертизе в соответствии с законодательством Российской Федерации о градостроительной деятельности;
- ▶ документов, связанных с эксплуатацией опасного производственного объекта.

## Направления деятельности Испытательной лаборатории:

- ▶ определение фрикционной опасности горных пород и уточнение параметров системы взрывозащитного орошения горных выемочных машин с разработкой мероприятий по безопасному ведению работ;
- ▶ определение удельного пылевыделения с последующим выбором мероприятий по борьбе с пылью с соблюдением процедуры проведения измерений согласно требованиям НД, включая соблюдение требований документов по отбору, системы регистрации и хранения проб, оформления результатов и выдачу документов, содержащих результаты измерений (оценки);
- ▶ определение технически достижимых уровней запыленности воздуха (ТДУ) во вновь вводимых забоях угольных шахт Кузбасса и разработка комплекса корректирующих мероприятий.

[indsafe.ru](http://indsafe.ru)

## разработка инновационных технологий в сфере угледобычи, выпуск конструкторской документации для их единичного и серийного применения;

Основным направлением деятельности конструкторского бюро является разработка инновационных технологий в сфере угледобычи, направленных на повышение безопасности труда работников предприятий и увеличение производительности предприятия в целом, а также выпуск конструкторской документации для их единичного и серийного производства. Конструкторская документация разрабатывается квалифицированными специалистами в полном соответствии с требованиями Единой системы конструкторской документации с использованием современных средств автоматизации проектирования. Наличие собственных испытательных стендов позволяет определить эффективность разработки на практике. Совокупность данных факторов повышает качество разработок и снижает себестоимость изделия.

## патентные исследования;

Сектор **патентных исследований** проводит:

- ▶ патентные исследования и составление отчета по требованиям ГОСТ Р 15.011-96;
- ▶ оформление заявок на получение патентов на изобретения, полезные модели, промышленные образцы;
- ▶ регистрацию товарных знаков.

Данные виды деятельности осуществляются патентным поверенным РФ (рег. № 1584). Отметим, что специалистов этой квалификации в Кузбассе всего 4.

Патентные исследования, проводимые патентным поверенным РФ по направлению «Изобретения и полезные модели», позволили организации стать надежным партнером компаний в ближнем зарубежье и странах таможенного союза.

## организация технического обслуживания, ремонта, поверки средств измерений и вспомогательного оборудования.

# I. ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ГЕОМЕХАНИКА INDUSTRIAL SAFETY AND GEOMECHANICS

УДК 622.235; 622.831

## РЕГИСТРАЦИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ПОВЕРХНОСТИ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОДЗЕМНЫХ МАССОВЫХ ВЗРЫВОВ НА ТАШТАГОЛЬСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ



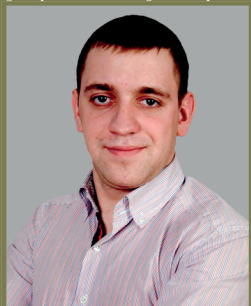
**И.В. Машуков**  
канд. техн. наук, доцент  
ФГБОУ ВПО «Сибирский  
государственный  
индустриальный университет»



**В.П. Доманов**  
канд. техн. наук, заведующий  
лабораторией АО «Научный  
центр «ВостНИИ»



**А.А. Семин**  
студент ФГБОУ ВПО  
«Сибирский государственный  
индустриальный университет»



**А.Г. Серг**  
студент ФГБОУ ВПО  
«Сибирский государственный  
индустриальный университет»



**М.А. Клишкин**  
студент ФГБОУ ВПО  
«Сибирский государственный  
индустриальный университет»

*Представлены результаты регистрации сейсмических колебаний поверхности от воздействия подземного массового взрыва при отработке рудных запасов Восточного участка Таштагольского месторождения. Определены значения максимальных скоростей колебаний земной поверхности в ближней и дальней зонах.*

*Ключевые слова: МАССОВЫЙ ВЗРЫВ, ВЗРЫВЧАТОЕ ВЕЩЕСТВО, СЕЙСМИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ, АМПЛИТУДА, СЕЙСМОГРАММА, ДОПУСТИМЫЕ СКОРОСТИ КОЛЕБАНИЙ.*

Для определения величины сейсмических колебаний поверхности от воздействия подземного массового взрыва на Таштагольском месторождении проведена регистрация с использованием сейсмоприёмников СМ-3КВ, аналогово-цифрового преобразователя (АЦП) модели Е-14-440 с записью сигналов на жёсткий диск ПК. Обработка и регистрация сейсмических сигналов в цифровом коде с АЦП модели Е-14-440 осуществляется программой «L-GRAF». Для обработки кодовых значений цифрового сигнала, записанного программой «L-GRAF» в значения скорости смещения грунта и пересчета номера отсчета во временной интервал, разработана программа «Seismikanaliz» на языке Pascal в среде Delphi. Программа позволяет определить сигнал из всего файла данных и выделить его для обработки и размещения в Excel для представления в графическом виде. Методика регистрации и обработки разработана в институте динамики геосфер РАН [1,2] и широко применяется при оценке уровня сейсмического воздействия массовых взрывов на шахте Таштагольского филиала ОАО «Евразруда» [3] и при разработ-

ке угольных разрезов Кузбасса [4 - 6].

Массовый взрыв по блоку № 3 (2 слой), расположенному на Восточном участке в этаже (-140)÷(-70) м, произведен 6 июля 2014 г. (рис. 1).

Суммарная масса взрывчатых веществ (ВВ) на взрыв составила 49,2 т. Балансовые запасы по блоку равны 168 тыс. т. Были применены пучки сближенных скважин диаметром 105 мм и общей длиной 1,5 тыс. м. Удельный расход ВВ на отбойку составил 0,591 кг/т. Скважинные заряды в пучках инициировались незлектрической системой ИСКРА-Ш с замедлением от 0 до 450 мс. Иницирующий импульс в волноводы ИСКРА-Ш поступал по детонирующим шнурам, которые инициировались от электродетонаторов с поверхности. Масса ВВ в ступени замедления составляла от 191 до 13607 кг.

Регистрация сейсмических колебаний земной поверхности проведена 06.07.2014 года в двух пунктах – у железнодорожного вокзала и горного колледжа города Таштагол. Расстояние от центра массового взрыва до пункта регистрации у железнодорожного вокзала составляет 400 м по горизонтали и 500 м по высоте, абсолютное расстояние по прямой –



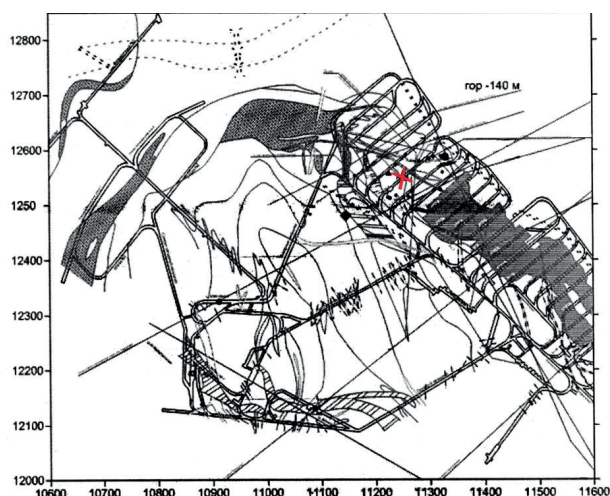


Рисунок 1 – План горизонта –140 м месторождения  
 × – центр взрыва

640 м. Расстояние от центра массового взрыва до пункта регистрации горного колледжа составляет 4200 м по горизонтали, 500 м по высоте и абсолютное – 4230 м. Сейсмограммы скорости сейсмических колебаний земной поверхности в пункте регистрации у железнодорожного вокзала в вертикальном и двух горизонтальных направлениях приведены на рисунке 2.

Первая сейсмограмма зарегистрирована вертикальным датчиком и скорость вертикальных колебаний земной поверхности составила 0,12 см/с. Вторая сейсмограмма зарегистрирована горизонтальным датчиком, ориентированным на север-юг по направлению на массовый взрыв, третья сейсмограмма зарегистрирована горизонтальным датчиком, ориентированным на запад-восток. Длительность вертикальных сейсмических колебаний составила 2,5 с, из которых основной высокочастотный импульс с максимальной амплитудой имеет длительность 1 с, а длительность низкочастотного импульса с амплитудой 0,04 см/с составила 1,5 с.

Сейсмограмма скорости горизонтальных колебаний земной поверхности по направлению на массовый взрыв аналогична сейсмограмме скорости вертикальных колебаний и по амплитуде и по длительности. Сейсмограмма скорости горизонтальных колебаний земной поверхности в перпендикулярном направлении линии на массовый взрыв имеет существенные отличия: общая длительность сейсмических колебаний в этом направлении составила 4,5 с, в котором наблюдается низкочастотный импульс с высокой амплитудой. За высокочастотным импульсом с максимальной амплитудой 0,12 см/с и длительностью 1 с следует низкочастотный импульс с высокой амплитудой 0,12 см/с и

длительностью 1,5 с. Далее амплитуда колебаний снижается до 0,02 см/с в течение 2 с. При сравнении сейсмограмм скорости вертикальных и горизонтальных колебаний земной поверхности можно сделать вывод, что по критерию пропорциональности количества выделившейся сейсмической энергии - площади сигнала, максимальные сейсмические колебания в ближней зоне массового взрыва являются горизонтальные в направлении по линии запад-восток. Это объясняется направлением отбойки

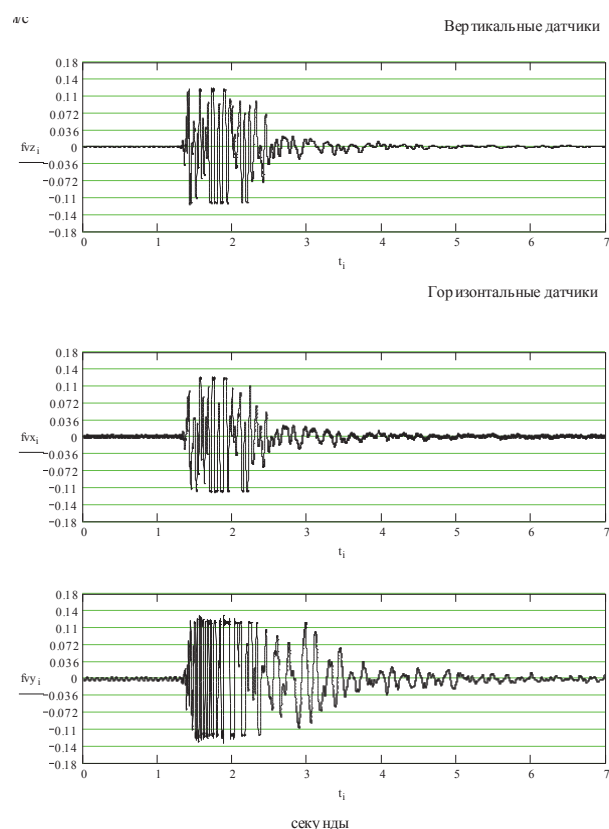


Рисунок 2 – Сейсмограмма скорости сейсмических колебаний земной поверхности в пункте регистрации у железнодорожного вокзала после массового взрыва

и перемещением отбитой горной массы, в основном, в данном направлении. Следует отметить, что выбранный диапазон измерений меньше фактических величин скорости колебаний, поэтому произошло срезание максимальных импульсов, и на сейсмограммах наблюдается «полочка» на амплитуде 0,12 см/с. Аппроксимируя максимальные значения импульсов по треугольному контуру всего сейсмического сигнала, реальная величина скорости сейсмических колебаний оценивается величиной 0,2-0,3 см/с.

Сейсмограммы ускорений сейсмических колебаний земной поверхности в пункте регистрации у железнодорожного вокзала приведены на рисунке 3. Для вертикальных колебаний

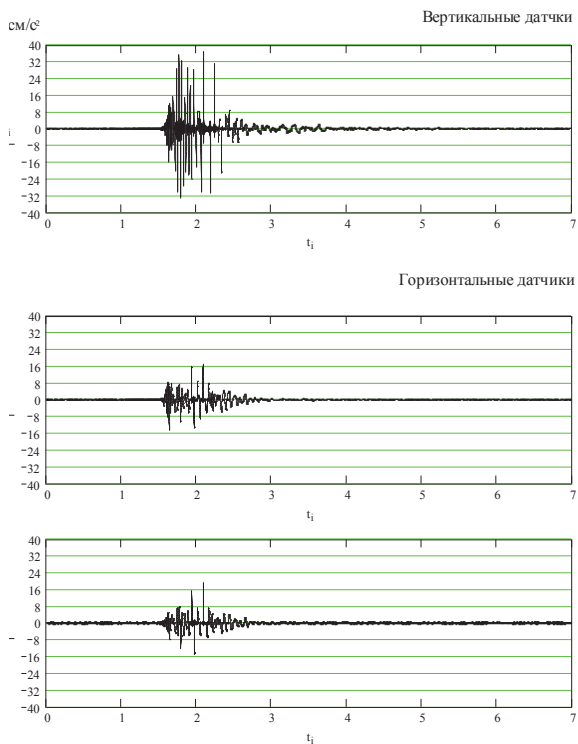


Рисунок 3 – Сейсмограмма ускорений сейсмических колебаний земной поверхности в пункте регистрации у железнодорожного вокзала после массового взрыва блока

ускорения составляют  $36 \text{ см/с}^2$  на первой секунде в высокочастотной части сигнала. Для горизонтальных колебаний величина ускорений в два раза ниже и составляют  $16 \text{ см/с}^2$ .

Амплитудно-частотные характеристики сейсмических колебаний земной поверхности приведены на рисунке 4. По полученным сейсмограммам выявлены пиковые значения вертикальных колебаний с частотой 1, 2, 3, 6 и 10 Гц. Для горизонтальных колебаний характерны максимальные значения колебаний с частотой 1, 5 и 6 Гц и отсутствие колебаний с частотой 10 Гц.

Сейсмограммы скорости сейсмических колебаний земной поверхности в пункте регистрации у горного колледжа в вертикальном и двух горизонтальных направлениях приведены на рисунке 5.

Первая сейсмограмма зарегистрирована вертикальным датчиком, вторая сейсмограмма - горизонтальным, ориентированным на запад-восток по направлению на массовый взрыв, третья - горизонтальным, ориентированным по линии север-юг. Скорость вертикальных колебаний земной поверхности составила  $0,12 \text{ см/с}$ .

Длительность вертикальных сейсмических колебаний составила 1,5 с, из которых основной высокочастотный импульс с макси-

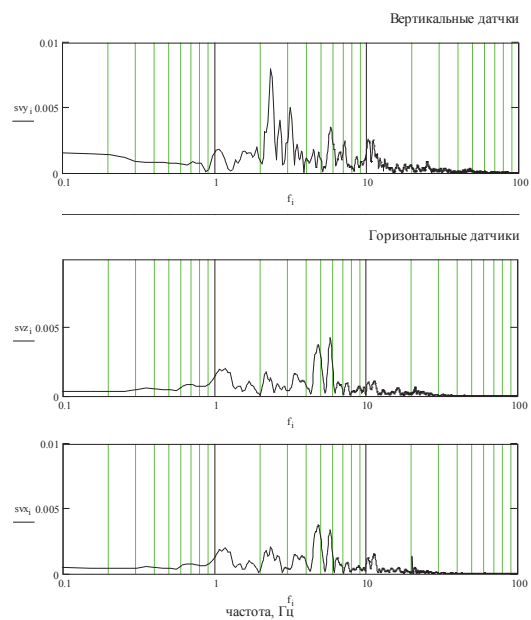


Рисунок 4 – Амплитудно-частотные характеристики сейсмических колебаний земной поверхности в пункте регистрации у железнодорожного вокзала после массового взрыва

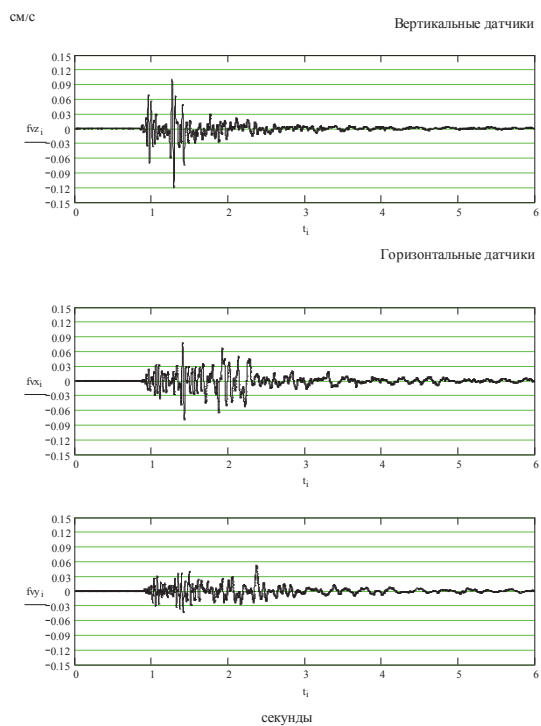


Рисунок 5 – Сейсмограмма скорости сейсмических колебаний земной поверхности в пункте регистрации у горного колледжа после массового взрыва

имальной амплитудой имеет длительность 0,5 с, а длительность низкочастотного импульса с амплитудой  $0,03 \text{ см/с}$  составила одну секунду.

Максимальная скорость горизонтальных колебаний земной поверхности по направлению на массовый взрыв составила  $0,08 \text{ см/с}$ , длительность - 3,5 с. Максимальная скорость

горизонтальных колебаний земной поверхности по направлению север-юг составила 0,05 см/с, длительность - 3,5 с. Сейсмограммы ускорений сейсмических колебаний земной поверхности в пункте регистрации у техникума приведены на рисунке 6. Для колебаний максимальные ускорения составляют 3,2 см/с<sup>2</sup>. Для горизонтальных колебаний по направлению на массовый взрыв, на запад-восток величина ускорений в два раза выше и составляют 7,2 см/с<sup>2</sup>. Это направление совпадает с направлением отбойки горного массива. Для горизонтальных колебаний по направлению на север-юг величина максимальных ускорений составляет 4,8 см/с<sup>2</sup>.

Амплитудно-частотные характеристики сейсмических колебаний земной поверхности в пункте регистрации у техникума приведены на рисунке 7. По полученным сейсмограммам выявлены пиковые значения вертикальных колебаний с частотой 1, 2,5, 5, 6 и незначительный пик для колебаний с частотой 10 Гц.

Для горизонтальных колебаний по направлению на массовый взрыв характерны максимальные значения колебаний с частотой 2,5, 6, 9 и 10 Гц. Для горизонтальных колебаний по направлению север-юг характерны максимальные значения колебаний в широком диапазоне спектра с частотой 1, 2,5, 3,5, 5, 6,

7, 9 и 10 Гц. Максимальные величины вертикальных и горизонтальных скоростей сейсмических колебаний приведены в таблице 1.

В Таштаголе жилые здания по конструктивным характеристикам относятся к бескаркасным зданиям с несущими стенами. Жилые здания по состоянию относятся ко II категории (в несущих конструкциях трещины до 0,5 мм; в стенах из кирпича и крупных блоков до 3 мм; вертикальность массива фундамента нарушена, повреждения в размере до 40 %). По СНиП 2.01.07-85 [7] здания относятся к II классу ответственности. Грунты (суглинки и глины мягкопластичные) в основаниях зданий и сооружений Таштагола согласно классификации ГОСТ 25100-95 соответствуют II группе. Допустимые скорости колебаний грунта для бескаркасных с несущими стенами зданий социального назначения (больницы, школы, техникум, дома культуры) с II классом ответственности по данным РТМ 36.22.91 [8] составляют 1 см/с, для жилых зданий - 2 см/с.

В измерениях по трем направлениям максимальные величины скорости сейсмических колебаний земной поверхности составляют допустимые значения. Максимальная величина скорости сейсмических колебаний земной поверхности составила 0,012 см/с, что в 8,3 раз меньше предельно допустимой.

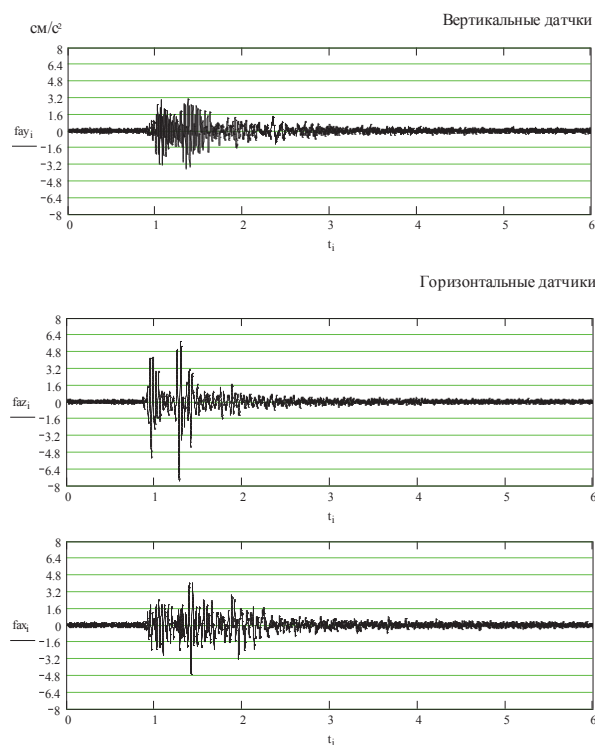


Рисунок 6 – Сейсмограмма ускорений сейсмических колебаний земной поверхности в пункте регистрации у горного колледжа

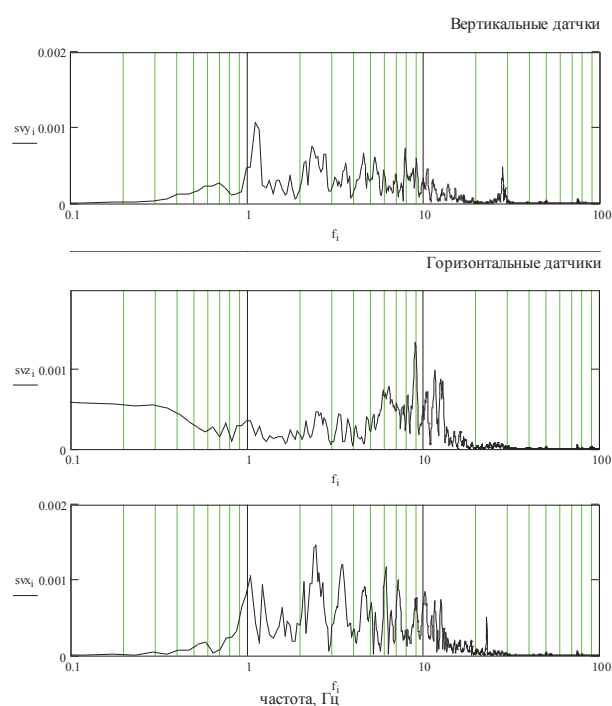


Рисунок 7 – Амплитудно-частотные характеристики сейсмических колебаний земной поверхности в пункте регистрации у горного колледжа

Таблица 1 – Величина максимальной скорости сейсмических колебаний

Дата регистрации, (масса ВВ, кг)	Пункт регистрации (расстояние, м)	Максимальная скорость сейсмо- колебаний, см/с	Направление колебаний
06.07.2014 г. (49200 кг)	Железнодорожный вокзал (пункт 1), (640м)	0,12	вертикальные
		0,12	горизонтальные в направлении массового взрыва (север-юг)
		0,12	горизонтальные перпендику- лярные направлению массового взрыва (запад-восток)
	Горный колледж (пункт 2) (4230 м)	0,12	вертикальные
		0,08	горизонтальные в направлении массового взрыва (запад-вос- ток)
		0,05	горизонтальные перпендику- лярные направлению массового взрыва (север-юг)

Выводы.

По результатам регистрации сейсмических колебаний поверхности от воздействия подземного массового взрыва с общей массой ВВ до 50 т определено их безопасное производство. Установлена величина максимальной скорости

колебания земной поверхности в ближней зоне на расстоянии 640 м, равная 0,12 см/с, которая в 8,3 раза меньше допустимого значения и определена максимальная интенсивность горизонтальных колебаний в направлении отбойки.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Еременко, А. А. Опыт проведения мощного массового взрыва в условиях высокого горного давления на Шерегешевском месторождении / А. А. Еременко, П. А. Филиппов, А. П. Гайдин, И. В. Машуков и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2002. – № 1. – С. 92–94.
2. Еременко, А. А. Сейсмическое действие технологических взрывов на удароопасных месторождениях / А. А. Еременко [и др.] // Вестник Российской академии естественных наук; Западно-Сибирское отделение. – 2005. – Выпуск 7. – С. 148–158.
3. Машуков, И. В. Регистрация сейсмических колебаний от подземных массовых взрывов / И. В. Машуков // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 4. – С. 216–221.
4. Доманов, В. П. Мониторинг сейсмического воздействия на охраняемые объекты при производстве массовых взрывов, проводимых на разрезах Кузбасса / В. П. Доманов, И. В. Машуков // Вестник научного центра по безопасности в угольной промышленности. – 2013. – №1-1. – С. 60–64.
5. Машуков, И. В. Расчет безопасных расстояний по сейсмическому воздействию массовых взрывов на здания и сооружения с учётом схемы взрывания скважинных зарядов / И. В. Машуков, В. П. Доманов, А. Г. Серг, Д. А. Егоров // Вестник научного центра по безопасности в угольной промышленности. – 2013. – №1-2. – С. 16–21.
6. Машуков, И. В. Обеспечение безопасности сейсмического воздействия массовых взрывов на здания и сооружения прилегающих территорий / И. В. Машуков, В. П. Доманов, А. Г. Серг, Д. А. Егоров // Научно-технические разработки и использования минеральных ресурсов : сб. науч. статей Междунар. науч.-практ. конф. – Новокузнецк: СибГИУ, 2014. – С. 104–109.
7. СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия. ГОСТ 25100-82 [Текст] Утв. Постановлением Госстроя СССР от 29.08.1985 N 135; ред. от 29.05.2003. – М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2003
8. Определение критических параметров колебаний охраняемых объектов при взрывном дроблении фундаментов и обрушении зданий при реконструкции. РТМ 36.22.91 / Сост. Л. М. Глоzman, Н.А. Маковская, В.О. Изюфов и др. – М.: Недра, 1982.

REGISTRATION OF SURFACE SEISMIC VIBRATION CAUSED BY UNDERGROUND MASS EXPLOSIONS AT TASHTAGOL ORE DEPOSIT

**Mashukov I.V., Domanov V.P., Siomin A.A., Serg A.G., Klimkin M.A.**

Registration results of the surface seismic vibrations caused by underground mass explosion while mining ore reserves at Eastern section of Tashtagol ore deposit are presented. Meanings of maximum vibration velocities of the earth surface at close and distant zones are determined.

**Key words:** MASS EXPLOSION, EXPLOSIVE, SEISMIC VIBRATIONS, AMPLITUDE, SEISMOGRAM, ACCEPTABLE VIBRATION VELOCITIES

*Машуков Игорь Владимирович*  
e-mail: mashukov\_nvkc@mail.ru

*Доманов Виктор Петрович*  
e-mail: vostonii-bvr@yandex.ru

*Семин Александр Алексеевич*  
e-mail: semin-a-ip@ya.ru

*Серг Алексей Геннадьевич*  
e-mail: serg2292@rambler.ru

*Климкин Михаил Андреевич*  
e-mail: ironhamm1996@mail.ru



# GaSos

## Стационарный газоанализатор контроля параметров атмосферы в зоне отработанного пространства

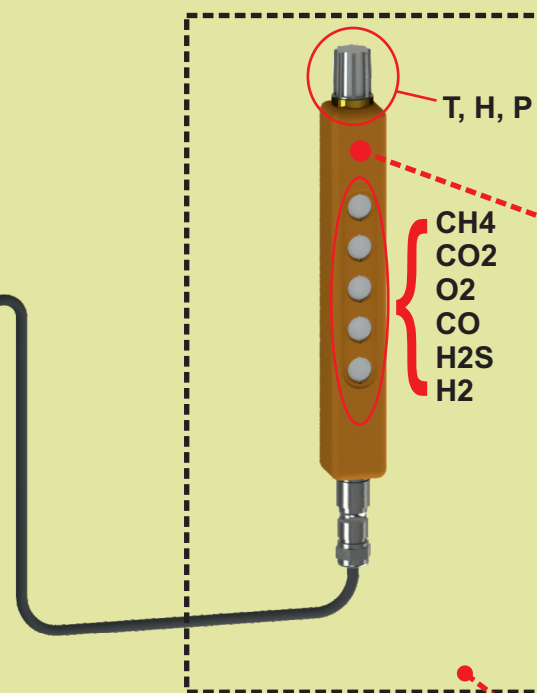
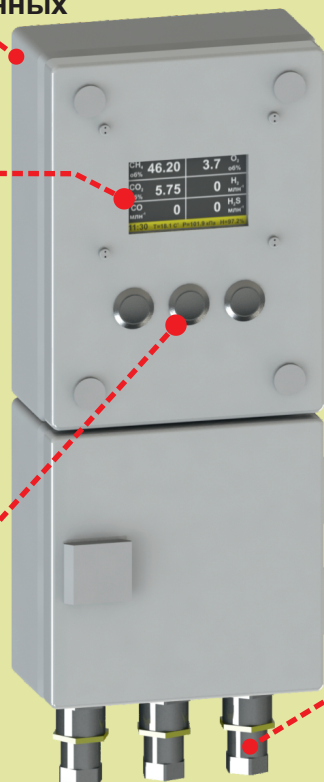
### Блок индикации и передачи данных

#### Индикация

Цветной графический экран позволяет отображать данные в режиме «онлайн» для всех измеренных параметров одновременно. Возможен вывод любой статистики в виде графиков или диаграмм.

#### Управление

Антивандалные кнопки



### Выносной блок для измерения концентрации газов и контроля параметров атмосферы

Измерение до 6 газов одновременно, а также температуры, относительной влажности и абсолютного давления одним блоком диффузионным методом без пробоотборного насоса. Данная методика измерения позволяет снизить энергопотребление и повысить надежность газоанализатора

### Передача данных

Передача измеренных и расчетных данных в систему сбора информации шахты по цифровому интерфейсу RS-485 и по аналоговому выходу 0,4-2В

### Зона отработанного пространства

## НОВЫЕ РАЗРАБОТКИ В ОБЛАСТИ ПРОВЕДЕНИЯ КАПИТАЛЬНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК В УДАРООПАСНЫХ ПОРОДАХ



**Ю.А. Масаев**

действительный член Академии  
Горных наук, канд. техн. наук,  
профессор ФГОУ ВПО «КузГТУ»



**В.Ю. Масаев**

канд. техн. наук, доцент кафедры  
Кемеровского института (филиал)  
ФГОУ ВПО «РЭУ им. Г.В.  
Плеханова»



**К.В. Кузнецова**

соискатель ФГОУ ВПО «КузГТУ»

*Рассмотрены условия проведения горных выработок в крепких удароопасных горных породах. Рекомендованы новые схемы врубов, обеспечивающие снижение удароопасности горных пород и повышение эффективности проведения горных выработок.*

*Ключевые слова: ГОРНАЯ ВЫРАБОТКА, ЗАРЯД ВЗРЫВЧАТОГО ВЕЩЕСТВА, ГОРНЫЙ УДАР, ВОДЯНАЯ ЗАБОЙКА, СХЕМА ВРУБА, НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ.*

Сложность сооружения горных выработок при разработке рудных месторождений predetermined условиями формирования рудных залежей и вмещающих горных пород, обладающих высокими прочностными свойствами – упругостью, вязкостью и, соответственно, коэффициентом крепости по шкале проф. М.М. Протодяконова, изменяющемся в широком диапазоне.

Кроме физико-механических свойств горных пород немаловажное значение при проведении горных выработок имеет геологическая структура района ведения горных работ, глубина заложения горных выработок, их форма и размеры, а также ориентация относительно структуры и заложения горных пород. Но главным проблемным фактором является существующее напряженное состояние в ненарушенном породном массиве – вид действующих напряжений, их величина и направление, а с увеличением глубины залегания горных пород наблюдается наличие обособленных напряженных зон, что является одной из причин проявления различных геодинамических процессов. И особенно опасными являются горные удары, наиболее часто проявляющиеся при разработке рудных месторождений, как в очистных забоях, так и выработках различного назначения. Форма таких проявлений может быть различная – от отдельных толчков, стрельяния, микроударов, до интенсивного заколообразования и разрушения пород-

ных обнажений.

В процессе проведения капитальных и подготовительных горных выработок разрушениям подвергается как свод и стенки выработок в форме интенсивного трещинообразования, заколов, отдельных вывалов, так и почвы выработок с разрушением крепи, рельсовых путей и др.

Любые геодинамические проявления, кроме возможной опасности для работающих, оказывают различные негативные воздействия на весь производственный процесс, выводя из технологического цикла отдельные забои и даже комплексы выработок. Все это требует непредвиденных дополнительных трудовых и материальных затрат.

Для предотвращения аварийного воздействия горных ударов на состояние горных выработок при их проведении в удароопасных породах разрабатываются различные мероприятия, направленные на приведение породного массива в неудароопасное состояние. Некоторые мероприятия направлены на изменение напряженного состояния породного массива, другие – на перемещение зоны повышенных напряжений с контура горной выработки в глубину массива в процессе производства буровзрывных работ, и для этого предусматривают изменение формы и размеров поперечного сечения горных выработок. Получил распространение способ проведения горных выработок с передовой незаряжаемой скважиной диаметром до 150 мм,

изменяющей в какой то степени концентрацию напряжений впереди забоя горной выработки.

Накоплен положительный опыт применения камуфлетного взрывания впереди забоя горной выработки для снижения концентрации напряжений и перераспределения максимума опорного давления. Но помимо обеспечения безопасных условий проведения горных выработок, одним из основных является создание условий качественной отбойки горных пород, обеспечивающей не только высокую скорость проведения горной выработки, но и устойчивое состояние законтурного массива, особенно при длительном сроке эксплуатации готовой горной выработки. А для этого требуется правильное определение и соблюдение всего комплекса буровзрывных работ.

С целью решения указанных проблем авторами разработан вруб для разрушения крепких горных пород [1], конструктивное выполнение которого предусматривает снижение концентрации напряжений впереди забоя горной выработки за счет камуфлетного взрывания, и, одновременно, создает условия качественного формирования врубовой полости.

Вруб (рис.1) состоит из опережающей компенсационной скважины 1 и из комплекта непосредственно врубовых шпуров 2. Компенсационную скважину диаметром не более 125 мм пробуривают в центре врубовых шпуров на глубину в 2 раза превышающую глубину врубовых шпуров.

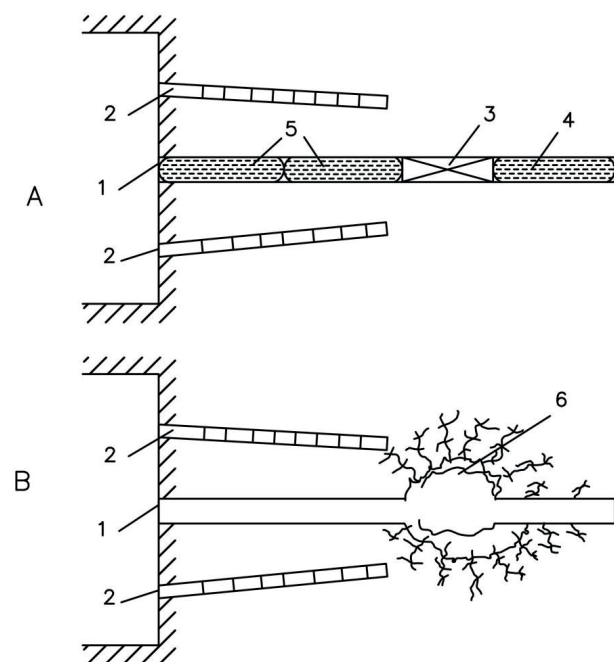


Рисунок 1 - Вруб для разрушения крепких работ  
А – до взрывания прострелочного заряда ВВ; В – после взрывания прострелочного заряда ВВ

В компенсационную скважину размещается прострелочный заряд взрывчатых веществ (ВВ) 3 на глубине, соответствующей глубине врубовых шпуров 2. Величина прострелочного заряда ВВ принимается в зависимости от конкретных горногеологических условий проведения горной выработки.

Перед прострелочным зарядом ВВ компенсационная скважина заполняется водонаполненными ампулами 4, а за ним – водонаполненными ампулами 5, что позволяет сконцентрировать действие взрыва прострелочного заряда ВВ в зоне его расположения.

Схема расположения врубовых шпуров может быть любая в зависимости от формы и размеров сечения горной выработки и ее назначения. Величина зарядов ВВ во врубовых шпурах – согласно разработанному паспорту буровзрывных работ.

Первой серией взрывают прострелочный заряд ВВ. При детонации заряда ВВ возбуждаемая мощная ударная волна воздействует на гидрозабойку 4 и 5, и водная масса в процессе сжатия создает эффективное распорное усилие на стенки компенсационной скважины, препятствуя преждевременному выходу газообразных продуктов детонации из скважины. За счет этого обеспечиваются условия формирования максимального импульса давления и полноты использования энергии взрыва на образование максимальной величины камуфлетной полости, а за счет прохождения по породному массиву сформированной волны напряжения происходит передислокация напряженной зоны впереди забоя горной выработки, что предотвращает возможность возникновения горного удара.

Одновременно, в процессе формирования камуфлетной полости вокруг нее создается обширная схема трещин в зоне донных частей врубовых шпуров – зона предразрушения 6.

Заряды ВВ врубовых шпуров взрывают второй серией. К этому моменту неразрушенная устьевая часть компенсационной скважины освобождена от гидрозабойки 5 и она становится дополнительной обнаженной поверхностью в системе вруба, что создает условия формирования системы отраженных волн и облегчает работу зарядов ВВ врубовых шпуров. А наличие зоны предразрушения в донных частях врубовых шпуров обеспечивает полноту отрыва горной породы на всю глубину пробуренных шпуров, что обеспечивает формирование врубовой полости максимальных размеров и в итоге качественное разрушение породы взрывом основного комплекта шпуровых зарядов ВВ.

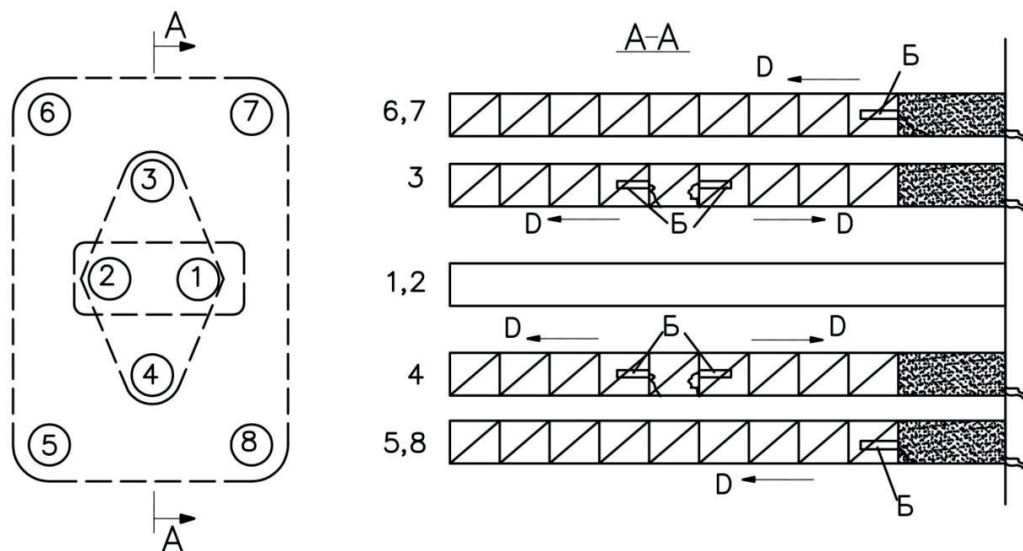


Рисунок 2 – Комбинированный призматический вруб

С целью повышения эффективности взрыва зарядов ВВ и формирования максимального объема врубовой полости, обеспечивающей высокую скорость проведения горных выработок заходками 4,5-5 метров за один взрыв, нами разработан комбинированный призматический вруб [2].

Вруб состоит из четырех шпуров 5,6,7,8 внешнего призматического вруба (рис.2), в центре которого по горизонтальной оси на пробивном расстоянии друг от друга ( $L = (2,0 \div 2,5) d_{шпур}$ ) расположены шпуры 1 и 2, один из которых (шпур 1) не заряжается, по вертикальной оси расположены два шпура 3 и 4

Первой серией взрывают заряд ВВ в шпуре 2, расположенном на пробивном расстоянии от незаряжаемого шпура 1, выполняющего роль дополнительной обнаженной поверхности. Иницирование его заряда ВВ прямое – после взрыва разрушается породная переемычка между шпурами 1 и 2, и образуется щелевидная полость на всю длину шпуров 1 и 2. Второй серией взрывают шпуры 3 и 4, в которых применено двухстороннее иницирование зарядов ВВ.

В каждом из этих шпуров расположено по два патрона – боевика в центрах зарядов ВВ и детонационные волны направляются одновременно и в сторону устьев шпуров и в сторону дна шпуров. Такое расположение патронов боевиков и направление детонационных волн в удлиненных зарядах ВВ обеспечивает равномерное распределение энергии взрыва на разрушаемую часть породного массива по всей длине заходки и сокращает время детонации всего заряда ВВ. После взрыва зарядов 3 и 4, работающих на щелевидную полость от взрыва зарядов 1 и 2, образуется внутренняя врубовая полость, за счет которой облегчается работа шпуровых зарядов ВВ 5,6,7 и 8 основного призматического вруба, в которых применяется прямое иницирование зарядов ВВ. Взрывание этих зарядов ВВ завершает образование врубовой полости проектного объема.

Опытная проверка разработанных схем врубовых шпуров показала положительные результаты и их применимость при проведении горных выработок по крепким удароопасным породам.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Масаев, Ю. А. Условия формирования зоны нарушенности законтурного массива при сооружении горных выработок / Ю.А. Масаев, О.В. Зиберт // Проектирование, строительство и эксплуатация комплексов подземных сооружений. Материалы III Международной конференции. – Екатеринбург, 2010, – С. 114-118.
2. Масаев, Ю. А. Исследование применяемых схем врубовых шпуров и разработка принципиально новой конструкции вруба / Ю.А. Масаев, Н.В. Мильбергер // Взрывная технология. Эмпирика и теория. Достижения. Перспективы. Материалы международной научно практической конференции. – Тула, 2011. – С. 99-105.
3. Масаев, Ю. А. Условия проведения горных выработок а напряженном породном массиве / Ю.А. Масаев // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2013 . – №1. – С. 24-27.
4. Пат. 122476. РФ, МПК F 42 D 1/08 (2006.1). Вруб для разрушения крепких пород / Масаев Ю.А.,



Копытов А.И., Масаев В.Ю., Лебедев А.А.; заявитель и патентообладатель Кузбасс. гос. техн. ун-т. – № 2012124493/03; заявл. 13.06.2012; опубл. 27.11.2012. Бюл. № 33.

5. Пат. 146195. РФ, МПК F 42 D 1/02 (2006.1). Комбинированный призматический вруб / Масаев Ю.А., Стафеев А. А.; заявитель и патентообладатель Кузбасс. гос. техн. ун-т. – № 2014109190/03; заявл. 11.03.2014; опубл. 10.10.2014. Бюл. № 28.

6. Копытов, А. И. Взрывные работы в горной промышленности: Монография / А.И Копытов, Ю.А. Масаев, В.В. Першин. – Новосибирск: Наука, 2013. – 511 с.

7. Масаев, Ю. А. Исследование закономерностей формирования импульса давления в зарядной полости / Ю.А. Масаев, В.В. Першин, Н.В. Мильбергер. – Екатеринбург: Известия вузов. Горный журнал, 2015, №1. – С. 93-101.

NEW DEVELOPMENTS IN THE AREA OF CAPITAL MINE OPENINGS HEADING THROUGH SHOCK-HAZARDOUS ROCKS

**Masaev Yu. A., Masaev V. Yu., Kuznetsova K. V.**

*Conditions of mine opening heading through strong shock-hazardous rocks are reviewed. New schemes of cut-ins are recommended which will provide the rock shock hazard reduction and will increase mine opening heading efficiency.*

**Key words:** MINE OPENING, EXPLOSIVE CHARGE, ROCK SHOCK, WATER FILLING, CUT-IN SCHEME, STRESSED CONDITION

*Масаев Юрий Алексеевич*

*e-mail: recess@bk.ru*

*Масаев Владислав Юрьевич*

*e-mail: recess@bk.ru*

*Кузнецова Ксения Владимировна*

*e-mail: kkseniov\_mail.ru*



# ИЗСТ-01

ИЗМЕРИТЕЛЬ ЗАПЫЛЕННОСТИ СТАЦИОНАРНЫЙ

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ УГЛЕДОБЫЧИ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ НАЗЕМНОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ МЕТОДОМ ОБЩЕЙ ГЛУБИННОЙ ТОЧКИ



**О.В. Тайлаков**

д-р техн. наук, профессор,  
проректор по научной работе и  
стратегическому развитию ФГБОУ  
ВПО «КузГТУ», зав. лабораторией  
Института угля СО РАН



**С.В. Соколов**

младший научный сотрудник  
Института угля СО РАН



**Д.Н. Застрелов**

канд. техн. наук, старший  
научный сотрудник Института  
угля СО РАН



**А.И. Смыслов**

младший научный сотрудник  
Института угля СО РАН



**А.С. Ярош**

канд. техн. наук, заместитель  
директора по научной работе АО  
«НИИГД»

Для повышения производительности горношахтного оборудования, а также безопасности и эффективности угледобычи существенное значение имеет развитие и применение современных геофизических методов, направленных на обеспечение достоверной оценки горно-геологических условий ведения горных работ. Одним из таких перспективных подходов является сейсморазведка с размещением регистрирующего оборудования на поверхности горного отвода. В статье рассмотрено применение метода сейсмоакустического профилирования на шахтных полях в Кузбассе. Описывается методика проведения работ, применяемое геофизическое оборудование и подходы к обработке полученных сейсморазведочных данных. Приводятся результаты сейсмопрофилирования, дана их интерпретация на примере одной из угольных шахт.

**Ключевые слова:** СЕЙСМОРАЗВЕДКА, ГЕОФИЗИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, МЕТОД ОБЩЕЙ ГЛУБИННОЙ ТОЧКИ, ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ НАРУШЕНИЕ, УГОЛЬНЫЙ ПЛАСТ, УГЛЕДОБЫЧА

В соответствии с вызванными поступлением метана Федеральным законом в разупрочненные зоны [3]. Для «О промышленной безопасности опасных объектов» [1] этого необходимо применять современные методы геофизических исследований, позволяющих оперативно уточнять параметры угольная шахта является опасным производственным объектом нарушения массива и оценивать подземного назначения. При смещение угольного пласта [4]. добыче угля подземным способом Оценка опасных проявлений в необходимо применять комплекс массиве предполагает использование мероприятий по обеспечению комплекса исследований физико-безопасного ведения горных работ механических параметров в условиях освоения новых глубоких пород, выполняемых из горных горизонтов. При этом существенным выработок угольных шахт. Однако образом ужесточаются требования применение шахтной геофизики к качеству и достоверности горно- имеет некоторые ограничения. Так, геологической информации, которая например, размещение приемника используется при планировании и источника сигнала невозможно в горных работ и принятии оконтуривающих горных выработках технологических решений. С учетом напротив друг друга, когда один из «Правил безопасности в угольных шахтах» [2] при ведении работ в стадии проходки, либо когда оба штрека пройдены, но области тектонических нарушений длина лавы значительно превышает предполагается применение глубины зондирования применяемого технологических операций, геофизического оборудования. В этих случаях целесообразно порядок и характер которых применять разведку массива с обусловлен изменениями структуры поверхности для уточнения условий и прочности массива, а также залегания угольного пласта на возможными газопроявлениями,

основе доразведки месторождений полезных ископаемых [5–7].

В рамках разработки комплекса мер по обеспечению безопасности процесса угледобычи на одной из шахт Кузбасса возникла необходимость оценки нарушенности участка планируемого выемочного столба. Для получения этой информации до начала подготовительных работ были выполнены полевые сейсмические исследования по методу общей глубинной точки (МОГТ) [8]. Определение геологических нарушений в углепородном массиве методом наземной сейсморазведки было обусловлено возможностью выделения отражений от угольных пластов, в цуге волн, характеризующих вмещающие породы ввиду различия их скоростных и плотностных характеристик [9]. Сейсморазведка выполнена в летний полевой сезон по двум параллельным профилям, размещенным сонаправленно конвейерному и вентиляционному штрекам.

В соответствии с целями выполняемого исследования были выбраны следующие параметры полевых сейсмических измерений. Интервал между пунктами приема и возбуждения колебаний – 5 м, кратность по ОГТ – 24, источник возбуждения – импульсный источник типа «сейсморужье», количество накоплений на каждом пункте возбуждения – 1. Регистрирующий комплекс был сформирован из двух отечественных сейсморазведочных станции Лакколит - ХМЗ

(рис. 1). В результате полевых исследований получен массив исходных геофизических данных с качеством, достаточным для оценки условий залегания пластов угля в массиве горных пород.

К исходным данным применен стандартный метод обработки, включающий набор полосовых фильтров, регулировку усиления и ввод кинематических поправок [10]. По результатам анализа на временных сейсмических разрезах выделена ось синфазности, которая на основе скоростного анализа и предварительно построенных теоретических сейсмограмм охарактеризована как горизонт залегания угольного пласта. На суммарных сейсмических разрезах по двум профилям также зарегистрирована область потери прослеживаемости отражений от угольного пласта, связанная с наличием дизъюнктивного нарушения. Во временном окне, включающем горизонт с залегающим угольным пластом, дополнительно выполнен анализ амплитудно-частотных характеристик сигнала. По первому и второму профилям зафиксирована симметрия волновых картин, что соответствует параллельному расположению исследовательских линий. На участках, прилегающих к зоне интерпретированной как геологическое нарушение, отмечено значительное визуально заметное снижение уровня амплитуд. По результатам анализа АЧХ выделена область влияния дизъюнктивного нарушения и уточнена конфигурация его сместите-

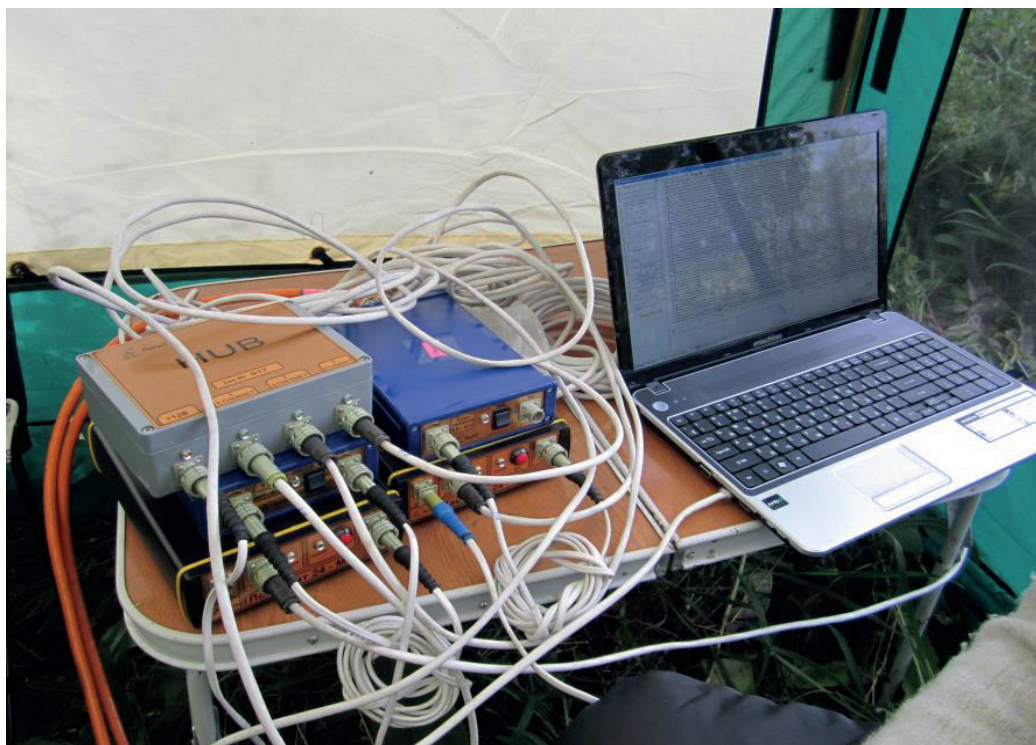


Рисунок 1 – Размещение комплекса геофизического оборудования в полевых условиях

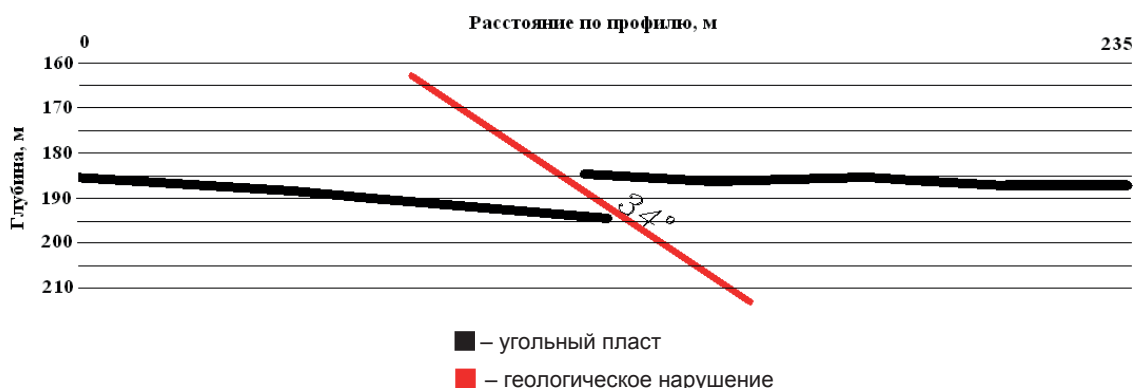


Рисунок 2 – Интерпретация результатов сейсморазведки по профилю 2

ля. После этого рассчитана амплитуда нарушения, которая составила 11 м (рис. 2).

На основе полученных результатов разработаны рекомендации, регламентирующие порядок ведения горных работ в области влияния дизъюнктивного нарушения, а также запланированы технические мероприятия, обеспечивающие безопасные условия проходки штреков. Впоследствии результаты исследования были подтверждены проходческими работами. Фактическая амплитуда нарушения, определенная

при проведении штрека по пласту, не превышала 14 м.

По итогам выполненных геофизических измерений подтверждена целесообразность применения наземной сейсморазведки для уточнения горно-геологических условий в сложных помехообразующих условиях действующего угледобывающего предприятия. При этом качество регистрируемых данных достаточно для разработки эффективных мероприятий, обеспечивающих безопасное ведение горных работ.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федеральный закон от 21.07.1997 N 116-ФЗ (ред. от 13.07.2015) «О промышленной безопасности опасных производственных объектов». – Режим доступа [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_15234/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_15234/).
2. Приказ Ростехнадзора от 19.11.2013 N 550 (ред. от 02.04.2015) «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах» (Зарегистрировано в Минюсте России 31.12.2013 N 30961). – Режим доступа [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_157929/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_157929/).
3. Полевщиков, Г. Я. Исследования газодинамики разрабатываемых угольных месторождений / Г. Я. Полевщиков // Горный информационно-аналитический бюллетень. -2013. – Отдельный выпуск. № 6. – С. 252–258.
4. Азаров, Н. Я. Сейсмоакустический метод прогноза горно-геологических условий эксплуатации угольных месторождений / Н. Я. Азаров, Д. В. Яковлев. – М.: Недра, 1988. – 199 с.
5. Базылев, А. П. Детальные исследования углеводородных объектов Западной Сибири по технологии совмещенных наземно-скважинных сейсмических наблюдений 2D(2D) + ВСП / А. П. Базылев, В. Г. Конюхов, О. М. Сагайдачная и др. // Технологии сейсморазведки. – 2005. – № 2. С. 86–89.
6. Карасевич, А. М. Сейсморазведка при изучении метанугольного разреза / А. М. Карасевич, Д. П. Земцова, А. А. Никитин. – М.: ООО «Центр информационных технологий в природопользовании», 2008 – 164 с.
7. Тиркель, М. Г. Особенности обработки данных наземной сейсморазведки тектонической нарушенности угольных пластов / М. Г. Тиркель, А. И. Компанец, Е. В. Сухина // Сб. тр. ИГТМ НАНУ. – Днепрпетровск, 2002. – № 35. – С. 96–101.
8. Авербух, А. Г. Изучение состава и свойств горных пород при сейсморазведке / А. Г. Авербух. – М.: Недра, 1982. – 232 с.
9. Анциферов, А. В. Моделирование процесса формирования и распространения сейсмоакустических волновых полей в угледобывающем массиве с учетом зон вероятного скопления метана / А. В. Анциферов, М. Г. Тиркель, А. А. Глухов, В. А. Анциферов // Геомеханические и геодинамические аспекты повышения добычи шахтного и угольного метана. – С.-Петербург ВНИМИ, 2007. – С. 231–239.

10. Тайлаков, О. В. Применение малоуглубинной сейсморазведки для уточнения условий залегания угольных пластов и локализации изменений их газоносности» / О. В. Тайлаков, В. И. Овчинников, С. В. Соколов // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр., ИГТМ НАН Украины. – 2010. – №17. – С. 22–26.

COAL MINING SAFETY PROVISION  
SURFACE SEISMIC PROSPECTING DATA BASED  
BY COMMON DEPTH POINT METHOD

**Tailakov O.V., Sokolov S.V., Zastrelov D.N., Smyslov A.I., Yarosh A.S.**

*To improve the performance of mining equipment as well as the safety and effectiveness of coal mining essential is the development and application of advanced geophysical methods aimed to ensure a reliable assessment of geological conditions of mining operations. One such promising approaches is the placement of seismic recording equipment on the surface of the mining lease. The article deals with the application of the method of seismic acoustic profiling on Kuzbass mine fields. Work fulfillment methods are described, and also the applied geophysical equipment and the obtained seismic prospecting data treatment approaches. The results of seismic profiling are given and their interpretation by the example of a coal mine.*

**Key words:** SEISMIC PROSPECTING, GEOPHYSICAL EQUIPMENT, METHOD OF A COMMON DEPTH POINT, GEOLOGICAL FAULT, COAL SEAM, COAL MINING

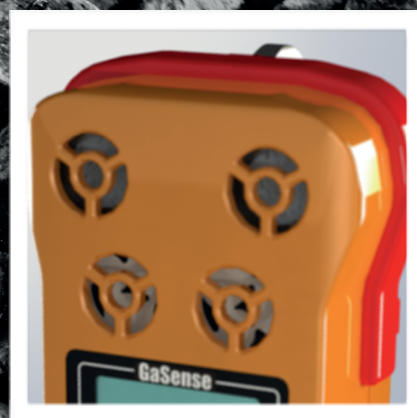
Тайлаков Олег Владимирович  
e-mail: tov@kuzstu.ru

Соколов Сергей Владиславович  
e-mail: sokolov@uglemetan.ru

Застрелов Денис Николаевич  
e-mail: zastrelov@uglemetan.ru

Смыслов Алексей Игоревич  
e-mail: smyslov@uglemetan.ru

Ярош Алексей Сергеевич  
e-mail: rosniigdbuh@mail.ru



# Gasense

ПОРТАТИВНЫЙ ГАЗОАНАЛИЗАТОР



**Б.Л. Герике**

д-р техн. наук, профессор,  
главный научный сотрудник  
лаборатории Института угля СО  
РАН, профессор кафедры ФГБОУ  
ВПО «КузГТУ»



**К.В. Никитин**

соискатель ФГБОУ ВПО  
«КузГТУ», заместитель  
генерального директора по  
сервису ООО «Сибирь-Сервис»



**В.Н. Артамошкин**

начальник экспертного отдела  
промышленной безопасности  
ООО «ОМЗ-Сибирь-Сервис»



**И.А. Стеблин**

ведущий инженер управления  
технического аудита ООО «ОМЗ-  
Сибирь-Сервис»

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

УДК 622.23.05

### ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ КАРЬЕРНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ НА ОСНОВЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПОЛЕЙ

*В статье рассмотрены вопросы профилактического обслуживания одноковшовых карьерных экскаваторов на основе диагностического обследования их технического состояния. Отказы электрооборудования экскаваторов достигают значительной величины, для выявления которых предложено проводить мониторинг технического состояния по параметрам тепловизионного контроля, который базируется на эффекте рассеивания мощности на активном сопротивлении элементов электрической цепи, что позволяет выявлять дефекты и повреждения на ранних стадиях развития и принимать соответствующие меры к их оперативному устранению. Приведены результаты мониторинга по оценке технического состояния электротехнического оборудования для различных типов карьерных экскаваторов.*

**Ключевые слова:** ОДНОКОВШОВЫЙ КАРЬЕРНЫЙ ЭКСКАВАТОР, ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, ТЕХНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ, ДИАГНОСТИКА, ТЕПЛОВОЙ КОНТРОЛЬ, ПРОФИЛАКТИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ

**В** настоящее время на многих предприятиях все большую актуальность приобретают вопросы повышения надежности работы оборудования. Особенно остро эта проблема стоит на предприятиях угольной промышленности, ведь внезапный отказ оборудования в этом случае может стать не только причиной нарушения производственного цикла, но и привести к человеческим жертвам [1, 2]. В этих условиях особую важность приобретает возможность контроля в процессе работы наиболее уязвимого оборудования с целью предотвращения внезапных отказов и своевременного вывода в ремонт агрегатов, находящихся в неудовлетворительном состоянии. Решение подобной проблемы возможно лишь при внедрении методов неразрушающего контроля, которые обеспечивают получение достоверной информации о состоянии оборудования без нарушения

производственного цикла [3].

Оборудование карьерных экскаваторов, эксплуатирующихся на угольных разрезах Кузбасса, в настоящее время на очень значительный процент выработало свой ресурс, часть его находится в недопустимом техническом состоянии [4]. Согласно действующему на территории Российской Федерации законодательству, все технические устройства, применяемые на опасном производственном объекте в процессе эксплуатации и выработавшие свой ресурс, в обязательном порядке подлежат процедуре экспертизы промышленной безопасности (ЭПБ). Неотъемлемой составляющей процедуры экспертизы является диагностирование технического состояния объекта с применением методов неразрушающего контроля [5]:

- визуально-измерительного контроля (ВИК), при помощи которого производит-

ся оценка состояния металлоконструкций (основного металла и сварных швов), конструктивных изменений объекта экспертизы;

- ультразвукового контроля (УЗК), используемого для выявления скрытых трещин (не нашедших выход на поверхность металла) и проведения толщинометрии;

- метода акустической эмиссии (АЭ), применяемого при дефектоскопии стрел шагающих экскаваторов;

- теплового контроля (ТК), служащего для выявления поврежденных участков электрических цепей, состояния контактов, замыкания обмоток и т.п.;
- вибродиагностики (ВД), позволяющей без длительного непроизводительного простоя техники определить фактическое техническое состояние узлов и агрегатов машины.

Дефекты оборудования карьерных экскаваторов разнообразны. Причины появления некоторых из них закладываются еще на стадии изготовления на заводе, другие проявляются после неквалифицированного монтажа, третья группа дефектов – эксплуатационные, проявляющие себя уже в процессе работы оборудования [6]. Структура аварийных отказов карьерных экскаваторов представлена на

рисунке 1, из анализа которой следует, что на долю отказов электротехнического оборудования одноковшовых экскаваторов приходится около 46% общего числа отказов.

Около трети общего времени простоев карьерных экскаваторов связано с восстановлением их работоспособного состояния, причем на долю плановых ремонтов приходится около 82% затрат времен или примерно 10% календарного фонда времени, а на долю аварийных простоев – около 18% или примерно 2% календарного фонда времени (рис. 2).

Анализ unplanned простоев карьерных экскаваторов показал [7], что на простои из-за аварийных отказов по причине выхода из строя электрооборудования приходится до 11% продолжительности простоев, что, в пересчете на простои, связанные с отказом собственно экскаваторов, составляет около 25% (рис.3).

В настоящее время при проведении ремонтов руководствуются «Положением о ППР оборудования открытых горных работ УК «Кузбассразрезуголь» [8], основанном на «Положении о планово-предупредительных ремонтах оборудования открытых горных работ на предприятиях угольной промышленности СССР» [9], в котором приводятся нормативы перио-

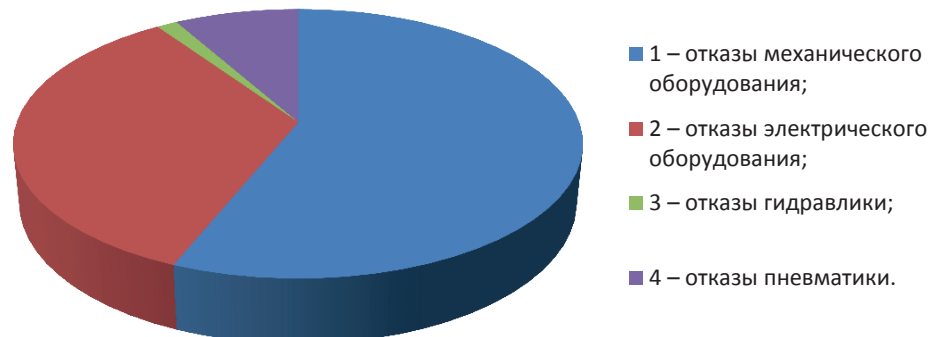


Рисунок 1 - Структура аварийных отказов карьерных экскаваторов в ОАО ХК «Кузбассразрезуголь»

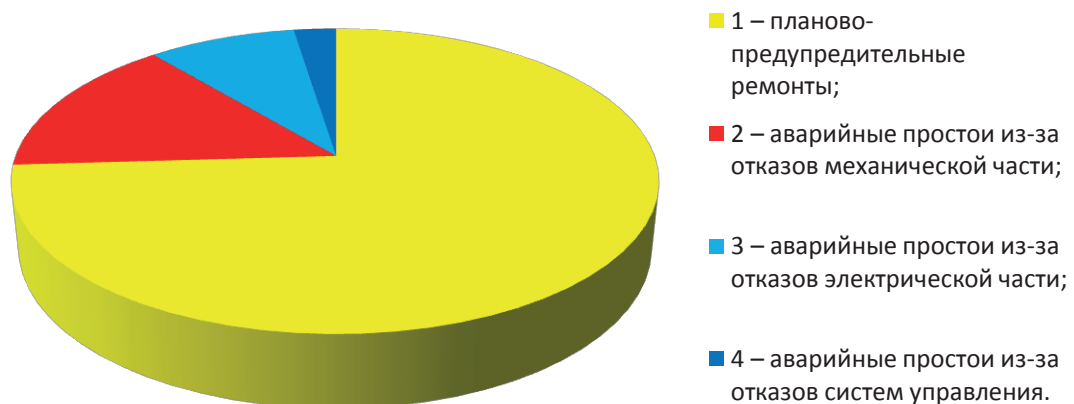


Рисунок 2 - Структура затрат времени на восстановление работоспособности карьерных экскаваторов

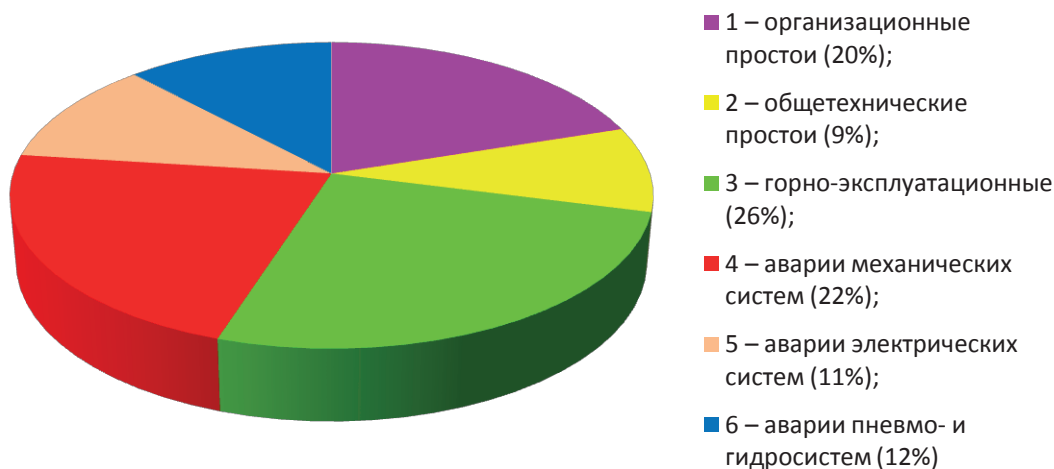


Рисунок 3 – Непланные простои карьерных экскаваторов

дичности техобслуживания и ремонта карьерного оборудования. Однако объемы ППР, как правило, регулярно не выполняются (90-92% от плана), что и приводит к аварийным отказам.

Одним из эффективных способов предупреждения отказов электротехнического оборудования является функциональная диагностика на основе ТК, которая базируется на эффекте рассеивания мощности на активном сопротивлении элементов электрической цепи, что позволяет выявлять дефекты и повреждения на ранних стадиях развития и принимать соответствующие меры оперативного устранения. Температура нагреваемых элементов зависит от величины протекающего тока, времени работы, физических и геометрических параметров конструкций электрооборудования, наличия дефектов и повреждений и т.п.

Данный способ диагностирования позволяет выявить такие дефекты, как ослабление контактных соединений, залипание щеток на щеточно-коллекторном аппарате машин постоянного тока, витковые замыкания двигателей и другие.

Применение теплового метода для диагностики технического состояния электрооборудования обеспечивает:

- высокую производительность при практически любой величине разрешения вследствие дистанционности контроля и применения современных средств тепловизионной техники;
- возможность контроля теплового состояния электрооборудования без снятия напряжения, то есть в рабочем режиме, за счет использования процесса измерений без контакта с токоведущими частями;
- выявление дефектов и повреждений на ранних стадиях их появления;
- прогнозирование процессов об-

разования дефектов и их развития;

- высокую информативность, в том числе обработки данных, которая способствуют сокращению затрат на техническое обслуживание.

Оценка критериев технического состояния электротехнического оборудования определяется по превышению температуры относительно нормального состояния [10]:

$-T=(5-10)^{\circ}C$  свидетельствует о начальной стадии неисправности;

$-T=(10-30)^{\circ}C$  говорит о развивающемся дефекте, который следует устранить при ближайшем ремонте;

$-T>30^{\circ}C$ , сигнализирует об аварийной ситуации.

Компанией ООО «Сибирь-Сервис» начиная с 2008 г. проводится мониторинг технического состояния электрооборудования экскаваторного парка ООО «Разрез Камышанский», принадлежащего ОАО «СУЭК-Кузбасс». В качестве примера использованы фотографии электрооборудования и его теплового поля при наличии дефектов, полученные с помощью тепловизора Thermo View Ti30 (рис.4,5).

На рисунке 4 показан главный автоматический выключатель экскаватора ЭШ 10/70. Перегрев одного из подводящих проводов и контактных болтов отходящих проводов говорит о плохом контактом соединении. Данный дефект легко обнаруживается методами ТК и достаточно просто устраняется, однако дальнейшая эксплуатация с подобным дефектом может привести к аварийной остановке экскаватора.

На рисунке 5 показан тепловое поле клеммной коробки экскаватора ЭКГ-10, по распределению которого можно сделать заключение о возможном отказе системы управления экскаватора.

Результаты мониторинга техни-



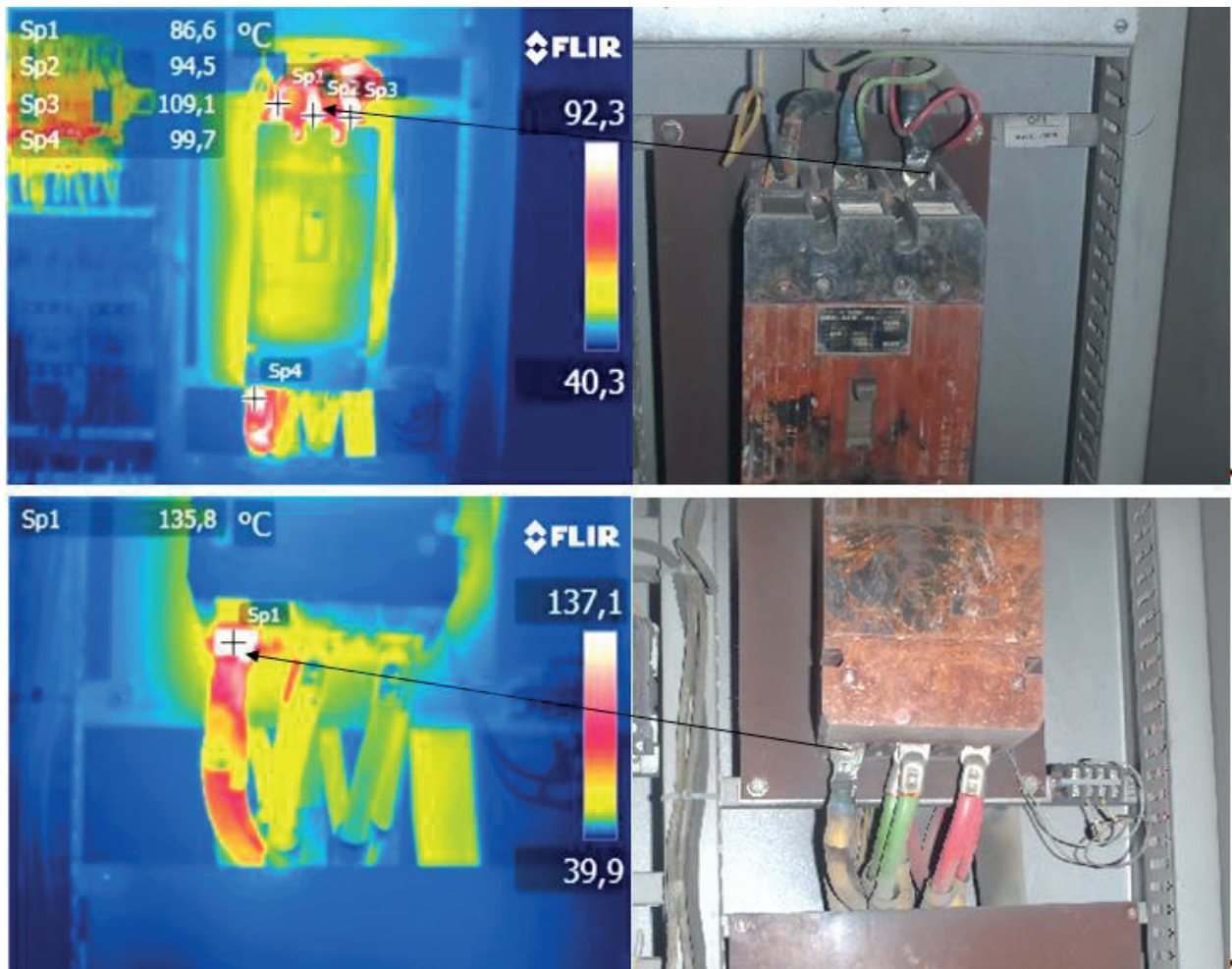


Рисунок 4 - Тепловое поле и общий вид главного автоматического выключателя экскаватора ЭШ10/70

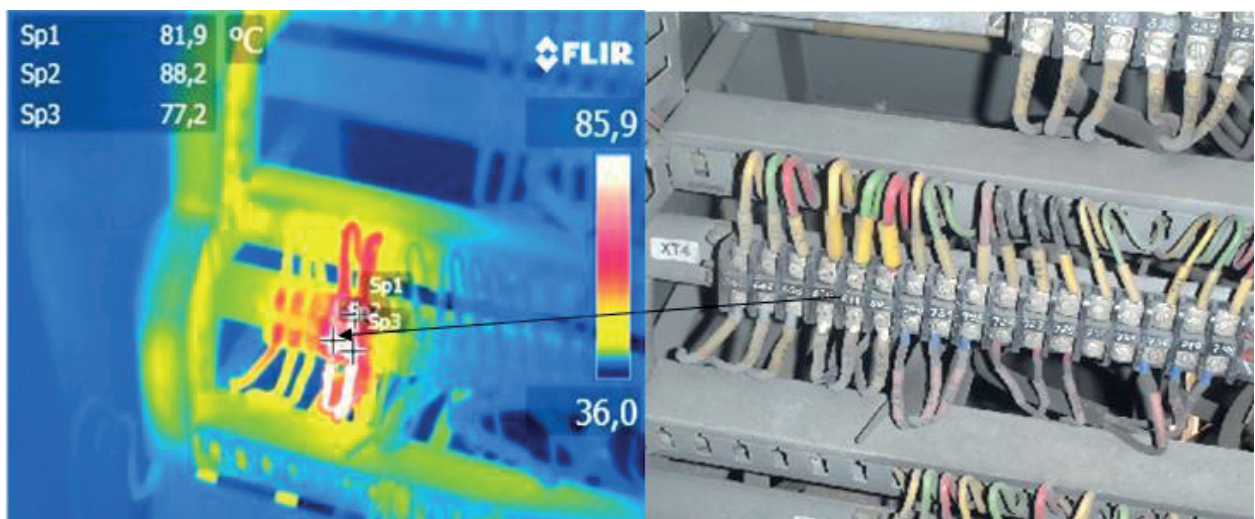


Рисунок 5 - Тепловое поле и общий вид клеммной коробки экскаватора ЭКГ-10

ческого состояния электрооборудования экскаваторного парка ООО «Разрез Камышанский» показали следующее:

- 40% дефектов приходится на болтовые соединения;
- 38% – на контакты коммутационных аппаратов;

- 22% – на щеточно-коллекторный аппарат;
- 10% – прочие дефекты.

Таким образом, внедрение ТК, как показывает опыт внедрения системы мониторинга на ООО «Разрез Камышанский», позволяет предупредить аварийные

ситуации, обусловленные выходом из строя электротехнического оборудования одноковшовых экскаваторов, при этом отмечается снижение потерь около 1%

рабочего времени, вызванных как неплановыми простоями, так и необходимостью ремонта или замены вышедших из строя узлов.

#### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Клишин, В. И. Научное обеспечение инновационного развития угольной отрасли / В. И. Клишин, М. В. Писаренко // Уголь. – 2014. – № 9. – С. 42–46.
2. Гаммершмидт, А. А. Состояние и перспективы развития угольной промышленности Кузбасса / А. А. Гаммершмидт // Уголь. – 2015. – № 5. – С. 14–15.
3. Герцбах, И. Теория надежности с приложениями к профилактическому обслуживанию: Монография / Под ред. В. В. Рыкова; пер. с англ. М. Г. Сухарева. – М.: ГУП Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2003.
4. Kovalev, V. Preventive Maintenance of Mining Equipment Based on Identification of Its Actual Technical State / V. Kovalev, B. Gerike, A. Khoreshok, P. Gerike. – Taishan Academic Forum – Project on Mine Disaster Prevention and Control. – October, 17-20 Qingdao, China. – Atlantis Press. Amsterdam, Paris, Beijing. – 2014. – P. 184-189.
5. Герике, Б. Л. Стратегия профилактического обслуживания горных машин на основе распознавания их фактического технического состояния / Б. Л. Герике, И. Л. Абрамов, П. Б. Герике // Известия ВУЗов. Горный журнал. – 2008. – № 7. – С. 70–80.
6. Герике, Б. Л. Диагностика горных машин и оборудования: учеб. пособие / Б. Л. Герике, П. Б. Герике и др.. – М.: ИПО «У Никитских ворот», 2012. – 400 с.
7. Дрыгин, С. Ю. Разработка стационарного диагностического комплекса для одноковшовых карьерных экскаваторов - автореф. дис. ... канд. техн. наук / С. Ю. Дрыгин. – Кемерово, КузГТУ, 2012. – 18 с.
8. Положение о планово-предупредительных ремонтах оборудования открытых горных работ УК «Кузбассразрезуголь», Кемерово, 2004. – 26 с.
9. Положение о планово-предупредительных ремонтах оборудования открытых горных работ на предприятиях угольной промышленности СССР. – Челябинск, 1990 – 56 с.
10. Герике, Б. Л. Методические указания по проведению экспертизы промышленной безопасности одноковшовых экскаваторов для предприятий Кузбасса / Б. Л. Герике, Р. П. Журавлев [и др.]. – Кемерово: изд-во ГУ КузГТУ, Кемерово, 2008. – 121 с.

#### **OPEN PIT EXCAVATOR ELECTRICAL EQUIPMENT DIAGNOSTICS BASED ON HEAT FIELDS STUDY**

Gherike B. L., Nikitin K. V., Artamoshkin V. N., Steblin I. A.

In the article questions of single bucket open pit excavators preventative service are reviewed basing on their technical condition diagnostics. Excavator electrical equipment failures happen quite often and in order to find them it is suggested to do technical condition monitoring of thermal imaging control parameters which is based on power dispersion effect at the active resistance of electrical circuits which allows to detect the defects and failures at early stages of their development and to take necessary measures for their operational elimination. Monitoring results are shown evaluating electrical equipment technical condition for different types of open pit excavators.

Key words: SINGLE BUCKET OPEN PIT EXCAVATOR, ELECTRICAL EQUIPMENT, TECHNICAL CONDITION, DIAGNOSTICS, THERMAL CONTROL, PREVENTATIVE SERVICE

*Герике Борис Людвигович*  
e-mail: gbl\_42@mail.ru

*Никитин Константин Викторович*  
e-mail: nikitin\_konstant@mail.ru

*Артамошкин Василий Николаевич*  
e-mail: artamoshkinv@mail.ru

*Стеблин Игорь Алексеевич*  
e-mail: sia03@mail.ru

# 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](http://indsafe.ru)

а так же оказывает услуги следующих направлений:

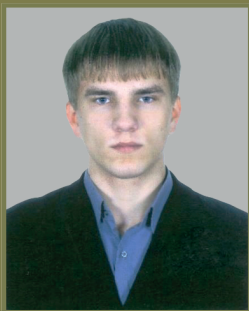
- ▶ разработка систем измерения климатических параметров рудничной атмосферы (температуры; влажности; скорости и направления ветра; давления);
- ▶ разработка программного обеспечения для встраиваемых систем;
- ▶ разработка приборов по индивидуальным заказам, в т.ч. по схеме по-наме;
- ▶ организация проведения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

Горный-ЦОТ является резидентом Кузбасского Технопарка.

## ЧИСЛЕННО-АНАЛИТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕЖИМНОЙ ТОЧКИ (Q, P) ГИБКОГО ВЕНТИЛЯЦИОННОГО ТРУБОПРОВОДА



**С.П. Казаков**  
д-р техн. наук, профессор,  
профессор кафедры ФГБОУ ВПО  
«КемГУ»



**Б.А. Грищенко**  
аспирант ФГБОУ ВПО «КемГУ»



**К.Х. Ли**  
инженер АО «НЦ ВостНИИ»

Использование уравнения движения воздуха, сравнение численных и аналитического решений позволяет найти общую аппроксимацию их зависимости от безразмерных параметров и аналитически определить расход и потери давления воздуха в трубопроводе, то есть определить режимную точку (Q,P) трубопровода для последующей идентификации его параметров и расчета установки ВМП.

**Ключевые слова:** УРАВНЕНИЕ, ДВИЖЕНИЕ ВОЗДУХА, ТРУБОПРОВОД, УТЕЧКИ, ПАДЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ, БЕЗРАЗМЕРНЫЕ ПАРАМЕТРЫ, АППРОКСИМАЦИЯ

Согласно нашим исследованиям [1], уравнение движения воздуха по гибкому трубопроводу в безразмерном виде представляется следующим образом:

$$\left(\frac{dy}{dt}\right)^3 = \frac{3}{4}\beta \frac{y^2}{(1+\alpha y^2)^5} \quad (1)$$

Начальное условие для его решения:  $y(0)=1$ .

Здесь  $y=Q/Q_0$  коэффициент утечек воздуха,  $t=x/L$  – относительная длина выработки.

В уравнение (1) входят два безразмерных параметра  $\alpha$  и  $\beta$ :

$$\alpha = \left[ (2-\nu) \frac{d_0 r_0 Q_0^2 L}{E \delta} \right], \quad \beta = \frac{r_0 L^3}{\pi d_0 l_{36} r_{cm}} \quad (2)$$

Здесь

- $d$  – начальный диаметр труб, м;
- $E^0$  – модуль Юнга, кг/м<sup>2</sup>;
- $\nu$  – коэффициент Пуассона трубного материала;
- $\delta$  – толщина стенок труб, м;
- $r_0$  – аэродинамическое сопротивление 1м труб диаметром  $d_0$ , кг·с<sup>2</sup>/м<sup>8</sup>;
- $Q_0$  – расход воздуха в забое, м<sup>3</sup>/с;
- $r_{cm}$  – коэффициент, характеризующий сопротивление путей утечек воздуха в трубопроводе, приведенный к единице площади поверхности труб, кг·с<sup>2</sup>/м<sup>8</sup>;
- $l_{36}$  – длина звена трубопровода, м;
- $L$  – длина трубопровода, м.

Параметр  $\alpha$  определяет закономерности продольного

движения воздуха с учетом деформируемости тела трубопровода, второй параметр характеризует соотношение утечек и расхода воздуха в трубе в зависимости от ее длины.

Рекуррентная схема для численного решения уравнения (1) выглядит следующим образом:

$$y_{i+1} = y_i + \left( 0,75\beta \frac{y_i^2}{(1+\alpha y_i^2)^5} \right)^{1/3} \cdot \Delta t, \quad i = 0 \div n, \Delta t = 1/n, y_0 = 1. \quad (3)$$

Полученные значения  $y(L) = K_{ym}$  – коэффициенты утечек воздуха в трубопроводе длиной  $L$  м, приведены в таблице 1.

При  $\alpha \ll 0.2$ , например  $\alpha = 0$ , уравнение (1) упрощается и допускает аналитическое решение, которое имеет вид

$$K_{ym0}(L) = \left[ 1 + 0,33\sqrt[3]{\beta} \right]^3 \quad (4)$$

Оно совпадает с верхней строкой таблицы. Анализ остальных решений (табл. 1) показывает, что они будут описываться аналитически, если в формулу (3) ввести множитель  $K(\alpha)$ . Вид коэффициента можно получить из таблицы 1, разделив ее значения на результаты, получаемые по формуле (3) (табл. 2) и проведя корреляционную обработку полученных данных [2] (рис. 1).

Таким образом, получаем общую аппроксимационную формулу для расчета коэффициента утечек воздуха в трубопроводе:

Таблица 1 – Численные решения уравнения утечек воздуха (1)

$\alpha / \beta$	0	0,1	0,2	0,5	1	1,5
0	1	1,48	1,625	1,897	2,191	2,415
0,01	1	1,467	1,606	1,862	2,135	2,338
0,05	1	1,422	1,541	1,753	1,968	2,122
0,1	1	1,377	1,479	1,656	1,83	1,951
0,15	1	1,341	1,431	1,584	1,732	1,833
0,2	1	1,312	1,392	1,527	1,657	1,745

Таблица 2 – Значения параметров  $K(\alpha)$

$\alpha / \beta$	0,1	0,2	0,5	1	1,5
0,01	0,991	0,988	0,982	0,974	0,968
0,05	0,961	0,948	0,924	0,898	0,879
0,1	0,930	0,910	0,873	0,835	0,808
0,15	0,906	0,881	0,835	0,791	0,759
0,2	0,886	0,857	0,805	0,756	0,723

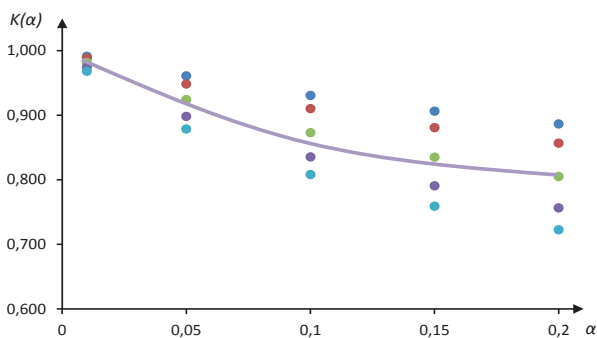


Рисунок 1 – Корреляционная обработка и построение сомножителя  $K(\alpha)$

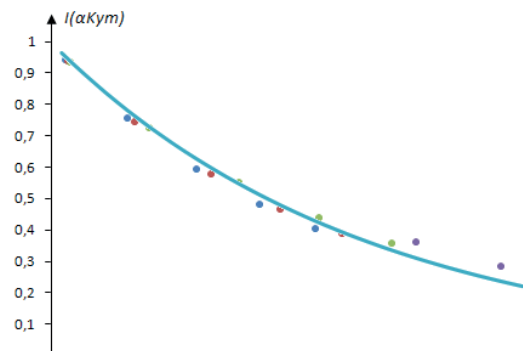


Рисунок 2 – Зависимость интеграла от параметров  $\alpha$  и  $K_{ym}$

$$y(1) = K_{ym}(L) = [1 + 0,3\sqrt[3]{\beta}]^3 e^{-\alpha} \quad (5)$$

Определим теперь падение давления воздуха в трубопроводе длиной  $L$  м. Дифференцируя уравнение Бернулли для условной трубки тока [3], получаем

$$\frac{dp}{dx} = \frac{r_0 Q_0^2 y(x)}{(1 + \alpha y(x))^5} \quad (6)$$

Отсюда после некоторых преобразований и выкладок получаем:

$$p_{mp}(L) = r_0 Q_0^2 L K_{ym}^{1,25} \int_0^1 \frac{dt}{(1 + \alpha K_{ym}(t))^5} \quad (7)$$

где  $K_{ym}(t) = [1 + 0,3\sqrt[3]{\beta}]^3 e^{-\alpha t}$

На рисунке 2 приведена зависимость интеграла, входящего в формулу (7), от

параметра  $\alpha K_{ym}$ . Она хорошо аппроксимируется функцией:

$$I = e^{-3,5 \cdot \alpha K_{ym}}$$

Отсюда получаем

$$p(L) = r_0 Q_0^2 L K_{ym}^{1,25} e^{-3,5 \cdot \alpha K_{ym}} \quad (8)$$

Таким образом, режимной точкой трубопровода является точка с координатами:

$$(Q_0 K_{ym}, r_0 Q_0^2 L K_{ym}^{1,25} e^{-3,5 \alpha K_{ym}})$$

Ее параметры позволяют выбрать вентилятор местного проветривания для надежной вентиляции подготовительной выработки и идентифицировать аэромеханические параметры трубопровода.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Казаков, С. П. Проветривание подготовительных выработок угольных шахт Кузбасса / С. П. Казаков, А. М. Ермолаев, С. А. Прокопенко. – Томск: Изд-во ТПУ, 2013. – 211 с.
2. Казаков, С. П. Теория вероятностей, случайные процессы и математическая статистика: учеб-

ное пособие / С. П. Казаков. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – 108 с.

3. Казаков, С. П. Об учете потерь энергии при движении воздуха по трубопроводу с проницаемыми стенками / С. П. Казаков, В. С. Черкасов // ФТПРПИ. – 1980. – № 1. – С. 65–67.

NUMERICALLY-ANALYTICAL TASK  
SOLUTION OF FLEXIBLE VENTILATION PIPE  
REGIME POINT (Q, P) DEFINITION

**Kazakov S. P., Gritsenko B. A., Li K. H.**

*Air motion equation use, comparison of numerical and analytical solutions allows to find common approximation of their dependence of dimensionless parameters and to determine analytically air consumption and air pressure losses in the pipeline, what means to define the regime point (QP) for the pipeline for future identification of it's parameters and calculation of VMP installation.*

**Key words:** EQATION, AIR MOTION, PIPELINE, LEAKAGES, PRESSURE DROP, DIMENSIONLESS PARAMETERS, APPROXIMATION

*Казаков Сергей Павлович  
e-mail: serg.kzkv@gmail.com*

*Гриценко Борис Александрович  
e-mail: bgnkfi@gmail.com*

*Ли Константин Хиунович  
e-mail: chiterzzz@mail.*

# Горный- ЦОТ

Более 10 лет мы разрабатываем  
и производим приборы контроля  
параметров безопасности

INDSAFE.RU

УДК 622.522

## ОБОСНОВАНИЕ ВРЕМЕНИ ДОСТУПА ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ВГСЧ К МЕСТУ АВАРИИ ПРИ УЧЕТЕ АЭРОТЕРМОГАЗОДИНАМИКИ ВЫРАБОТОК ПОСЛЕ ПОЖАРА

Приведены уравнения распространения ядовитых газов по выработкам аварийного участка после пожара. Рассмотрены асимптотические решения. Предложен алгоритм определения времени безопасного доступа подразделений ВГСЧ к месту аварии.

Ключевые слова: ПОЖАР, МОНИТОРИНГ АТМОСФЕРЫ, УРАВНЕНИЕ МАССОПЕРЕНОСА, РЕШЕНИЕ, ВРЕМЯ ДОСТУПА К МЕСТУ АВАРИИ

В работе [1] предложено расширить функции системы мониторинга атмосферы локальных объектов (СМАЛО) и использовать результаты измерений для оценки подвижности температурных и газовых полей в рудничной атмосфере аварийных участков, что даст возможность определения времени и места безопасного доступа подразделений ВГСЧ на аварийных объект.

В работе [2] соответствующая задача решена для ситуации, возникающей после внезапного выброса угля и газа. Рассмотрим еще одну из основных аварии: пожар в очистной выработке, при котором происходит тепломассоперенос и выделение ядовитых газов в атмосферу выработки. Задачей СМАЛО является оценка тепловой и газовой ситуации для дальнейшего определения действий подразделений ВГСЧ.

Предложим математические модели задач конвективно – диффузионного переноса ядовитых газов и тепломассопереноса в потоке. Уравнение одномерного конвективно – диффузионного переноса рудничного воздуха с примесью ядовитых газов при источнике убывающей интенсивности, согласно [3] имеет вид:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \quad (1)$$

с краевым условием  $c(0, t) = c_0 e^{pt}$  и начальным  $c(x, 0) = 0$ .

Здесь  $D$  – коэффициент турбулентной диффузии примеси,  $m^2/c$ ;  $u$  – скорость потока воздуха в выра-

ботке,  $m/c$ ;  $p$  – коэффициент затухания пожара,  $1/c$ .

Данное уравнение является дифференциальным уравнением параболического типа с частными производными. Решение его имеет достаточно сложный вид и не используется в дальнейшем, в связи с чем здесь не приводится.

Асимптотически, при значительных значениях  $L$  – длины выработки и  $t$  – температуры, (что характерно для места расположения датчиков СМАЛО), решение уравнения (1) на этом участке имеет вид [4]

$$C(t) = C_{\max} e^{-\left(p + \frac{u}{D}\right)t} = C_{\max} e^{-\alpha t}, \quad (2)$$

где  $C_{\max}$  – максимальная концентрация ядовитых газов в месте расположения датчиков СМАЛО при первом замере.

Обозначим  $p + u/D$  через  $\alpha$  и проведем несколько измерений  $c(t)$  через интервал времени  $\Delta t$ , тогда среднее значение  $\alpha$  рассчитывается по формуле:

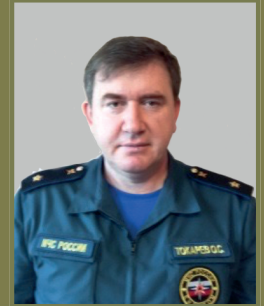
$$\alpha = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\ln \frac{C_{\max}}{C_i}}{t_i} \quad (3)$$

где  $n$  – число измерений.

Пересечение построенной кривой с линией  $c = c_0$  – допустимой концентрацией ядовитых газов дает значение  $T_{\text{доств}}$  – времени доступа подразделений ВГСЧ к месту аварии через разгазируемую выработку по фактору скопления ядовитых газов (рис.1).



**С.П. Казаков**  
д-р техн. наук, профессор,  
профессор кафедры ФГБОУ ВПО  
«КемГУ»



**О.С. Токарев**  
заместитель начальника  
по оперативной работе  
ФГКУ «Национальный  
горноспасательный центр»

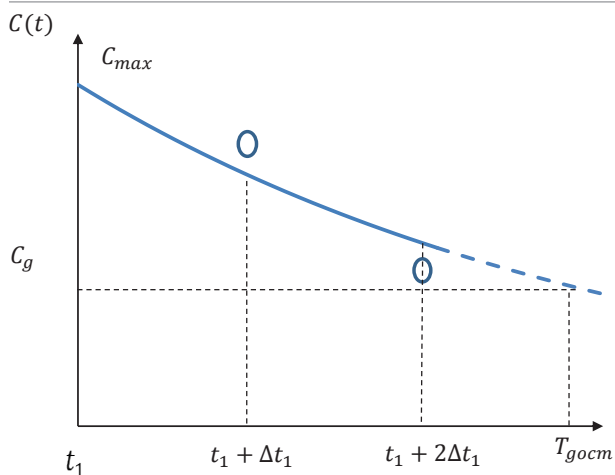


Рисунок 1 - Обработка результатов измерений  $c(t)$  через интервал  $\Delta t_t$

Рассмотрим тепломассоперенос в выработках. После пожара в очистной выработке в призабойном пространстве возникает очаг длительной постоянной температуры или с убывающей интенсивностью. Температура за счет тепломассопереноса распространяется по выработкам со скоростью  $u$  (м/с). На стенках выработок, по которым проходит движение нагретого воздуха, происходит теплообмен (поглощение тепла потока поверхностью выработки). В результате к месту расположения датчиков СМАЛО приходит воздух меньшей температуры, чем в источнике пожара.

Процесс тепломассопереноса в выработке описывается уравнением, аналогичным уравнению (1) со следующими изменениями:

- концентрация  $c$  замещается на энтальпию  $\rho T$ ;
- в уравнение добавляется линейный член, определяющий теплообмен с поверхностью выработки;
- учитываются уравнения состояния (связь плотности воздуха с температурой) [5].

Поскольку существенно важно поведение температуры в месте расположения датчиков СМАЛО, то есть при значительных повышениях  $t$  решение уравнения асимптотически аппроксимируем зависимость  $T(t)$  функцией, аналогичной (2), с заменой показателя степени на  $\beta$ .

Получим:

$$T(t) = T_{max} e^{-\beta t}. \quad (4)$$

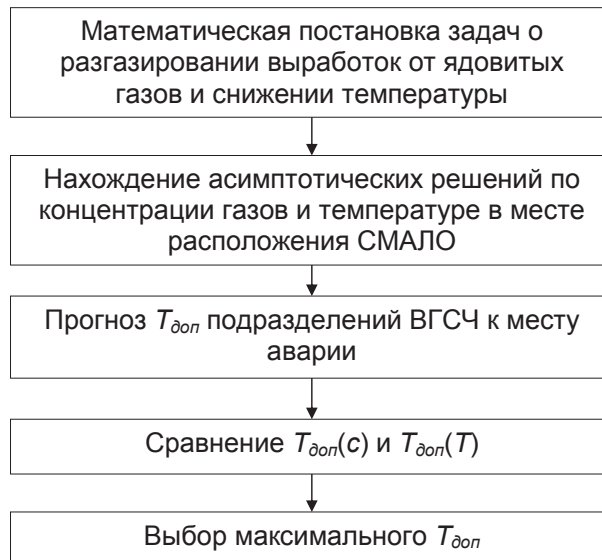


Рисунок 2. Алгоритм выбора времени безопасного доступа подразделений ВГСЧ к месту аварии

Коэффициент  $\beta$  рассчитывается по формуле, подобной (3). Значение  $T_{доп}$  по тепловому фактору определяется аналогично соответствующему значению для газового фактора.

Далее приведен общий алгоритм выбора времени безопасного доступа подразделений ВГСЧ к месту аварии (рис.2).

Логика первых двух блоков следует из текста и алгоритма. В последних двух блоках, на основе оценки наиболее опасных ситуаций, выбирается максимальное время безопасного доступа подразделений ВГСЧ к месту аварии по факторам содержания ядовитых газов или температуры воздуха в выработке.

Для этого используется формула:

$$T_{доп} = \max \left[ \frac{1}{\alpha} \ln \frac{C_{max}}{C_0}; \frac{1}{\beta} \ln \frac{T_{max}}{T_0} \right],$$

где параметры  $\alpha$  и  $\beta$  определяются по формулам (3) и (4); индекс  $\delta$  обозначает допустимые значения соответствующих параметров.

Таким образом, время безопасного доступа подразделений ВГСЧ к месту аварии определяется по интенсивности разгазирования и тепломассопереноса выработки.



### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Казаков, С.П. Расширение функций СМАЛО для обоснования времени безопасного доступа подразделений ВГСЧ к месту аварии / С.П.Казаков, О.С.Токарев // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности Кемерово. – 2015. – №3. – С. 42 – 44.
2. Казаков, С.П. Контроль разгазирования аварийных объектов с помощью системы мониторинга после внезапных выбросов угля и газа/ С.П.Казаков, О.С.Токарев // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности Кемерово. – 2015. – №3. – С. 52 – 54.
3. Казаков, С.П. Проветривание подготовительных выработок угольных шахт Кузбасса / С. П. Казаков, А. М. Ермолаев, С. А. Прокопенко; Нац. исслед. Том. политехн. ун-т, Юргин. технол. ин-т. - Томск : Изд-во Том. политехн. ун-та, 2013. - 210 с
4. Франк, Ф. Дифференциальные и интегральные уравнения математической физики. Часть вторая / Ф. Франк, Р. Мизес. - М.: Главная редакция общетехнической литературы, 1937. – 998с.
5. Абрамов, Ф.И. Рудничная аэрогазодинамика / Ф.И. Абрамов. - М.: Недра, 1972. – 272с.

SUBSTANTIATION OF MINE RESCUE DETACHMENTS ACCESS TIME TO THE ACCIDENT SPOT WITH CONSIDERATION OF AIR THERMAL GAS DYNAMICS OF THE MINE OPENINGS AFTER FIRE

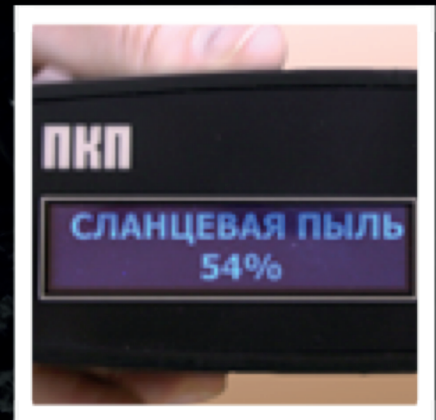
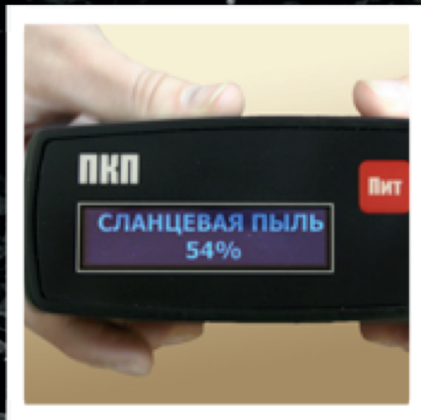
Kazakov S. P., Tokarev O. S.

Equations of toxic gases spreading in the accidental mine openings after the fire are given. Asymptotic decisions are reviewed. Algorithm of mine rescue detachment safe access time estimation to the accident spot is suggested.

Key words: FIRE, MINE AIR MONITORING, MASS TRANSFER EQUATION, DECISION, ACCIDENT SPOT ACCESS TIME

*Казаков Сергей Павлович  
e-mail: bgnkfi@gmail.com*

*Токарев Олег Сергеевич  
e-mail: zentr-oper@mail.ru*



**ПКП**  
**ПРИБОР КОНТРОЛЯ ПЫЛЕВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК**



**Ю.А. Степанов**  
канд. техн. наук, доцент НФИ  
ФГБОУ ВПО «КемГУ»

## ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ УГОЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

*Описана структура специализированной геоинформационной системы на основе компьютерного моделирования динамики состояния углепородного массива при ведении очистных работ, позволяющая выявлять потенциально опасные участки для прогнозирования и предотвращения чрезвычайных ситуаций.*

*Ключевые слова: УГЛЕПОРОДНЫЙ МАССИВ, МОДЕЛИРОВАНИЕ, ГЕОДИНАМИКА, ГЕОИНФОРМАТИКА, БЕЗОПАСНОСТЬ, ГИС, ГЕОМОДЕЛЬ, КАРТОГРАФИРОВАНИЕ*

**В** настоящее время земное пространство широко осваивается почти без каких-либо ограничений и нормированных нагрузок. Интенсивная эксплуатация земного пространства техногенной деятельностью человека приводит к активизации тектонических процессов в земных недрах, что в свою очередь ведет к непредвиденным авариям и катастрофам при их освоении. На сегодняшний день разработаны новые подходы к созданию многофункциональных систем безопасности на угольных предприятиях [1].

Основные направления обеспечения безопасных условий работы механизированных комплексов на мощных пластах – это предупреждение неуправляемого обрушения угля в забое и ликвидация последствий отжима, приводящего к обрушению кровли в этих зонах. Выбор способов и параметров управления кровлей, в частности типов и характеристик крепей, а также конструктивных элементов систем разработки угольных пластов, осуществляется в зависимости от различных геологических, технических и экономических факторов. В связи с этим возникает необходимость в проведении комплекса мероприятий по предупреждению развития опасных событий с контролем выполненных профилактических мероприятий [2, 3].

Современные угольные шахты используют высокоинтенсивные технологии выемки угля. Эффек-

тивность их внедрения напрямую связана с проблемой обеспечения стабильной и безопасной высокопроизводительной работы комплексно-механизированных забоев, которая может быть решена на основе компьютерного моделирования и прогнозирования динамики состояния углепородного массива при ведении очистных работ [4].

Компьютерное моделирование геомеханических ситуаций, с учетом положения секции механизированной крепи по длине выемочного столба, возможно на основе исследования динамических процессов разрушения горных пород в целях получения новых знаний о закономерностях возникновения повышенного горного давления для предотвращения аварийных и чрезвычайных ситуаций в очистных забоях угольных шахт. Задача прогноза динамического обрушения массива горных пород при ведении очистных работ до сих пор остается актуальной, т.к. она должна быть описана комплексом моделей различной физической природы и аналитическими методами не может быть решена. Поэтому для решения задач данного класса разумно применять информационные модели и технологии с использованием геоинформационных систем для последующего качественного управления технологическими процессами и предотвращения чрезвычайных ситуаций в очистных забоях угольных предприятий.

В этом случае геоинформа-

ционные технологии являются эффективным инструментом для создания системы прогнозирования возникающих зон повышенного горного давления при отработке угольных пластов. В связи с этим возникает необходимость в разработке структуры, методов и алгоритмов, входящих в состав информационных систем, для прогнозирования опасных зон повышенного давления с использованием ГИС-технологий.

Анализ существующих информационных систем горной отрасли показал, что их проблемная ориентация определяется номенклатурой решаемых задач, таких как: анализ, оценка, мониторинг, управление и планирование, поддержка принятия решений и т.п. Предлагаемые системы программного обеспечения для добывающих отраслей промышленности ориентированы в основном на оценку запасов и отдельных этапов проектирования и планирования горных работ, задачи же такого рода, как геомеханика недр, проектирование систем вентиляции, крепления, электроснабжения и водоотлива для подземного рудника (шахты) практически не обеспечены эффективным программным обеспечением. Что же касается прогнозирования динамики обрушения горных пород при ведении очистных работ и выбора оптимальных вариантов выемки угля, то эти задачи остаются еще нерешенными.

Геоинформационная система, ориентированная на обеспечение техногенной безопасности, должна представлять собой комплексное

программное средство, включающее пространственные и атрибутивные базы данных, модели для прогнозирования аварийных ситуаций, их последствий, сценарии реагирования и т.п. [5]. Однако для горно-добывающего производства эти задачи имеют ряд особенностей, которые не учитываются в существующих информационно-аналитических системах: либо не позволяют достоверно моделировать ситуации, связанные с обрушением горных выработок, либо в них отсутствуют средства картографирования и пространственно атрибутивные базы данных. Более того, большинство систем не поддерживает принципы открытой архитектуры, что не позволяет создать интерфейсный контроллер для преобразования или передачи в другую систему.

На рисунке 1 представлена концептуальная модель архитектуры специализированного программного обеспечения геоинформационной системы угледобывающего предприятия, позволяющая проводить анализ и выявлять причины возникновения зон повышенного горного давления.

Система моделирования техногенных опасностей включает в себя несколько последовательных этапов: структуризация разведочных данных; размещение сведений в хранилище данных; интерполяция разведочных данных; построение модели углепородного массива; построение модели подземной части шахты; совмещение и визуализация моделей углепород-

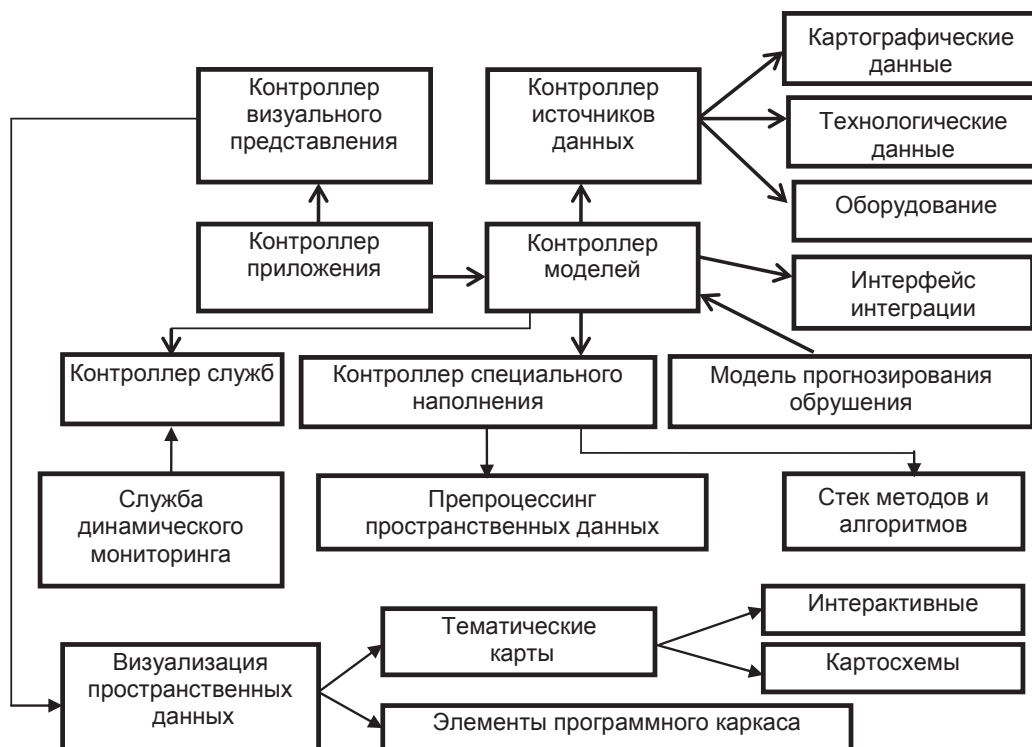


Рисунок 1 – Концептуальная модель специализированной ГИС для моделирования геомеханических процессов в очистном забое

ного массива и шахты с помощью трехмерного компьютерного изображения; расчет напряженно-деформированного состояния углепородного массива с помощью метода конечных элементов; формирование на географической карте изолиний, описывающих зоны повышенного давления; формирование картографического анимационного изображения, демонстрирующего динамику изменения зон повышенного горного давления [6].

Все подобные информационные системы используют схожий концептуальный принцип по-

строения архитектуры рабочего процесса, т.е. разнородные сведения о работе горнодобывающего предприятия преобразуются в специальную структуру и распределяются между специализированными базами данных, объединенных между собой в систему хранилища данных. На основе пространственно-атрибутивных данных может быть построена компьютерная модель горных выработок с проекциями буровых скважин на электронной карте (рис. 2).

В качестве дополнительной подсистемы может быть использована система анализа гео-

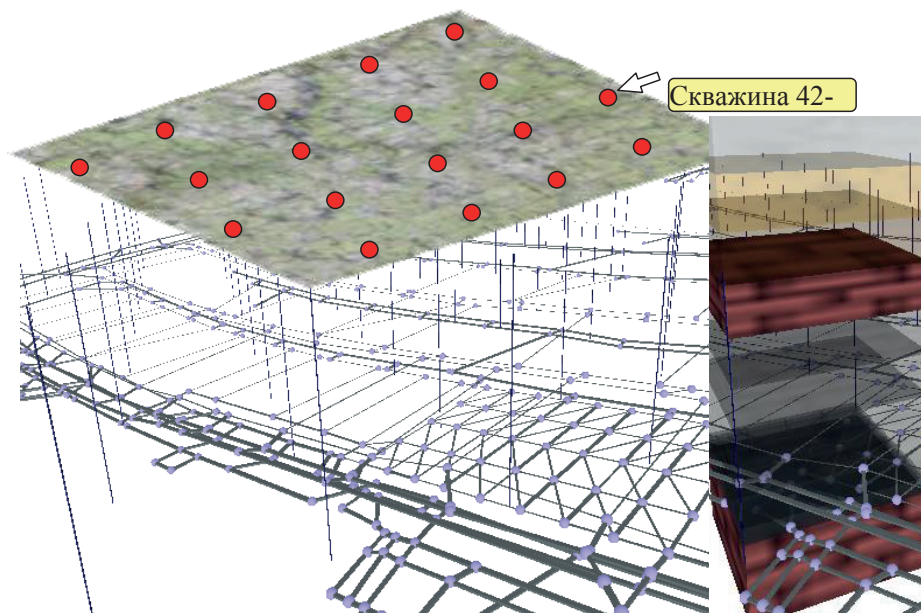


Рисунок 2 – Компьютерная модель горных выработок с проекциями буровых скважин на электронной карте

пространственных данных, которая проектируется отдельно и зависит от предметной области. На основе базы геопространственных данных проводится моделирование углепородных пластов с учетом нарушения сплошности породного массива. Для решения этой проблемы использованы элементы нечеткой логики и элементы математической графики.

Результатом работы этой подсистемы является формирование компьютерной геологической модели углепородного массива шахтного поля для информационной поддержки ведения горных работ на предприятии. Задав желаемые размеры обрабатываемого участка, специалистам предоставляется возможность исследовать литографический состав и отобразить геометрию как всего породного массива, так и любого слоя в отдельности. Учитывая дополнительные факторы и условия ведения горных работ, принимается один из вариантов отработки угольного пласта.

Зачастую исследования проводятся при фиксированных положениях забоя без учета

предыдущего напряженно-деформированного состояния и изменения механических характеристик боковых пород. В действительности при проведении выемочных работ и циклическом движении очистного забоя геомеханические процессы, протекающие в породах, имеют достаточно сложный характер. В результате многократного приложения и снятия усилия секциями крепи к непосредственной кровле механические свойства породных слоев изменяются, что приводит к преждевременному обрушению пород кровли с образованием куполов и обрушению поверхности забоя.

Таким образом, после построения геометрической модели углепородных слоев запускается процесс моделирования движения очистного забоя. Прогнозирование напряженно-деформированного состояния породного массива предложено осуществлять с помощью пошаговой процедуры на основе имитационного моделирования процесса взаимодействия углепородного массива с угледобывающим комплексом. При реализации компьютерных экс-

периментов секция механизированной крепи очистного забоя перемещалась до исследуемого положения с шагом передвижки.

Управляющий модуль осуществляет имитацию циклического движения угольного комбайна, изменяя размеры и форму выработанного пространства, положение секции крепи, управляя давлением в гидростойках и т.п. В результате моделирования получают количественные оценки параметров геомеханического взаимодействия механизированных крепей с угольным пластом и вмещающими породами. Изолинии напряжений могут быть визуализированы как на поверхности электронной карты в области ведения горных работ, так и на отдельных срезах в пределах шахтного поля.

Результаты моделирования движения очистного забоя хранятся в реляционной базе данных по принципу «ключ-значение», что позволяет получать интересующие данные за линейное время вне зависимости от количества крепей и размеров базы данных.

В имитационной модели поведение компонентов сложных систем описывается набором алгоритмов, реализующих ситуации. Моделирующие алгоритмы основаны на решении системы

дифференциальных уравнений механики горных пород методом конечных элементов. Для обеспечения требуемой адекватности модели и повышения точности результатов моделирования модель (алгоритм ее работы) необходимо настраивать. Технология настройки алгоритма состоит в использовании итеративной процедуры корректировки параметров алгоритма на основе отклонений расчетных смещений горных пород в окрестности очистного забоя от предварительно обработанных фактических. При прогнозировании напряженно-деформированного состояния углепородного массива учитывается предшествующее состояние и динамика, прогрессирующая дезинтеграция горных пород в зоне техногенного воздействия, что позволяет получать более достоверные результаты.

Одним из методов визуализации данных является картографирование. Объекты техногенного взаимодействия отображаются в виде графических изображений и, если существует географическая привязка, проецируются на реальные территории. Инструменты OLAP и Data Mining превращают процесс визуализации в один из этапов итерационного анализа данных. Результаты математического моделирова-

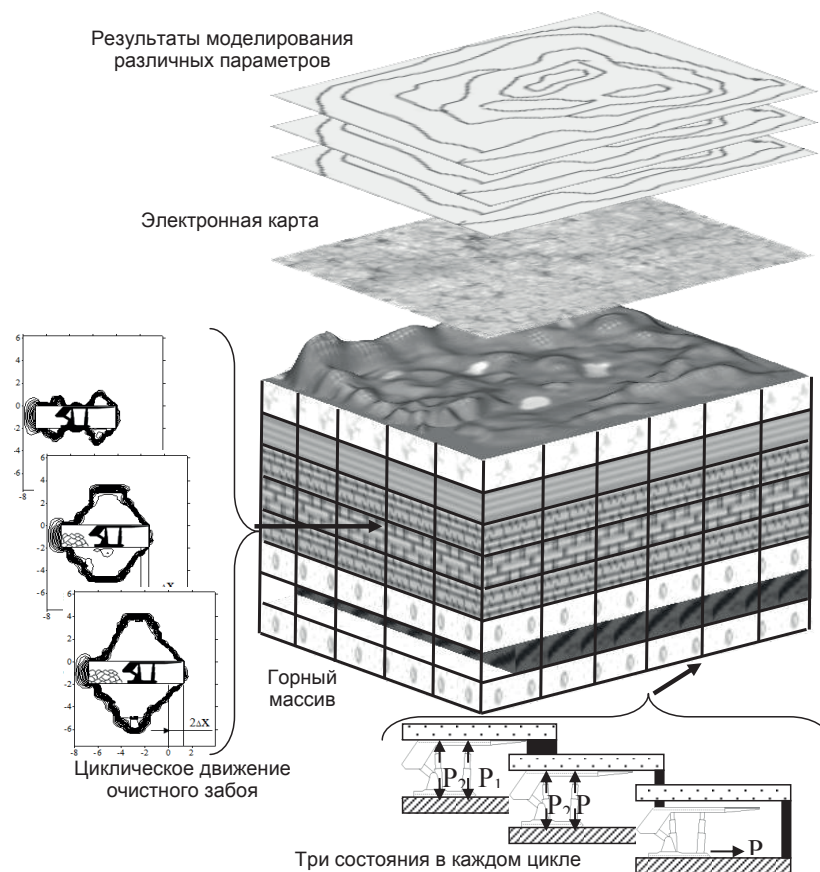


Рисунок 3 – Модель построения пространственных геоизображений

ния размещаются в различных базах данных. Использование описанных выше технологий предоставляет пользователям возможность проведения детального анализа процессов выемки полезного ископаемого путем получения “срезов” по результатам математического моделирования в любых местах географического размещения объекта.

Задача визуализации изменения состояния углепородного массива во времени решается путем выдачи на экран последовательности статичных изображений (кадров), представляющих собой набор анимационных поверхностей. Структура модели построения геопространственных изображений представлена на рисунке 3.

Следует отметить, что речь о проекции для анимированных анаморфоз можно вести лишь условно, так как в ходе анимации контуров происходит динамическое изменение пространства, которое может быть описано семейством проекций покадрового изменения отображаемо-

го пространства.

Таким образом, разработанная горногеографическая информационная система позволит выявлять участки техногенных опасностей на основе компьютерного моделирования и прогнозирования динамики состояния углепородного массива при ведении очистных работ с использованием ГИС технологий для последующего качественного управления технологическими процессами и предотвращения чрезвычайных ситуаций.

Следовательно, стабильность и безопасность высокопроизводительной работы комплексно-механизированного забоя (КМЗ) при разработке пластов с изменяющимися горногеологическими условиями на этапе разработки проектной документации обеспечиваются имитацией динамики состояния углепородного массива при движении очистного забоя, прогнозом опасных зон и разработкой профилактических мероприятий по предотвращению аварийных ситуаций.

#### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах». Серия 05. Выпуск 40. – М: ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2014- 200с
2. Инструкция по безопасному ведению горных работ на шахтах, разрабатывающие угольные пласты, склонные к горным ударам: РД 05-328-99 //Предупреждение газодинамических явлений в угольных шахтах: сб. док.-Сер.05.-Вып.2.-М.:НТЦ «Промышленная безопасность», 2000. –119 с.
3. Инструкция по безопасному ведению горных работ на пластах, опасных по внезапным выбросам угля (породы) и газа: РД 05-350-00 //Предупреждение газодинамических явлений в угольных шахтах: сб. док. – Сер.05. – Вып.2.-М.:НТЦ «Промышленная безопасность», 2000. – С. 120-246.
4. Шек, В. М. Использование имитационного моделирования для оптимизации проведения горных работ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-imitatsionnogo-modelirovaniya-dlya-optimizatsii-provedeniya-gornyh-rabot>
5. Степанов, Ю. А. Структура региональной геоинформационной системы при ведении выемочных работ угледобывающих предприятий / Ю. А. Степанов // Тематический журнал Геоинформатика – Москва. – 2012. – № 1. – С. 36-41.
6. Степанов, Ю. А. Обеспечение информационной поддержки ведения горных работ с использованием ГИС-технологий / Ю. А. Степанов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – Кемерово. – 2014. – № 4.–С. 118–122.

#### **GEOINFORMATIONAL SYSTEMS AND INDUSTRIAL SAFETY OF COAL ENTERPRISES**

Stepanov Yu. A.

Specialized geoinformational system structure based on coal and rock massif during coal cutting works condition dynamics based on computer modelling is described which helps to detect the potentially dangerous sections for forecast and accident prevention

Key words: DOAL AND ROCK MASSIF, MODELLING, GEODYNAMICS, GEOINFORMATICS, SAFETY, GIS, GEOMODEL, MAPPING

*Степанов Юрий Александрович  
e-mail: Dambo290@yandex.ru*

УДК 622.822

## ВЫДЕЛЕНИЕ ИНДИКАТОРНЫХ ПОЖАРНЫХ ГАЗОВ ПРИ ОКИСЛЕНИИ УГЛЯ НА СТАДИЯХ САМОНАГРЕВАНИЯ И БЕСПЛАМЕННОГО ГОРЕНИЯ

Исследовано выделение индикаторных пожарных газов при нагревании углей марок Б, Д, Г, К, СС, Т. Установлены аномально высокие скорости разогрева навески угля в интервале температур: 342÷372 К и 428÷529 К, характерных для стадий самонагревания и беспламенного горения (тления). Показано, что в стадии тления содержание оксида углерода в продуктах окисления более чем в 100 раз превышает таковое на стадии самонагревания. Сделан вывод о возможности превышения содержания индикаторных газов над фоновым уже на стадии тления, когда переход очага в стадию пламенного горения может быть спровоцирован факторами, способствующими компенсации недостатка кислорода (внезапное обрушение кровли, землетрясение и др.).

**Ключевые слова:** САМОНАГРЕВАНИЕ УГЛЯ, КРИТИЧЕСКАЯ ТЕМПЕРАТУРА, ВОЗГОРАНИЕ УГЛЯ, БЕСПЛАМЕННОЕ ГОРЕНИЕ (ТЛЕНИЕ), ПЛАМЕННОЕ ГОРЕНИЕ, КЛАССИФИКАЦИЯ ПОЖАРА НА СТАДИИ

**П**остоянное углубление горных работ, повышение производительности очистных забоев за счёт внедрения дорогостоящих механизированных комплексов, преодоление газового барьера реализацией схем проветривания с отводом метановоздушной смеси и угольной пыли по выработанному пространству – факторы, которые обострили проблему защиты выемочных полей от эндогенных пожаров.

Особую значимость в комплексе профилактических мер, используемых в Кузбассе в последние годы, приобрело обнаружение признаков эндогенного пожара на ранней стадии его развития. Реализация этой меры позволяет локализовать и ликвидировать очаги с минимальными затратами сил и средств.

Для однозначного восприятия обозначенной в статье проблемы ниже приведены использованные в ней термины и определения.

Самонагревание угля – процесс повышения температуры очага в результате его окисления кислородом воздуха.

Критическая температура самонагревания угля (КТС) – предель-

ное значение температуры в очаге, при достижении которой процесс самонагревания принимает необратимый характер и переходит в возгорание [1].

КТС не является константой и зависит как от вещественного состава угля, так и от условий формирования очага, которые определяются его формами и размерами, а также притоком воздуха и теплообменом с окружающей средой. По данным работы [2] она изменяется от 403 К для бурых до 453 К для каменных углей. При этом отмечается её ориентировочный характер, так как она получена разными методами. В инструкции [3] предельные значения критической температуры для каменных углей обозначены в пределах 363÷403 К без указания количественных регламентирующих критериев.

Самовозгорание угля – возгорание угля в результате его самонагревания. Схема развития процесса по [1] представлена на рисунке 1.

Источником теплового импульса при самонагревании угля является химическая реакция окисления углерода с выделением 12,5 Дж тепла при присоединенным 1 мл. кислорода. Гетерогенная система «уголь



**В.Г. Игишев**

д-р техн. наук, проф., старший научный консультант АО «НЦ ВостНИИ»



**П.А. Шлапак**

инженер, заведующий лабораторией АО «НЦ ВостНИИ»



**С.А. Хаймин**

старший научный сотрудник лаборатории АО «НЦ ВостНИИ»



**С.А. Син**

генеральный директор ООО «Эгида-Сервис», генеральный директор ООО «Азот Сервис»

- воздух» вначале имеет низкую температуру, и повышение её идёт медленно. Эту стадию процесса выделяют как стадию самонагрева.

Согласно [2] возгорание – это процесс перехода системы из низкотемпературного состояния в состояние горения, сопровождающееся по крайней мере одним из трёх факторов: пламенем, свечением, выделением дыма. Пламенное горение – это горение в газовой фазе с видимым излучением. Другим типом горения угля является тление – беспламенное горение с выделением дыма, света и тепла. Для стадии самовозгора-

ния характерен резкий рост температуры.

Тление угля возможно при недостатке кислорода в зоне горения и при недостатке выделяющегося при тлении тепла. В первом случае в газовой фазе в зоне высоких температур не происходит образования горючей смеси из продуктов разложения и кислорода воздуха. Во втором случае температура горючей газовой смеси из продуктов термического разложения тлеющего угля и кислорода воздуха не достигает температуры самовоспламенения, и смесь рассеивается без горения.

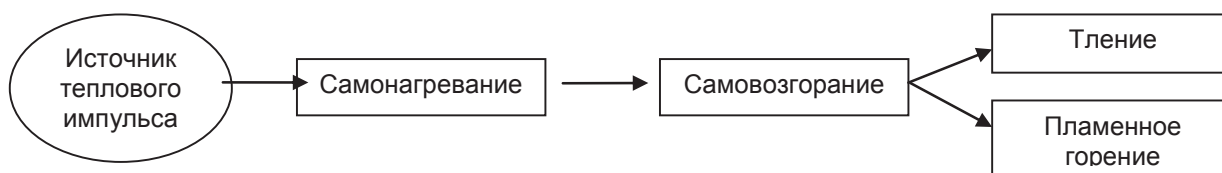


Рисунок 1 – Схема развития процесса самовозгорания угля

Современная практика раннего - по времени и температуре - обнаружения эндогенных пожаров базируется на газовом и температурном контроле атмосферы в зонах потенциальных формирований скоплений угля и угольной пыли. В качестве наиболее информативных индикаторных газов при этом используются оксид углерода и водород. Повышение надёжности контроля по этим газам обусловлено инертностью при низких температурах, характерных для стадий самонагрева и возгорания угля, их низкой сорбцией разрыхлённым углем и породами в выработанном пространстве и слабой растворимостью в воде.

В связи с этим предварительные лабораторные исследования состава индикаторных газов, выделяющихся при нагревании угля, могут быть использованы для объективной классификации эндогенного пожара на ранней стадии с оценкой их температурных интервалов.

Температура тления твёрдых материалов, в том числе и угля, определяется путём термостатирования в реакционном сосуде при обдуве воздухом и визуальной оценке результатов испытаний (появление дыма, свечение). Изменяя температуру испытаний, находят её минимальное значение, при которой наблюдается тление. Метод реализуется по ГОСТ 12.1.044 – 89 (ИСО

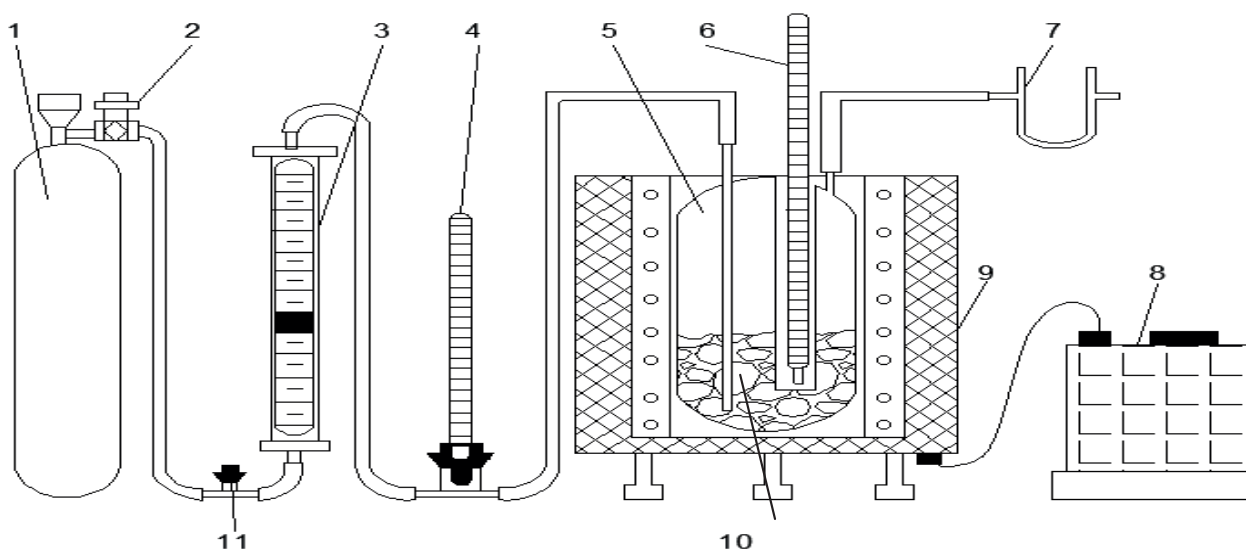


Рисунок 2 – Схема установки для нагрева угля: 1 - баллон с воздухом; 2 - редуктор; 3 - ротаметр; 4, 6 - термометры; 5 - реторта; 7 - фильтр; 8 - трансформатор; 9 - электронагревательная печь; 10 - уголь; 11 - предохранительный клапан.



4589 - 89) при температурах 298÷873 К [4].

Стандартизированный метод не позволяет оценивать состав индикаторных газов при температуре тления угля [7] и, как следствие, в исследованиях была использована описанная в работе [5] аппаратура (рис.2.).

Условия проведения экспериментов сводились к следующему:

масса угля – 40 г;

фракция – (-3+1) мм;

расход воздуха – 0,5 л/мин;

скорость разогрева угля – 3-6 град/мин.

Температура появления характерного запаха оценивалась субъективно. Появление влаги и дыма фиксировалось визуально на фильтре 7. Свечение фиксировалось периодически поднятием реторты 5.

Обобщённые данные по температуре появления влаги, запаха, дыма, свечения (начала и конца) по восемнадцати экспериментам с углями марки Б, Д, Г, К, СС, Т приведены в таблице 1.

Согласно данным таблицы 1 минимальная температура тления исследованных образцов, зафиксированная по выделению дыма,

составляет 493 К (220 °С). Свечение тлеющего угля происходит при более высокой температуре (2500С). Для сравнения: в работе [6] температура тления бурого угля указана в пределах 423÷523 К; для марки Т температура тления равна 573 К.

Полные результаты нагрева угля марки К приведены в таблице 2.

Характерный запах зафиксирован в анализируемом опыте при температуре 491 К, дым – при 535 К, появление свечения – при 555 К, окончание свечения – при 567 К. Средняя температура нагревания составила 3,4 градуса в минуту. Аномальные скорости разогрева навески угля приурочены к двум интервалам температур 342÷372 К и 482÷529 К.

Аномальные интервалы в таблице 2 тонированы. Превышение средней скорости нагрева в этих интервалах составило, соответственно, 2,9-2,8 раза.

Удельная скорость сорбции кислорода углем в первом интервале скачкообразно увеличилась в 11 раз с 0,00075 до 0,00825 мл/час. Содержание оксида углерода на исходящей струе при

Таблица 1 – Температура показателей, регистрируемых при нагреве угля

Наименование параметров	Минимальная температура, К	Средняя температура, К	Максимальная температура, К
Выделение влаги	334	354	374
Появление запаха	433	493	563
Выделение дыма	493	556	645
Начало свечения	529	573	655
Конец свечения	551	609	733

Таблица 2 – Изменение состава газов при продувке нагреваемого угля

Время нагрева, мин	Температура К	Результаты анализа, % по объему				
		CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	O <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>
0	291	0,0	0,064	20,9	0,0002	0,000
10	317	0,0	0,128	20,9	0,0008	0,000
17	342	0,0	0,208	20,8	0,0050	0,000
20	372	0,1	0,144	19,8	0,0085	0,000
30	403	0,1	0,096	19,4	0,0212	0,000
35	438	0,2	0,056	18,6	0,0716	0,001
45	482	1,0	0,024	13,8	0,2	0,006
50	529	4,4	3,373	3,8	6,6	4,160
55	560	7,6	2,976	1,4	9,6	4,032
60	577	7,2	2,778	0,8	11,8	3,778
70	627	8,4	1,984	0,8	11,4	2,272
85	675	8,4	1,488	1,0	11,4	1,744
110	723	10,8	1,091	1,2	7,4	1,104
125	725	-----	-----	-----	-----	-----

$T=342\text{ K}$  возросло в 6,2 раза с 0,0008% до 0,0050%.

При нагревании угля в пределах 372÷522 К удельная скорость сорбции увеличилась в 15,5 раз, при этом нарастания происходило равномерно. Резкое увеличение концентрации оксида углерода с 0,2% до 6,6%, наблюдалось в интервале температур (482÷529) К.

Результаты лабораторных исследований, частично приведенные в таблицах 1, 2, иллюстрируют стадийность возникновения и развития эндогенных пожаров. В частности признаки стадии самонагрева (табл. 2) могут быть обнаружены в интервале температур 342÷372 К по резкому увеличению скорости нагревания и содержания оксида углерода в атмосфере в районе формирования скопления угля.

Тление для марки угля К зафиксировано по выделению дыма при температуре 535 К. Этой стадии также присущи аномально высокие скорость нагревания и выделения индикаторных газов. При этом концентрации последних на два порядка превышают таковые для стадии самонагрева.

Такая ситуация не исключает ошибочной аттестации обстановки на контролируемом участке как «эндогенный пожар в стадии самонагрева» с температурой в очаге в пределах 363÷403 К при фактическом тлении угля при температуре, превышающей критическую темпера-

туру самонагрева более чем на 90 градусов.

Уголь в шахте находится в виде сплошного массива (целики угля), в виде пористого дисперсного слоя угольной пыли (аэрогеля) и в виде мелкодисперсной взвеси пыли в воздухе (аэрозоля). Горение аэрозоля происходит в глубине скопления в форме тления. При доступе воздуха, компенсирующем недостаток кислорода, ликвидируется первое условие беспламенного горения. Зона тления при этом перемещается к поверхностному слою. Возникает горение с образованием пламени [1]. Процесс может привести к взрыву горючих газов. Подобные условия создаются, например, при обрушении кровли, землетрясении, реверсировании воздуха и при взрывных работах.

**Вывод.** Существующий газоаналитический метод не позволяет однозначно классифицировать эндогенный пожар на стадии и определить температуру очага. При возникновении пожара в отработанной части пласта и невозможности контроля утечек воздуха, превышение фонового содержания оксида углерода водорода может фиксироваться уже на стадии тления со стабилизацией их процентного содержания на низком уровне. Необходимы дополнительные исследования по поиску показателей, позволяющих обнаруживать очаги с температурой не выше критической температуры самонагрева угля.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кольцов, К. С. Самовозгорание твердых веществ и материалов и его профилактика / К. С. Кольцов, Б. Г. Попов - М.: Изд-во Химия, 1978. - 138 с.
2. Веселовский, В. С. Самовозгорание промышленных материалов / В. С. Веселовский, Н. Д. Алексеев, Л. П. Виноградова, Г. Л. Орлеанская, Е. А. Терпогосова – М.: Изд-во Наука, 1964. - С.122-127.
3. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по определению инкубационного периода самовозгорания угля». Серия 05. Выпуск 38. - М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2013. - 10 с.
4. ГОСТ 12.1.044 - 89 (ИСО 4589-84). Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения (утв. постановлением Государственного комитета СССР по управлению качеством продукции и стандартам от 12.12.89 №3683) (с изменениями и дополнениями с изменением №1, принятым в апреле 2000 г.) [официальное издание] - М.:ИПК ИЗДАТЕЛЬСТВО СТАНДАРТОВ, 2001. - 4.9 Метод экспериментального определения температуры самовоспламенения твёрдых веществ и материалов.
5. Игишев, В. Г. Борьба с самовозгоранием угля в шахтах / В. Г. Игишев - М.: Изд-во Недр, 1987. - С. 54 - 56.
6. Корольченко, А. Я. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. Справочник часть 2 / А. Я. Корольченко - М.: Ассоциация Пожнаука, 2000. - С. 563-564.
7. Ли Хи Ун. Разработка метода управления аэрогазодинамическими процессами в горных выработках шахт / Ли Хи Ун.- Кемерово: ВостНИИ,2003 -234с.

FIRE INDICATOR GASES LIBERATION  
AT COAL OXIDATION AT THE STAGE OF SELF-  
HEATING AND FLAMELESS COMBUSTION

Igishev V. G., Shlapakov P. A., Haimin S.  
A., Sin S. A.

*Liberation of indicator fire gases at coal brands B, D, G,K,SS, T heating is investigated. Abnormally high heating rates of coal samples in the temperature range: 342 ÷ 373 K and 428 ÷ 529 K are detected which is characteristic for self-heating and flameless combustion (smoldering) stages. It is shown that in the stage of smoldering carbon monoxide content in the oxidation products are more than 100 times greater than it is at the self-heating step. The conclusion is made about the possibility of exceeding the content of the tracer gas over the background one at the stage of smoldering, when the transition to the flame burning stage can be triggered by factors contributing to the lack of oxygen compensation (sudden roof fall, earthquake and so on).*

**Key words:** COAL SELF-HEATING, CRITICAL TEMPERATURE, COAL COMBUSTION, FLAMELESS COMBUSTION (SMOLDERING), FLAME BURNING, STAGE FIRE CLASSIFICATION

*Игишев Виктор Григорьевич  
e-mail: v.igishev@nc-vostnii.ru*

*Шлапаков Павел Александрович  
e-mail: shlapak1978@mail.ru*

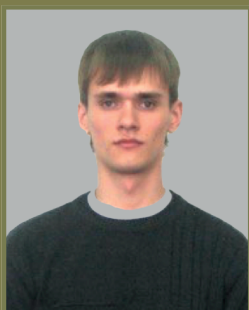
*Хаймин Сергей Александрович  
e-mail: hsa007mail.ru*

*Син Сергей Александрович  
e-mail: s.o.n.i.k\_2002@mail.ru*



# ПКА-01

ПРИБОР КОНТРОЛЯ ЗАПЫЛЕННОСТИ ВОЗДУХА



**А.И. Сидоренко**  
соискатель, Бийский  
технологический институт  
ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И.  
Ползунова»



**Е.В. Сышин**  
канд. техн. наук, доцент,  
профессор кафедры Бийского  
технологического института  
ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И.  
Ползунова»



**Г.В. Леонов**  
д-р техн. наук, профессор,  
заведующий кафедрой Бийского  
технологического института  
ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И.  
Ползунова»

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

УДК 536.521: 614.841.45

#### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЫШЕНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ К ОПТИЧЕСКИМ ПОМЕХАМ ОПТИКО- ЭЛЕКТРОННОГО ПРИБОРА ОБНАРУЖЕНИЯ ОЧАГА ВЗРЫВА

*В статье приведены результаты исследования повышения помехоустойчивости к оптическим помехам оптико-электронных приборов обнаружения очага взрыва методом спектральной селекции. Предложена методика определения оптимальных рабочих диапазонов длин волн. Приведены результаты экспериментального исследования помехоустойчивости к оптическим помехам.*

*Ключевые слова:* ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЙ ПРИБОР, ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ, ОПТИЧЕСКИЕ ПОМЕХИ, МЕТОДИКА, ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА, ЛАБОРАТОРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

#### I ВВЕДЕНИЕ

**В**зрывобезопасность производственных процессов должна быть обеспечена взрывопреупреждением, взрывозащитой, а также активным взрывоподавлением. Суть метода взрывоподавления состоит в том, что на ранней стадии развития взрыва, которая фиксируется детектором, автоматически срабатывают устройства, выбрасывающие в защищаемый объем огнетушащее вещество. В качестве детекторов обычно используются оптико-электронные приборы (ОЭП), удовлетворяющие требованию высокого быстродействия [1,2].

На кафедре МСИА Бийского технологического института ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова» разрабатываются ОЭП для автоматических систем взрывоподавления, основной областью применения которых являются угольные шахты. Актуальной задачей является исследование и разработка методов повышения помехозащищенности

приборов от оптических помех при сохранении высокой чувствительности и быстродействия прибора.

Существующие ОЭП обнаружения очага взрыва [3,4] обладают низкой помехоустойчивостью к оптическим помехам, что проявляется в ложном срабатывании при появлении в поле зрения прибора источников искусственного освещения (в частности, ламп накаливания) [5,6]. Это обстоятельство резко ограничивает область применения приборов темными помещениями без источников искусственного и естественного освещения.

Целью работы является экспериментальное исследование повышения помехоустойчивости оптико-электронных приборов к оптическим помехам методом спектральной селекции.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие частные задачи:

– экспериментально определить оптимальные рабочие диапазоны длин волн для обеспечения помехоустойчивости ОЭП к оптическим

помехам;

– разработать методики исследования помехоустойчивости ОЭП к оптическим помехам в лабораторных условиях;

– провести серию экспериментов, подтверждающую эффективность использования выбранных рабочих диапазонов длин волн.

## II ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

ОЭП содержит объектив 1 (рис.1), предназначенный для фокусировки светового потока на чувствительных окнах приемников излучения, разделитель светового потока 2, светофильтры 3 и 3' с разными спектрами пропускания, приемники оптического излучения 4 и 4', исполнительную схему 5, содержащую блок обработки измерительной информации и блок формирования электроимпульса на запуск устройств взрывоподавления.

Обобщенный алгоритм работы ОЭП заключается в следующем. Излучение охраняемого объекта собирается объективом 1 и делится разделителем светового потока на два оптических канала. Каждый из этих потоков фокусируется на фотоприемниках, одновременно происходит выделение узкого спектра энергии светофильтрами 3 и 3' для обеспечения возможности определения температуры очага возгорания методом спектрального отношения. Сигналы с фотоприемников подаются в исполнительную схему 5 на блок обработки информации, центральным звеном которого является микроконтроллер. Блок обработки информации (БОИ) преобразует сигналы в цифровые значения, выполняет программную фильтрацию помех, вычисляет отношение электрических сигналов с фотоприемников и сравнивает полученное значение с заранее заданным для принятия ре-

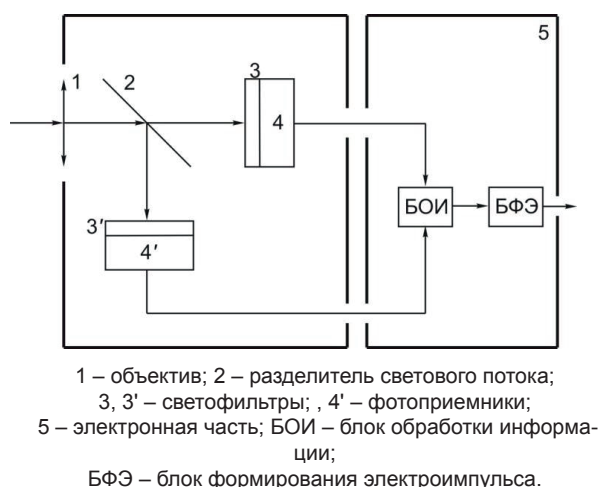


Рисунок 1 – Обобщенная структурная схема ОЭП обнаружения очага взрыва.

шения о возникновении (или отсутствии) возгорания. В случае возникновения возгорания БОИ формирует управляющий сигнал на активацию взрывоподавляющего устройства при помощи блока формирования электроимпульса.

При использовании бесконтактных методов определения температуры необходимо сделать обоснованный выбор оптимальных рабочих диапазонов длин волн прибора, что является важнейшей задачей спектральной селекции, позволяющей выделить излучение исследуемого объекта на фоне других излучений. Проведено теоретическое исследование, включающее анализ спектральных характеристик излучения пламени углеводородов, обоснование характерных температур контролируемого объекта, анализ спектральных характеристик источников оптических помех в угольных шахтах [5,6,7]. В результате исследования выявлено, что при выборе оптимальных рабочих диапазонов длин волн ОЭП обнаружения очага возгорания перспективным с точки зрения помехозащищенности является обнаружение линий излучения углекислого газа и паров воды, образующихся при горении метановоздушной смеси: 2,7 и 4,2 мкм [8,9].

С целью выбора оптимального рабочего диапазона длин волн прибора, проведено экспериментальное исследование повышения помехоустойчивости к оптическим помехам методом спектральной селекции. Для выбора оптимальной длины волны в экспериментах использовались фотодиоды с центральными длинами волн, равными 0,96; 2,7; 4,2 мкм. В качестве оптической помехи при проведении экспериментов использовались галогенная лампа и лампа накаливания; в качестве тестовых очагов пожара – горение пропанбутановой смеси и тестовый очаг пожара ТП-6 (горение легковоспламеняющейся жидкости без выделения дыма) по ГОСТ Р 53325-2012 [10]. Для проведения экспериментов собрана лабораторная установка, структурная схема которой представлена на рисунке 2. Методика проведения экспериментов.

1. Устанавливается исследуемый фотодиод и источник искусственного освещения на штативах оптической скамьи. Расстояние между источником и фотодиодом выбирается таким, чтобы освещенность в плоскости чувствительного элемента фотодиода была не менее 250 лк [11]. Измерение уровня освещенности осуществляется люксметром.

2. Осуществляется 20 включений/выключений источника освещения с интервалом 1 с, измерением выходного напряжения блока преобразования и регистрация результатов на ПК.

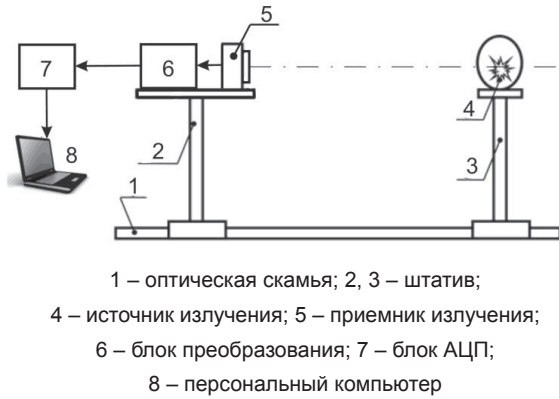


Рисунок 2 – Структурная схема лабораторной установки

Увеличивается уровень освещенности с интервалом 250 лк до тех пор, пока блок преобразования не перейдет в режим насыщения. Повторяется измерение выходного напряжения блока преобразования на каждом шаге.

3. На оптической оси фотодиода устанавливается тестовый очаг возгорания. Между фотодиодом и тестовым очагом вблизи фотодиода устанавливается светонепроницаемая перегородка. Фоновая освещенность в плоскости чувствительного элемента фотодиода не должна превышать 50 лк.

4. Зажигается тестовый очаг и через 30 с убирается светонепроницаемая перегородка. Фотодиод подвергается воздействию излучения тестового очага возгорания в течение 30 с на разных расстояниях от очага (от 25 до 100 см с шагом 10 см). При этом осуществляется измерение выходного напряжения блока преобразования с регистрацией результатов на ПК.

Для удовлетворительной точности в оценке наилучшего значения измеряемого напряжения необходимо провести не менее пяти измерений, не изменяя условий эксперимента. Для каждого из условий эксперимента последовательность обработки результатов измерений включает следующие этапы:

1. Поиск максимального значения напря-

жения  $U$  для каждого из пяти экспериментов, соответствующего данным условиям.

2. На основе полученной ограниченной статистической выборки  $U_1, U_2, \dots, U_N$  вычисление выборочного среднего значения как наилучшей оценки истинного значения  $U$  [12]:

$$\bar{U} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N U_i \quad (1)$$

3. Вычисление опытного среднеквадратического отклонения  $\sigma_{\bar{U}}$ :

$$\sigma_{\bar{U}} : \sigma_{\bar{U}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (U_i - \bar{U})^2}{N(N-1)}} \quad (2)$$

4. Определение табличного значения коэффициента Стьюдента, задав доверительную вероятность  $P = 0.95$  по числу проведенных измерений  $N$ .

$$\Delta U = t_{\alpha} \sigma_{\bar{U}} \quad (3)$$

После обработки экспериментальных данных вычислены отношения выходных сигналов напряжения блоков преобразования для разных фотодиодов при одинаковых условиях проведения эксперимента. Полученные данные сведены в таблицу 1.

В таблице приняты следующие обозначения:

$PD1$  – выходной сигнал фотодиода с  $\lambda_{max} = 2,7 \text{ мкм}$ ;

$PD2$  – выходной сигнал фотодиода с  $\lambda_{max} = 4,2 \text{ мкм}$ ;

$PD3$  – выходной сигнал фотодиода с  $\lambda_{max} = 0,96 \text{ мкм}$ .

В результате проведения экспериментов выявлено, что значения отношений не зависят от освещенности в плоскости чувствительного элемента фотодиода. Из таблицы 1 видно, что излучение при горении углеводородных смесей можно отличить от излучения источников искусственного освещения при использовании метода спектральных отношений, причем максимальное отличие (примерно в 49,5 раза) наблюдается при использовании фотодиодов с максимумами спектральной чувствительности,

Таблица 1 – Результаты проведения экспериментов

Тип источника излучения	Отношения		
	$\frac{PD1}{PD3}$	$\frac{PD2}{PD3}$	$\frac{PD2}{PD1}$
Галогенная лампа	0,94	0,13	0,14
Лампа накаливания	0,6	0,1	0,17
Горение пропан-бутановой смеси	8,17	4,37	0,56
ТП-6	7,71	4,95	0,93

соответствующими длинам волн 4,2 и 0,96 мкм.

Разработан лабораторный образец ОЭП обнаружения очага взрыва с рабочими длинами волн 4,2 и 0,96 мкм. Проведена оценка его помехоустойчивости в лабораторных условиях.

Помехоустойчивость ОЭП для обнаружения очага возгорания определяется максимальной интенсивностью оптических помех, при которой прибор не выдает ложное срабатывание. Для оценки помехоустойчивости необходимо проведение комплексного экспериментального исследования, состоящего из огневых испытаний с одновременным определением устойчивости к воздействию прямого света.

При определении устойчивости исследуемого прибора к воздействию прямого света использовалась лабораторная установка, представляющая собой оптическую скамью с установленными стойками для исследуемого прибора и для источника искусственного освещения. На основе ГОСТ Р 53325-2012 [10] разработана следующая методика проведения испытаний на устойчивость прибора к воздействию прямого света:

1. Устанавливается исследуемый прибор на стойку оптической скамьи и выдерживается во включенном состоянии в течение не менее одного часа, при этом фоновая освещенность в плоскости входного зрачка прибора не должна превышать 50 лк.

2. Устанавливается непосредственно перед исследуемым прибором светонепроницаемая перегородка. Включается источник искусственного освещения и устанавливается расстояние между прибором и источником так, чтобы освещенность в плоскости перегородки была равна 250 лк. Измерение уровня освещенности осуществляется люксметром.

3. Убирается светонепроницаемая перегородка и осуществляется 20 раз включение/вы-

ключение источника освещения. Длительность включенного и выключенного состояния составляет 1 с.

4. Уменьшая расстояние между источником освещения и исследуемым прибором, определяется минимальное расстояние  $d$ , при котором исследуемый прибор не выдает ложного срабатывания при осуществлении серии из двадцати включений источника освещения. Уровень освещенности  $E_v$  при этом фиксируется люксметром.

При определении устойчивости прибора к воздействию прямого света в качестве источника изучения использовалась лампа накаливания РЗ.75-1+0.5. Для удовлетворительной точности в оценке максимального уровня освещенности  $E_v$ , при котором прибор не выдает ложного срабатывания, проведено 20 измерений при неизменных условиях эксперимента [13].

После обработки экспериментальных данных определен максимальный уровень освещенности, при котором прибор не выдает ложного срабатывания:  $\bar{E}_\lambda = (2100 \pm 50)$  лк при доверительной вероятности  $P = 0,95$ .

Ввиду того, что в реальных условиях возможна ситуация, когда влияние оптической помехи будет совпадать с появлением очага возгорания, в лабораторных условиях необходимо провести эксперименты, в которых исследуемый прибор будет регистрировать полезный сигнал как при наличии оптической помехи, так и без нее. Проведены огневые испытания прибора с дополнительным введением оптической помехи при помощи лабораторной установки, упрощенная конструкция которой показана на рисунке 3. В качестве тестовых очагов при испытаниях использовались последовательно горение пропан-бутановой смеси и тестовый очаг ТП-6 (горение легковоспламеняющейся жидкости

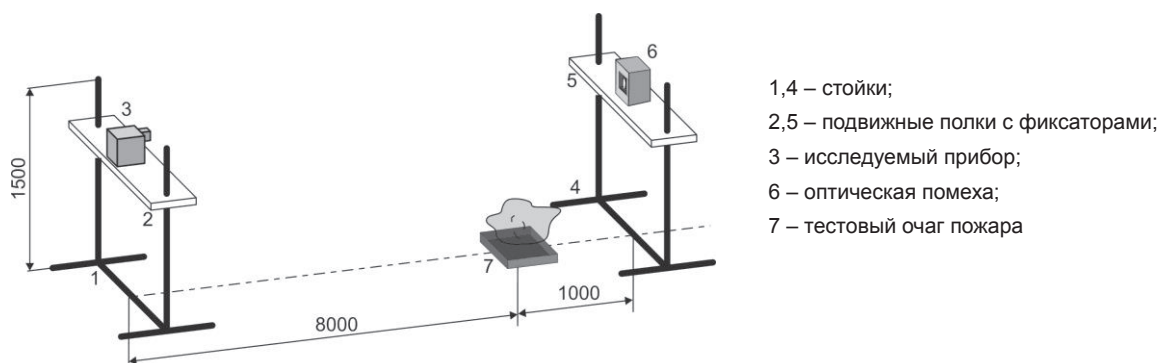


Рисунок 3 – Конструкция лабораторной установки для проведения огневых испытаний с дополнительным введением оптической помехи

без выделения дыма) по ГОСТ 53325-2012 [10]. В качестве оптической помехи при проведении испытаний использовались лампа накаливания РЗ.75-1+0.5 из широко распространенного шахтерского головного светильника СГД–5М.05, белый светодиод со световым потоком не менее 50 лм (применяемый в шахтерском светильнике НГР 06-4-003-01), люминесцентная лампа ЛД402 и бытовая лампа накаливания мощностью 40 Вт. Разработана следующая методика проведения огневых испытаний с дополнительным введением оптической помехи:

1. Устанавливается исследуемый прибор на стойку 1 на высоте  $(1,5 \pm 0,1)$  м [11] над уровнем пола. На полке 5 устанавливается источник оптической помехи на оптической оси исследуемого прибора. Тестовый очаг возгорания устанавливается на полу. Расстояние между центром тестового очага и основанием стойки 1 равно 8 м. Расстояние между стойками 1 и 4 равно 9 м. Фоновая освещенность в плоскости входного зрачка прибора не должна превышать 50 лк.

2. Включается источник освещения. Через 30 секунд зажигается тестовый очаг. Срабатывание исследуемого прибора контролируется визуально при помощи устройства индикации, подключенного к выходам блока формирования электро-импульсов на запуск системы взрывоподавления.

3. Уменьшая расстояние между стойками 1 и 4 с шагом 1 м, повторяются огневые испытания с предварительным включением источника оптической помехи на каждом шаге.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тупикина, Н. Ю. Способы построения трехканальной оптической системы с отдельными объективами каналов / Н.Ю. Тупикина, Е.В. Сыпин // Южно-Сибирский научный вестник. - 2014. - № 2 (6). - С. 143-148.
2. Герасимов, Д.А. Исследование динамических характеристик очага возгорания на начальной стадии в пирометрическом датчике пожарной сигнализации / Д.А. Герасимов, И.С. Зорин, Е.В. Сыпин // Южно-Сибирский научный вестник. - 2014. - № 2 (6). - С. 128-131.
3. Лисаков, С.А. Лабораторное исследование точности определения координат очага возгорания многоточечной оптико-электронной системой для одномерного случая / С.А. Лисаков, А.В. Кураев, А.Н. Павлов, Е.В. Сыпин // Южно-Сибирский научный вестник. - 2013. - № 2. - С. 94-98.
4. Кураев, А.В. Лабораторный образец многоточечной оптико-электронной системы определения пространственного расположения очага взрыва / А.В. Кураев, С.А. Лисаков, А.Н. Павлов, Е.В. Сыпин // Южно-Сибирский научный вестник. - 2013. - № 1. - С. 19-21.
5. Герасимов, Д.А. Исследование динамических характеристик возможных искусственных источников оптических помех в пирометрическом датчике / Д.А. Герасимов, Е.В. Сыпин // Южно-Сибирский научный вестник. - 2013. - № 2. - С. 77-81.
6. Kuraev, A.V. Laboratory sample of multipoint system to determine the arrangement of the explosion source / A.V. Kuraev, S.A. Lisakov, A.N. Pavlov, E.V. Sypin // 14th International conference of young specialists on micro/nanotechnologies and electron devices EDM 2013: Proceedings. - Novosibirsk: NSTU, 2013. - P.205-207.
7. Tupikina, N.Y. Research of the Three-channel Optical System with a Separate Entrance Pupils

По описанной методике для каждого типа оптической помехи проведено 20 испытаний, в каждом из которых зафиксировано срабатывание прибора от тестового очага возгорания и нечувствительность прибора к оптической помехе.

### III ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения работы установлено, что при проектировании ОЭП обнаружения взрыва в угольных шахтах перспективным с точки зрения помехозащищенности является обнаружение линий излучения углекислого газа и паров воды, образующихся при горении метановоздушной смеси: 2,7 и 4,2 мкм. Разработана методика определения оптимальных рабочих диапазонов длин волн ОЭП, на основе которой проведено экспериментальное исследование, доказавшее, что при использовании метода спектральных отношений оптимальным является использование фотодиодов с максимумами спектральной чувствительности на длинах волн 4,2 и 0,96 мкм. Разработан лабораторный образец ОЭП обнаружения очага взрыва и проведена оценка его помехоустойчивости в лабораторных условиях. По результатам экспериментального исследования определен максимальный уровень освещенности, при котором прибор не выдает ложного срабатывания:  $E_{\lambda} = 2100$  лк. В результате огневых испытаний с дополнительным введением оптической помехи доказано стабильное срабатывание ОЭП на пламя и нечувствительность к оптическим помехам.



of Channels Lenses at Different Arrangements of Entrance Pupils / N.Y. Tupikina, E.V. Sypin // 15th International conference of young specialists on micro/nanotechnologies and electron devices EDM 2014: Conference proceedings. - Novosibirsk: NSTU, 2014. – P.295-300.

8. Шаровар, Ф.И. Методы раннего обнаружения загораний / Ф.И. Шаровар. – М.: Стройиздат, 1988. – 336 с.

9. Излучательные свойства твердых материалов: справочник [Текст] / Под общ. ред. А.Е. Шейндлина. – М., «Энергия», 1974 г., 472 с., ил.

10. ГОСТ Р 53325-2012 Техника пожарная. Технические средства пожарной автоматики. Общие технические требования. Методы испытаний. – М.: Стандартинформ, 2013. – 270 с

11. НПБ 72-98 Извещатели пламени пожарные. Общие технические требования. Методы испытаний [Текст]. – Введен 1998–07–27. – Утв. приказом ГУГПС МВД России от 27 июля 1998 г. № 55

12. Дробот, П. Н. Теория ошибок и обработка результатов измерений: учеб. Пособие / П.Н. Дробот. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники, 2011. – 84 с.

13. Сергеев, А. Г. Метрология: учебник / А.Г. Сергеев, М. – Логос, 2005. – 272 с.: ил

EXPERIMENTAL RESEARCH OF  
EXPLOSION SPOT DETECTION OPTIC  
ELECTRONIC INSTRUMENT INTERFERENCE  
IMMUNITY INCREASE

**Sidorenko A. I., Sypin Ye. V., Leonov G. V.**

*In the article the research results of interference immunity increase to optic interferences of optic electronic instruments for explosion spot detection by method of spectral selection are given. Method to determine the optimum working ranges of wave lengths is suggested. Experimental research results of interference immunity to optic interferences are given.*

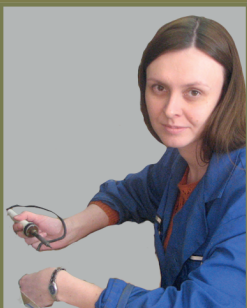
**Key words:** OPTIC ELECTRONIC INSTRUMENT, INTERFERENCE IMMUNITY, OPTIC INTERFERENCES, METHOD, EXPERIMENTAL EVALUATION, LABORATORY RESEARCHES

*Сидоренко Антон Игоревич  
e-mail: sai@bti.secna.ru*

*Сыпин Евгений Викторович  
e-mail: sev@bti.secna.ru*

*Леонов Геннадий Валентинович  
e-mail: leonov@bti.secna.ru*

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО ПРИБОРА ДВУХ СПЕКТРАЛЬНЫХ ОТНОШЕНИЙ



**Н.Ю. Тупкина**  
старший преподаватель кафедры  
Бийского технологического  
института ФГБОУ ВПО «АлтГТУ  
им. И.И. Ползунова»



**Е.В. Сыпин**  
канд. техн. наук, профессор  
кафедры Бийского технологического  
института ФГБОУ ВПО «АлтГТУ  
им. И.И. Ползунова»



**С.А. Лисаков**  
инженер кафедры Бийского  
технологического института  
ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И.  
Ползунова»



**А.Н. Павлов**  
канд. техн. наук, профессор  
кафедры Бийского  
технологического института  
ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И.  
Ползунова»



**Г.В. Леонов**  
д-р техн. наук, профессор,  
заведующий кафедрой Бийского  
технологического института  
ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И.  
Ползунова»

Разработаны методики и выполнена экспериментальная проверка эксплуатационных параметров оптико-электронного прибора двух спектральных отношений. Установлено, что прибор имеет высокое быстродействие и достоверность принятия решения и благодаря используемому методу спектрального отношения способен работать в условиях запыленной среды.

Работа выполнена при поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (программа «СТАРТ», контракт № 12502р/23958 от 28.02.2014).

**Ключевые слова:** ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЙ ПРИБОР, МЕТОДИКА, ВЕРОЯТНОСТЬ ОБНАРУЖЕНИЯ, УГЛОВОЕ ПОЛЕ, БЫСТРОДЕЙСТВИЕ, ПОРОГОВАЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ

Обеспечение производственной безопасности угледобывающих предприятий в настоящее время является важной задачей, что подтверждается статистической информацией, приводимой в ежегодных аналитических обзорах, публикуемых в журнале «Уголь» [1, 2]. Наиболее эффективным направлением работ по предотвращению взрывов метана и угольной пыли в шахтах является разработка приборов и систем, способных обнаружить очаг возгорания на ранней стадии. В данной области накоплен большой

опыт, разработан и функционирует ряд систем и приборов обнаружения и локализации очага возгорания [3, 4]. Составной частью таких систем является датчик, реагирующий на один из факторов возникновения очага возгорания. При этом датчик должен обладать следующими свойствами: высокое быстродействие, нечувствительность к влиянию промежуточной среды, устойчивость к воздействию внешних оптических помех.

Указанные свойства достаточно хорошо обеспечивают оптико-электронные датчики и приборы. Предложен ряд оптико-электронных приборов (ОЭП) предназначенных для работы в системах обнаружения и локализации очага возгорания [5–8], к таким приборам относятся и оптико-электронный прибор двух спектральных отношений [9]. Прибор использует излучение в трёх спектральных диапазонах ( $750 \pm 40$  нм,  $950 \pm 50$  нм,  $1550 \pm 12$  нм), на основе которых формирует два спектральных отношения, по анализу которых принимает решение о возникновении (или отсутствии) очага возгорания. Также особенностью прибора является использование в нём оптической системы с отдельными объективами каналов. Оптическая

система с отдельными объективами каналов включает три входных зрачка, расположенных в одной плоскости с центрами в вершинах равнобедренного треугольника. Входные зрачки касаются друг друга и направлены на источник возгорания, а оптические оси каналов параллельны.

При разработке прибора заданы следующие параметры [10]:

- быстродействие – не более 10 мс;
- угловое поле – не менее 10 градусов;
- пороговая чувствительность по температуре – 600 °С;
- вероятность обнаружения очага возгорания в отсутствие внешних оптических помех – не менее 0,95;
- вероятность ложного срабатывания – не более 0,05;
- вероятность обнаружения очага возгорания в присутствии внешних оптических помех – не менее 0,95.

Далее была поставлена задача определения параметров разработанного оптико-электронного прибора двух спектральных отношений (ОЭП ДСО), которая может быть решена с использованием лабораторного стенда [11], который позволяет определить все требуемые параметры прибора, за исключением быстродействия. Быстродействие прибора в условиях близких к реальным следует определять в опытных шахтах и штольнях или с помощью специально разработанных установок, например, с помощью экспериментальной установки для проведения взрывов пылегазовоздушных смесей [12].

Каждый канал прибора имеет пороговую чувствительность  $U_{пор}$ , которая определяется используемым в канале фотоприёмником. По результатам предварительно проведенных лабораторных испытаний наибольшее пороговое значение напряжения  $U_{пор}$  соответствует каналу

с рабочей длиной волны 950 нм, оно составляет 12 мВ и определяет пороговую чувствительность прибора Упор в целом.

Для ОЭП ДСО наиболее важным параметром является достоверность принятия решения, которая является комплексным параметром и определяется по совокупности:

- вероятности обнаружения очага возгорания в отсутствие оптических помех;
- вероятности ложного срабатывания;
- вероятности обнаружения очага возгорания в присутствии внешних оптических помех.

Определение вероятности обнаружения очага возгорания состоит в проведении серии опытов на лабораторном стенде [11], заключающихся в том, что в одинаковых условиях с перерывами не менее двух минут убирается перегородка между источником-имитатором очага возгорания и ОЭП ДСО и фиксируется срабатывание прибора или пропуск возгорания. В качестве источника-имитатора очага возгорания используется метановая горелка, в начальный момент времени перегородка установлена (рис.1).

Вероятность обнаружения очага возгорания определяется по формуле.

$$P_{обн} = N_{ср} / N, \quad (1)$$

где  $N_{ср}$  – количество срабатываний прибора,  $N$  – количество экспериментов в серии.

Аналогичным образом определяется и вероятность ложного срабатывания:

$$P_{лож ср} = N_{лож ср} / N, \quad (2)$$

где  $N_{лож ср}$  – количество ложных срабатываний прибора,  $N$  – количество экспериментов в серии.

Вероятность обнаружения очага возгорания в условиях внешних оптических помех определяется при одновременном воздействии на входной зрачок прибора излучения от источника-имитатора очага возгорания и источников помех и рассчитывается по формуле (1).

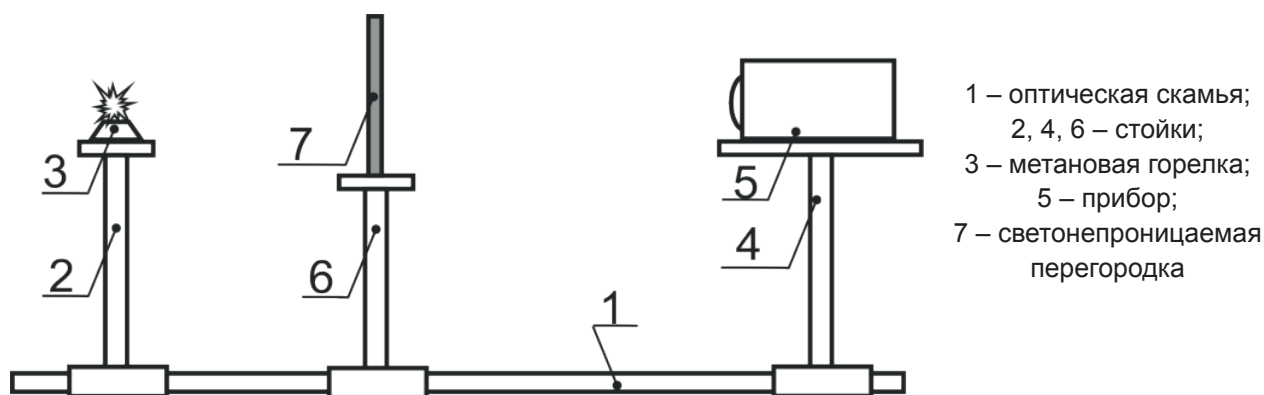


Рисунок 1 – Конструкция лабораторного стенда для определения вероятности обнаружения очага возгорания

Таблица 1 – Результаты серии экспериментов по определению вероятности обнаружения возгорания

Серия измерений	Вид источника помехи	Отношение сигнал-шум	Количество срабатываний	Количество пропусков возгорания	Вероятность обнаружения
1	нет	2	70	30	0,70
2	нет	3	96	4	0,96
3	Лампа накаливания 60 Вт	3	95	5	0,95

Таблица 2 – Результаты серии экспериментов по определению вероятности ложного срабатывания (отношение сигнал-шум равно 3)

Вид источника помехи согласно [13]	Количество ложных срабатываний	Количество отсутствия срабатываний	Вероятность ложного срабатывания
Люминесцентная лампа мощностью 20 Вт	0	100	0,00
Люминесцентная лампа мощностью 40 Вт	0	100	0,00
Лампа накаливания мощностью 60 Вт	10	90	0,10
Лампа накаливания мощностью 100 Вт	5	95	0,05

Результаты серии проведенных экспериментов по определению достоверности принятого решения показаны в таблицах 1 и 2.

Из анализа данных таблицы 1 следует, что при отношении сигнал-шум равном двум, вероятность обнаружения возгорания прибором меньше требуемого значения, которое установлено равным 0,95. Для того чтобы повысить вероятность обнаружения, отношение сигнал-шум принято равным трём, что привело к увеличению пороговой чувствительности прибора  $U_{пор}$ , которая стала равна 18 мВ. В результате повторно проведенных серий измерений было установлено, что вероятность обнаружения очага возгорания как в отсутствии, так и в присутствии оптических помех соответствует значениям, установленным при разработке прибора. Вероятность ложного срабатывания (табл. 2) также соответствует требуемому значению.

Быстродействие разработанного трёхканального ОЭП ДСО определяется интервалом времени между появлением очага возгорания в угловом поле и моментом выдачи прибором сигнала активации. За момент появления очага возгорания может быть принят момент появления очага возгорания, соответствующий моменту поджига газовой смеси. Этот способ достаточно просто реализуется, но на практике его использование дает слишком большую погрешность при определении момента

времени появления очага возгорания. Это объясняется тем, что с течением времени очаг возгорания развивается, и в некоторый момент времени поток излучения, испускаемый очагом возгорания, будет соответствовать пороговой чувствительности прибора  $\Phi_{пор}$ . При этом время с момента поджига до момента, когда поток излучения станет равным  $\Phi_{пор}$ , может оказаться значительным. Поэтому более корректно определить момент появления очага возгорания с помощью дополнительных технических средств, работающих независимо от прибора и фиксирующих момент появления очага возгорания.

Для определения быстродействия ОЭП ДСО используется экспериментальная установка для проведения взрывов пылегазовоздушных смесей [12]. Методика определения быстродействия ОЭП ДСО заключается в выполнении серии экспериментов, в каждом из которых производится взрыв газовой смеси и регистрация сигналов внешним модулем АЦП, подключенным параллельно выходам схемы усиления сигналов каждого канала, после чего следует обработка результатов эксперимента.

Результаты каждого эксперимента представлены в виде осциллограмм сигналов каналов прибора и сигнала активации взрывоподавляющего устройства (рис. 2), по которым определяется разности  $\Delta t$  между моментом времени, когда напряжения на выходах всех фото-

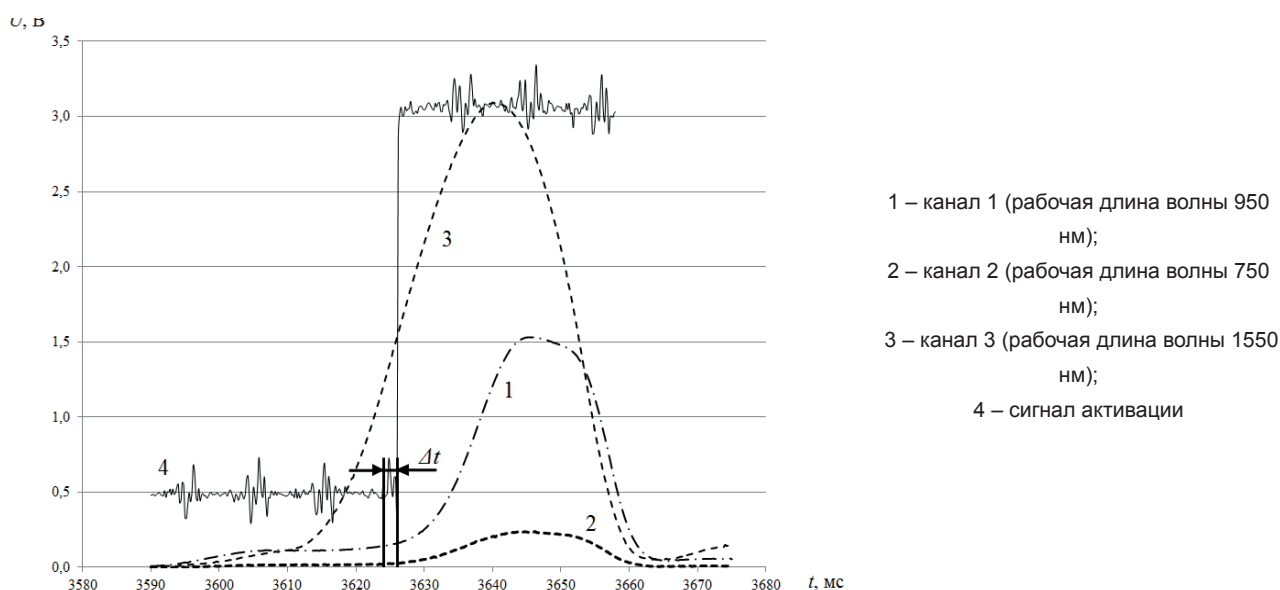


Рисунок 2 – Осциллограмма сигналов каналов прибора и сигнала активации устройства взрывоподавления

приёмников превысит пороговое значение  $U_{пор}$ , и моментом времени, соответствующим выдаче сигнала активации прибором.

По результатам проведенной серии из 10 экспериментов значение быстродействия ОЭП ДСО составляет 2,877 мс, что соответствует требованиям, предъявляемым к прибору.

Далее необходимо выполнить определение порога чувствительности ОЭП ДСО. Для этого в качестве источника излучения в лабораторном стенде [11] используется образцовый излучатель в виде модели абсолютного тела АЧТ-45/100/1000 [14], а выходы схемы усиления сигналов каждого канала подключаются через модуль АЦП к персональному компьютеру. При проведении испытаний расстояние до излучателя выбирается таким образом, чтобы он соответствовал очагу возгорания с минимально требуемыми параметрами обнаружения. Определение порога чувствительности по температуре состоит в выполнении серии измерений напряжений на каждом канале прибора  $U_1$ ,  $U_2$  и  $U_3$  в зависимости от температуры образцового излучателя  $T$ . Обработка экспериментальных данных заключается в усреднении полученных значений напряжений для каждого значения температуры и построении их зависимостей  $U_{1cp}(T)$ ,  $U_{2cp}(T)$  и  $U_{3cp}(T)$  (рис. 3а), после чего необходимо определить точки пересечения построенных зависимостей с уровнем напряжения соответствующим порог чувствительности прибора  $U_{пор}$  (рис. 3 б).

Значения  $U_{пор}$  должны достигнуть сигналы всех трёх каналов, только тогда ОЭП ДСО может определить наличие или отсутствие очага возгорания. Поэтому порог чувствительности по температуре для зависимостей, представленных на

рисунке 3б, будет соответствовать температуре  $T_{пор}$  равной  $755^{\circ}\text{C}$ , поскольку значение напряжения равно порогу чувствительности  $U_{пор}$  позже всех достигается каналом 2 (рабочая длина волны 750 нм).

Полученное в результате экспериментов значение пороговой чувствительности превышает заданное при разработке значение. Но на практике точность установки порога чувствительности по температуре является неприципиальной для приборов контроля, к которым относится исследуемый ОЭП ДСО. Увеличение порога чувствительности приведёт к увеличению порога срабатывания, что скажется на увеличении времени принятия решения о росте температуры и быстродействии прибора. Но поскольку быстродействие прибора составляет 2,877 мс, что в три раза меньше, чем требуется на практике, указанный факт не является критичным.

Угловое поле прибора – пространственный угол с вершиной в центре входного зрачка оптической системы прибора, в пределах которого может быть обнаружен очаг возгорания.

Поскольку в исследуемом ОЭП ДСО угловое поле обладает центральной симметрией, оно может выражаться значением линейного угла раствора соответствующего пространственного угла.

Определение углового поля ОЭП ДСО проводится с использованием лабораторного стенда [11] согласно рекомендациям, приведенным в [13], при этом в качестве источника излучения используют метановую горелку. Результатом серии проведенных экспериментов является построенная диаграмма чувствительности (рис. 4), по которой определяют значение углового поля.

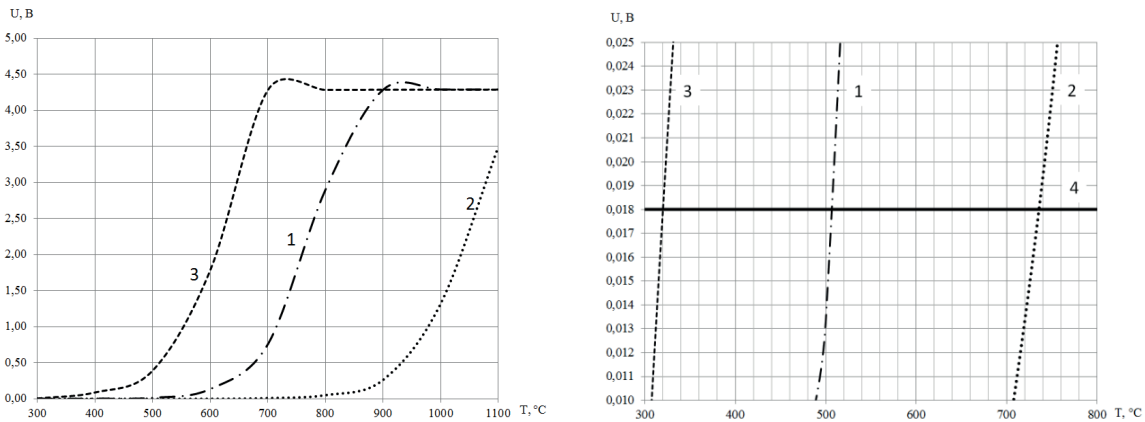


Рисунок 3 – Зависимости средних значений напряжений на каждом канале прибора от температуры излучателя (расстояние до ф 0,5 м) 1 – канал 1 (рабочая длина волны 950 нм); 2 – канал 2 (рабочая длина волны 750 нм); 3 – канал 3 (рабочая длина волны 1550 нм); 4 – пороговая чувствительность по напряжению

С учётом коэффициента неустойчивости  $k = 2$  и максимального расстояния между прибором и источником излучения, при котором происходит срабатывание  $l_{max} = l$  согласно [13], получим:

$$l_{min} = 0,707 \cdot l_{max}, \quad (3)$$

где  $l_{min}$  – минимальное расстояние между прибором и источником излучения при повороте прибора на угол  $\alpha$ .

В ходе работы было проведено исследование углового поля ОЭП ДСО, в котором во всех каналах установлены фотоприёмники с различным размером чувствительной площадки (рис. 4).

Полученные на практике значения угло-

вого поля отличаются от полученных расчетных значений [15], отличие составляет до 32,88 % (если все фотоприёмники имеют размер чувствительной площадки  $5 \times 5$  мм). Это объясняется неточной настройкой положения входных зрачков оптической системы и снижением чувствительности фотоприёмников на краях чувствительной площадки. Тем не менее, оптическая система ОЭП ДСО обеспечивает угловое поле 10 градусов (рис. 4а), что вполне приемлемо на практике.

Таким образом, в результате работы разработаны методики для экспериментальной проверки эксплуатационных параметров оптико-электронного прибора двух спектральных

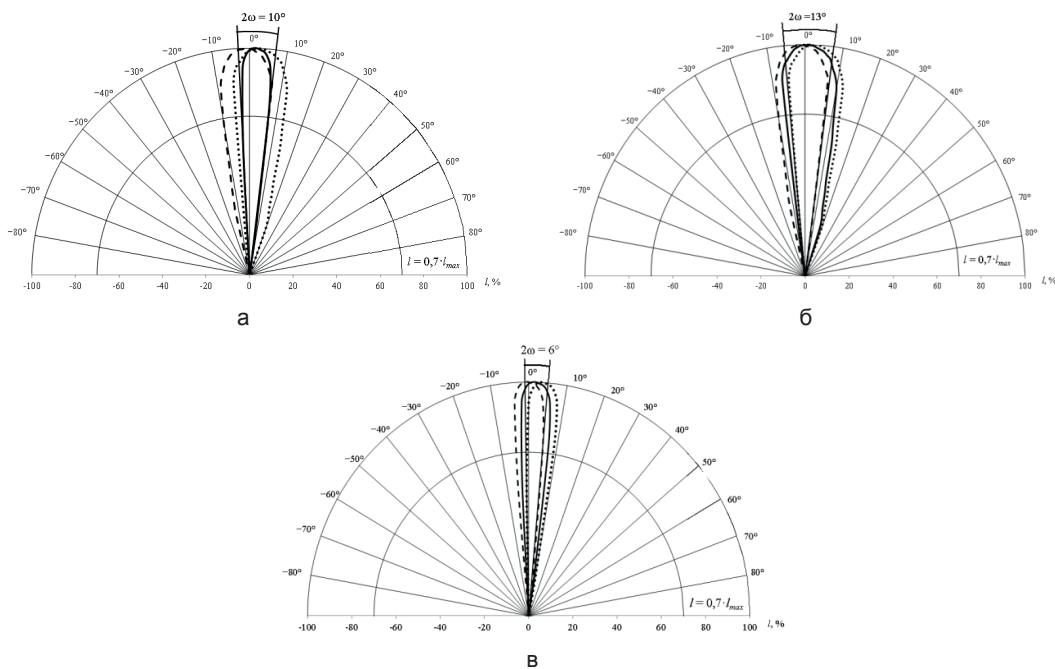


Рисунок 4 – Диаграмма чувствительности прибора: а – размер чувствительной площадки двух фотоприёмников  $10 \times 10$  мм, третьего фотоприёмника  $5 \times 5$  мм; б – размер чувствительной площадки фотоприёмников  $10 \times 10$  мм; в – размер чувствительной площадки фотоприёмников  $5 \times 5$  мм

отношений и выполнена проверка параметров прибора по разработанным методикам. На основании проведенного экспериментального определения параметров прибора установлено, что они соответствуют поставленным при разработке прибора требованиям. Исключением является пороговая чувствительность по температуре. Но значение указанного параметра

не является критичным для приборов обнаружения. По сравнению с аналогами, разработанный ОЭП ДСО имеет более высокое быстродействие и достоверность принятия решения. Прибор имеет программно-аппаратную защиту от ложных срабатываний и благодаря используемому методу спектрального отношения способен работать в условиях запыленной среды.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Таразанов, И.Г. Итоги работы угольной промышленности России за 2013 год / И.Г. Таразанов // Уголь. – 2014. – № 3. – С. 53–67.
2. Таразанов, И.Г. Итоги работы угольной промышленности России за январь-декабрь 2014 г. / И.Г. Таразанов // Уголь. – 2015. – № 3. – С. 56–71.
3. МВК по ВД при АГН: Автоматическая система взрывоподавления–локализации взрывов (АСВП-ЛВ.1М) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mvkmine.ru/rus/asvp>.
4. Система взрывозащиты газоотводящих сетей (СВГСА) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.methanesafety.ru/document/89.html>.
5. Терентьев, С.А. Проектирование лабораторного образца пирометрического датчика с цилиндрическими линзами / С.А. Терентьев [и др.] // Ползуновский вестник. – 2012. – №3/2. – С. 93–95.
6. Повернов, Е.С. Лабораторный образец быстродействующего многопорогового прибора контроля аварийных и предаварийных ситуаций во взрывоопасной атмосфере / Е.С. Повернов, [и др.] // Ползуновский вестник. – 2013. – № 2. – С. 172–178.
7. Сидоренко, А.И. Разработка лабораторного образца пирометрического датчика координат очага возгорания с полевой диафрагмой / А.И. Сидоренко, А.Н. Павлов, Е.В. Сыпин. // Датчики и системы. – 2014. – № 1. – С. 48–53.
8. Кураев, А.В. Программно-аппаратный комплекс для управления многоточечной системой определения координат очага возгорания / А.В. Кураев, С.А. Лисаков, А.Н. Павлов, Е.В. Сыпин // Ползуновский вестник. – 2014. – № 2. – С. 179–183.
9. Тупикина, Н. Ю. Трёхканальный оптико-электронный прибор обнаружения очага возгорания на ранней стадии в газодисперсной среде / Н. Ю. Тупикина, Е. В. Сыпин, Е. С. Повернов и др. // Ползуновский вестник. – 2012. – № 3/2. – С. 152–157.
10. Тупикина, Н.Ю. Разработка и исследование экспериментального образца активной системы раннего обнаружения и подавления очага возгорания: отчёт о НИОКР (закл.) по контракту 12502р/23958 от 28.02.2014) / ООО «Светоток»; рук. Тупикина Н.Ю. – Бийск, 2015. – 64 с. – Исполн.: Сыпин Е.В., Повернов Е.С., Герасимов Д.А., Павлов А.Н., Лисаков С.А.. – Библиогр.: с. 54–56. – Рег. № НИОКР 01201462203 – Рег. № ИКРБС 215040140017.
11. Тупикина, Н. Ю. Разработка стенда для исследования параметров оптико-электронных приборов обнаружения начальной стадии возгорания / Н.Ю. Тупикина, Е.В. Сыпин // Датчики и системы. – 2013. – № 10 (173). – С. 32–35.
12. Сидоренко, А.И. Установка для экспериментального исследования систем взрывоподавления / А.И. Сидоренко, Д.В. Герасимов, А.Н. Павлов, Е.В. Сыпин // Датчики и системы. – 2013. – № 10. – С. 27–31.
13. ГОСТ Р 53325-2012. Техника пожарная. Технические средства пожарной автоматики. Общие технические требования. Методы испытаний. [Текст]. – М.: Стандартинформ, 2012. – 270 с.
14. Излучатель в виде модели абсолютно черного тела АЧТ-45/100/1100. Руководство по эксплуатации ДДШ 2.979.005 РЭ. – 26 с.
15. Тупикина, Н.Ю. Методика расчёта параметров оптической системы трёхканального пирометрического прибора с отдельными объективами каналов / Н.Ю. Тупикина, Е.В. Сыпин, Е.Я. Куляцев // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2015. – № 1. – С. 36–42.

TWO SPECTRAL RATIOS OPTIC ELECTRONIC INSTRUMENT OPERATIONAL PARAMETERS EXPERIMENTAL TEST

**Tupikina N. Yu., Sypin Ye. V., Lisakov S. A., Pavlov A. N., Leonov G. V.**

Methods are developed and experimental tests fulfilled of two spectral ratios optic electronic instrument operational parameters. It was found that the device has a high speed and accuracy of decision-making and due to the used spectral ratio method it is able to work in a dusty environment.

The work is done with support of Foundation for assistance to small innovative enterprises in science and technology ("Start" program, Contract No. 12502p/23958 dated by 28.02.2014).

**Key words:** OPTIC ELECTRONIC INSTRUMENT, METHODS, PROBABILITY OF DETECTION, THE ANGULAR FIELD, SPEED, THRESHOLD SENSITIVITY

Тупикина Надежда Юрьевна  
e-mail: tnu@bti.secna.ru

Сыпин Евгений Викторович  
e-mail: sev@bti.secna.ru

Лисаков Сергей Анатольевич  
e-mail: foxlsa@mail.ru

Павлов Андрей Николаевич  
e-mail: pan@bti.secna.ru

Леонов Геннадий Валентинович  
e-mail: leonov@bti.secna.ru

ПОРТАЛ ПРОМБЕЗОПАСНОСТИ  
группы компаний «Горный-ЦОТ» и «ВостЭКО»

ГЛАВНАЯ    КОНТАКТЫ    Разра    Поиск...

Группа компаний  
О нас  
Горный-ЦОТ  
ВостЭКО  
ВостЭКО+  
Сертификаты и лицензии  
Продукция  
Услуги  
Научная деятельность  
Подготовка кадров  
Вестник  
Руководство

**ВСТРЕЧИ С СЕМЬЯМИ ПОГИБШИХ ГОРНЯКОВ**  
15-07-2015  
В Кузбассе прошли первые в этом году традиционные встречи с родственниками погибших горняков.  
Подробнее...

**В РАЗВИТИЕ ГЛАВНОЙ ТЕМЫ**  
24-06-2015  
Из печати вышел второй в этом году номер научно-технического журнала «Вестник». В своём обращении к читателям главный редактор издания, доктор технических наук Нэля Вадимовна Трубицына подчеркивает, что на угледобывающих предприятиях Кузнецкого бассейна аварийность с тяжёлыми последствиями и человеческими жертвами заметно снизилась.

Актуально  
НЕ НУЖЕН УГОЛЬ ЛЮБОЙ ЦЕНОЙ  
ПРОКУРАТУРА  
"УГОЛЬНАЯ" ПРОКУРАТУРА: ИТОГИ ПОЛУГОДА

Научные публикации  
КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ ПУНКТОВ КОЛЛЕКТИВНОГО СПАСЕНИЯ ПЕРСОНАЛА ПРИ

indsafe.ru  
ПОРТАЛ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ



УДК 53.083(430.1)

## ВИБРОАНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ АСПИРАЦИОННЫХ СИСТЕМ, ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ НА ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИКАХ КУЗБАССА

*В основу работы положены результаты анализа параметров виброакустических волн, генерируемых при работе динамического оборудования aspirationных систем и установок, эксплуатируемых в угольной промышленности Кузбасса. Сформулированы основные диагностические правила для оценки технического состояния такого класса техники. Доказано, что только широкое использование современных методов вибрационной диагностики и неразрушающего контроля дает возможность своевременного выявления различных типов дефектов оборудования и прогнозирования динамики изменения технического состояния машин и агрегатов.*

**Ключевые слова:** ВИБРОДИАГНОСТИКА, АСПИРАЦИОННАЯ СИСТЕМА, ДИНАМИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИМ ОБСЛУЖИВАНИЕМ

**П**риоритетной задачей развития угольной и горнорудной отраслей промышленности России является безопасная эксплуатация технологического оборудования. Сделать работу обслуживающего персонала максимально безопасной, улучшить экономические показатели работы, оптимизировать логистику и складское хозяйство – вот далеко не полный перечень острых проблем, с которыми столкнулись угледобывающие и перерабатывающие предприятия Кузбасса.

Контроль по параметрам механических колебаний является на сегодняшний день единственным методом неразрушающего контроля, позволяющим эффективно выполнить диагностику технического состояния узлов и агрегатов динамического оборудования, т. к. максимальную информацию о состоянии работающего агрегата можно получить практически мгновенно [1, 2].

Определение предельных характеристик допустимого состояния дробильно-сортировочного и углеобогачительного оборудования, разработка математических моделей развития дефектов и формулирование комплексных диагностических

правил для уникального оборудования угольной промышленности являются предметом исследования ученых Института угля СО РАН ИУ СО РАН и ФГБОУ ВПО «КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева».

В рамках настоящей работы подробно рассматриваются особенности проведения расширенного анализа параметров виброакустических волн, генерируемых динамическим оборудованием aspirationных систем и установок рис. 1. Анализ данных параметров вибрации, полученных при обследовании выборки из 30 единиц динамического оборудования aspirationных систем (вентиляторы и газоочистные установки различного типа и конструкции) позволил заключить, что наибольшее распространение здесь получили следующие основные типы неисправностей и повреждений:

- дисбаланс ротора электродвигателя;
- расцентровка привода установки;
- дефекты подшипниковых узлов (перекосы, ослабления посадок, увеличение зазоров, износы беговых дорожек, тел качения и сепараторов, нарушение режима смазки);
- дефекты элементов соедине-



**П.Б. Герике**

канд. техн. наук, доцент, старший научный сотрудник Института угля СО РАН

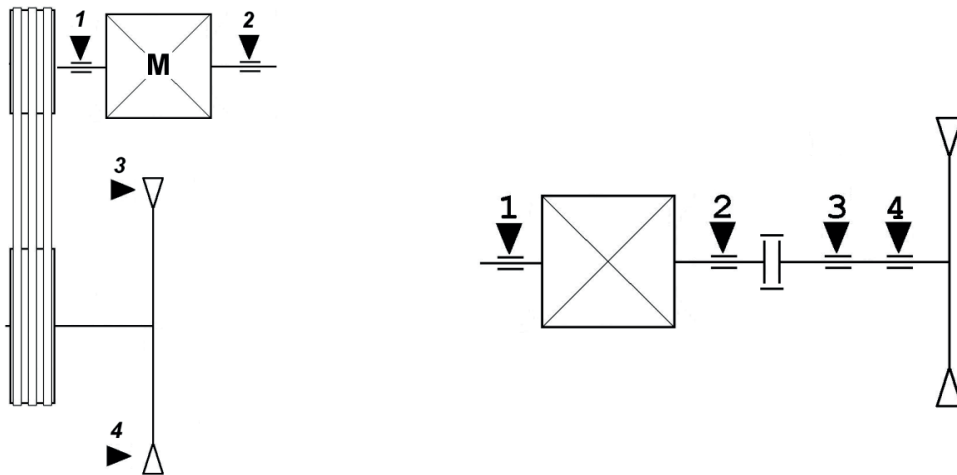


Рисунок 1 – Схема проведения замеров параметров вибрации на газоочистных установках ЛИОТ

тельных муфт;

- износ рабочих колес вентиляторов;
- различные дефекты двигателей электромагнитного происхождения (магнитная асимметрия якоря, перекося фаз, смещение в магнитном поле, и т. д.);

- нарушение жесткости системы.

Ниже приведены некоторые примеры анализа параметров виброакустической волны, содержащей информацию о наличии наиболее распространенных дефектов динамического оборудования аспирационных систем, эксплуатируемых на обогатительных фабриках Кузбасса. Причины и природа возникновения таких процессов различны, однако все они могут быть классифицированы по таким признакам, как частотные диапазоны их проявления, а также по количеству энергии, содержащейся в разрушительном для агрегата колебательном процессе. Спектральное представление полигармонической волны рис. 2 иллюстрирует наиболее распространенные дефекты монтажа аспирационных установок – расцентровку привода и общее

нарушение жесткости системы.

Принимая во внимание условия эксплуатации аспирационных и газоочистных установок, представляется невозможным использование какого-либо одного метода виброконтроля для выполнения эффективной диагностики дефектов узлов и элементов их динамического оборудования. Кроме того, на сегодняшний день не существует единого универсального метода, который мог бы с одинаковым успехом применяться в рамках экспресс-диагностики и при периодическом мониторинге технического состояния объектов диагностирования [1, 2]. Только комплексное использование нескольких различных диагностических подходов может предоставить возможность качественно выполнить оценку текущего технического состояния узлов и механизмов конструкции. Так, при выполнении диагностики по параметрам механических колебаний такого элемента как подшипник качения, наилучших результатов удастся достичь с одновременным применением нескольких различных диагностических подходов – прямого спектраль-

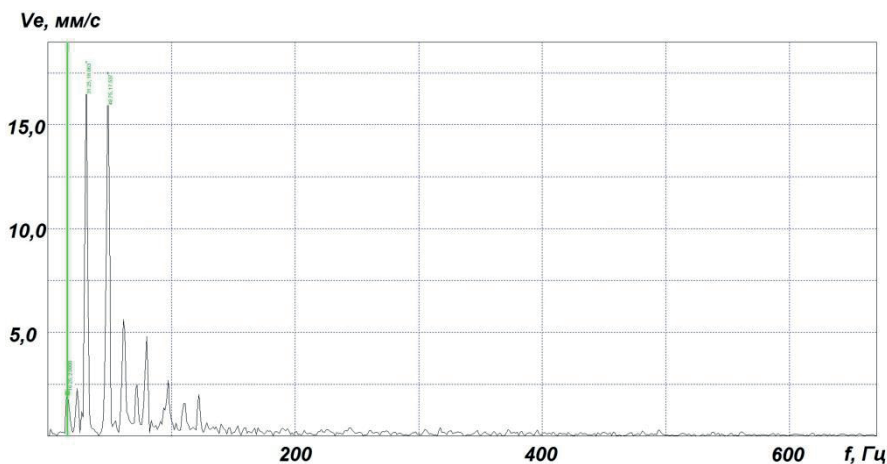


Рисунок 2 – Расцентровка привода и нарушение жесткости системы аспирационной установки

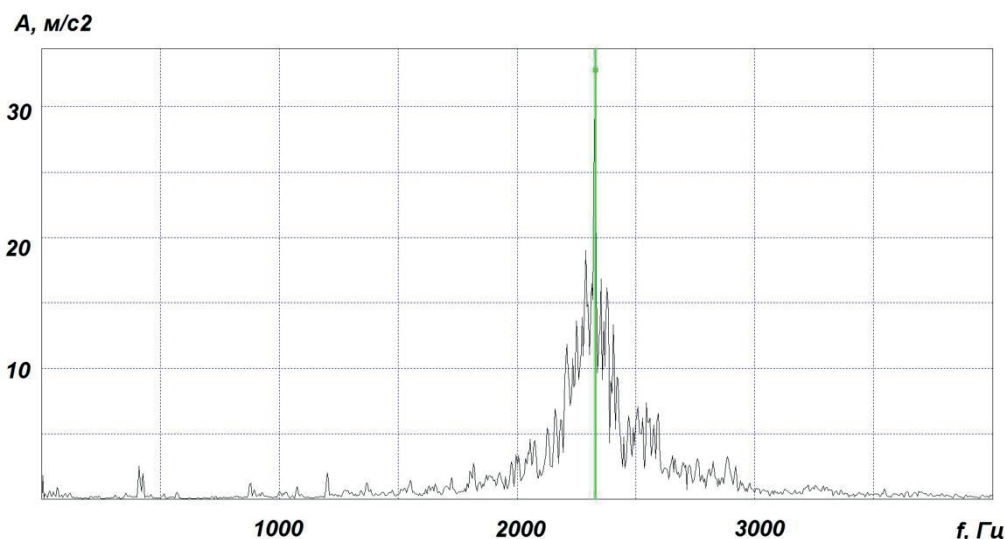


Рисунок 3 – Развитый дефект подшипника электродвигателя газоочистной установки ЛИОТ

ного анализа, анализа спектра огибающей, метода ударных импульсов и эксцесс [3–5].

Рисунок 3 иллюстрирует результаты использования комплексного подхода к диагностике сложных механических систем. Обработкой исходной виброакустической волны методом эксцесса удалось обнаружить серьезную неисправность подшипника электродвигателя газоочистной установки ЛИОТ со стороны соединительной муфты, результаты анализа позволяют сделать вывод о недопустимости дальнейшей эксплуатации узла. Однако установить конкретный тип дефекта подшипника качения (или их сочетание) данным методом контроля не представляется возможным. Для уточнения полученных результатов был применен метод прямого спектрального анализа, при помощи которого удалось выявить ряд значащих гармонических составляющих спектра, свидетельствующих о наличии сразу нескольких повреждений дефектного узла – трещины сепаратора, изменении формы тел качения и нарушении режима смазки подшипника.

Результаты, полученные в ходе проведения исследований параметров вибрации, генерируемой динамическим оборудованием в процессе работы, приняты за основу при определении критериев предельно допустимого состояния узлов и агрегатов горных машин, дробильно-сортировочного и обогатительного оборудования. Примером реализации указанных подходов служит классификация зон оценки технического состояния агрегатов динамического оборудования одноковшовых карьерных экскаваторов, основные положения которой изложены в методике [6], разработанной при участии

ученых ИУ СО РАН. Еще одним направлением реализации предложенной концепции является разработка комплекса диагностических правил, описывающих комбинации признаков наличия всех основных типов дефектов динамического оборудования и используемых при прогностическом моделировании развития неисправностей и повреждений горных машин. Описанные подходы к диагностике сложных механических систем по параметрам вибрации являются неотъемлемыми фундаментальными элементами системы обслуживания техники по её фактическому техническому состоянию. Именно внедрение элементов этой концепции на предприятиях угольной и горнорудной промышленности позволит уйти от морально устаревшей системы планово-предупредительных ремонтов, и тем более исключить так распространенную сегодня «аварийную схему» обслуживания техники.

Пример спектра на рисунке 4 иллюстрирует еще одно из преимуществ системы обслуживания по фактическому состоянию. Результаты выполненного контроля по параметрам вибрации позволили выявить наличие заводского брака подшипника качения – изменение формы тел качения (гранность) – что было бы невозможным без использования входного контроля, основанного на реализации принципов диагностики по параметрам механических колебаний.

Еще одним распространенным дефектом монтажа аспирационных установок является расцентровка привода и/или нарушение соосности шкивов ременной передачи [7]. Этому дефекту соответствуют как минимум шесть диагностических признаков с точки зрения виброанализа, часть из них совпадает в частотной плоскости с признаками наличия повреждений совершенно

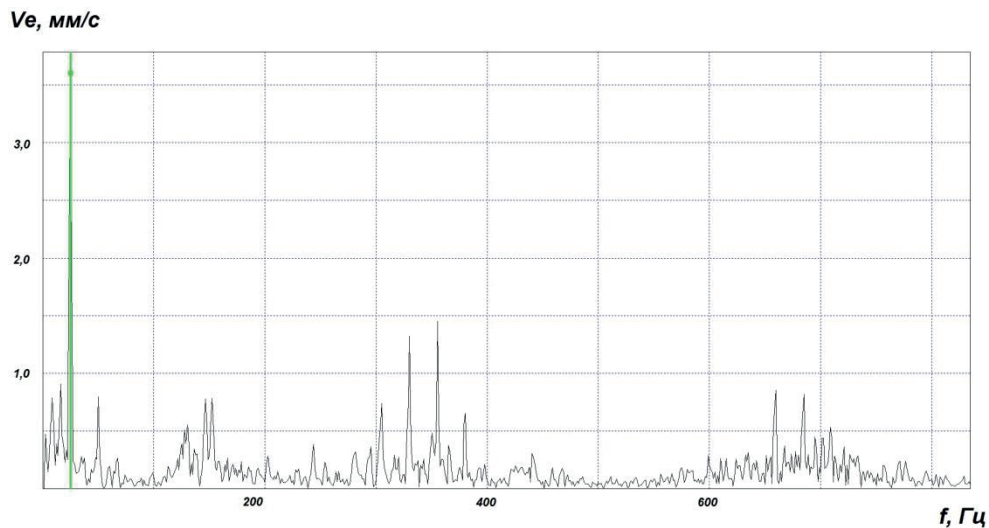


Рисунок 4 – Спектр полигармонической волны, содержащей информацию об изменении формы тел качения нового подшипника, установленного после проведения годового ремонта согласно нормам ППР

иной природы, что заметно усложняет процесс интерпретации полученных результатов. Однако основным признаком служит наличие в спектре гармонического ряда оборотной частоты вплоть до гармоники  $6f_R$ . Степень выраженности отдельных составляющих и их конкретные комбинации зависят от целого ряда причин, таких как степень развития дефекта и конструктивные или кинематические особенности агрегата.

Другие распространенные дефекты ременной передачи, такие как растрескивание, биение, перекручивание ремней и другие, вызывают заметную гармоническую активность на частоте  $f_{\text{ремня}} = f_{\text{ш}} \cdot \pi \cdot D / L$ , её гармониках и обертонах ( $D$  – диаметр шкива, мм;  $L$  – длина ремня, мм;  $f_{\text{ш}}$  – оборотная частота шкива, Гц). Частота проявления дефекта относительно мала, однако ее гармонический ряд обычно представляет собой довольно большую совокупность составляющих с очень малым шагом, которые могут достигать

достаточно значительных амплитуд и вносить весомый вклад в общий уровень сигнала (рис.5).

Обобщая статистику проведенных исследований, можно заключить, что одним из самых мощных низкочастотных высокоэнергетических колебательных процессов из числа тех, что сопровождают развитие дефектов динамического оборудования аспирационных и газоочистных установок, является дисбаланс ротора электродвигателя (см. рис. 6) или рабочего колеса вентилятора [8, 9]. В сочетании с расцентровкой привода установки и ярко выраженным нарушением жесткости опорной системы такой процесс вполне может привести к возникновению аварийной ситуации, отрыву элементов агрегата от опор и частичному или полному разрушению конструкции, что неминуемо приведет к значительному риску для жизни обслуживающего и ремонтного персонала. Ремонтные службы эксплуатирующих предприятий зачастую пренебрегают

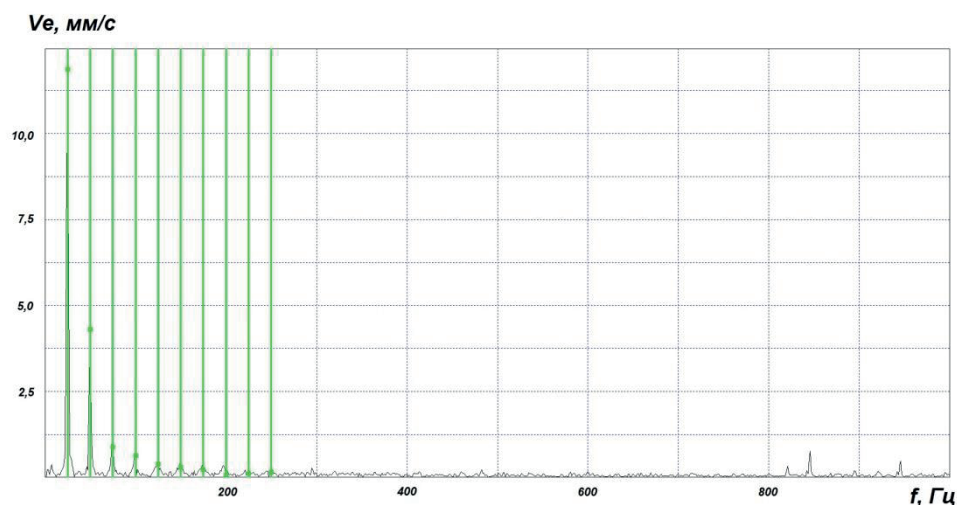


Рисунок 5 – Нарушение соосности шкивов ременной передачи привода газоочистной установки

работами, связанными с балансировкой, предпочитая не замечать наличия этой проблемы. Техническое состояние агрегата в этом случае часто доводится до критического, что было бы исключено, если бы на предприятиях действовали нормы системы обслуживания оборудования по фактическому техническому состоянию.

Одним из факторов, препятствующих внедрению подобной системы, является отсутствие укомплектованности ремонтных подразделений промышленных предприятий специалистами неразрушающего контроля, оборудованием и материалами. Другой фактор обусловлен недостаточной проработкой научной базы, необходимой для разработки и внедрения таких элементов системы активного обслуживания по состоянию, как прогнозные модели развития дефектов узлов и агрегатов динамического оборудования широкого типового ряда горных машин и обогатительного оборудования, а также критерии предельного состояния механизмов и металлоконструкций эксплуатируемой техники.

Сегодня организация системы ремонтов на предприятиях угольной и горнорудной промышленности Кузбасса представляет собой сочетание системы планово-предупредительных ремонтов и так называемого аварийного обслуживания, последствия которого зачастую критичны для состояния техники. Именно поэтому применение в системе обслуживания методов и средств неразрушающего контроля становится как никогда актуальным.

Результаты выполненных исследований свидетельствуют о том, что сбор и обобщение статистической информации по параметрам механических колебаний необходимо продолжить – об этом убедительно свидетельствуют резуль-

таты исследований в области обработки виброакустических сигналов, генерируемых при работе дробильно-сортировочного и обогатительного оборудования. Результаты обработки большого массива данных, структурированного по типам и маркам оборудования, предоставят возможность обоснования точных критериев предельно допустимого состояния для широкого ряда горных машин, разработки математических деградационных моделей изменения технического состояния объектов диагностирования и уточнения зависимостей, используемых для расчета остаточного ресурса технических устройств, эксплуатируемых на опасных производственных объектах. Только комплексное применение всех перечисленных элементов предоставит возможность внедрения на предприятиях угольной и горнорудной промышленности Кузбасса качественно новой системы обслуживания горной техники по фактическому техническому состоянию, преимущества которой, по сравнению с традиционной системой планово-предупредительных ремонтов, очевидны. Это и повышение эффективности управления техническим обслуживанием, и оптимизация логистических издержек предприятия, минимизация аварийных простоев техники, безопасная эксплуатация производственного оборудования, сокращение эксплуатационных издержек на обслуживание (ремонтные работы проводятся только тогда, когда результаты контроля указывают на их необходимость).

Исторически сложилось, что угольная промышленность являлась и является объектом повышенной опасности [10]. Только переход ремонтных служб эксплуатирующих предприятий на управление техническим обслуживанием и

$V_e/V_0$ , дБ

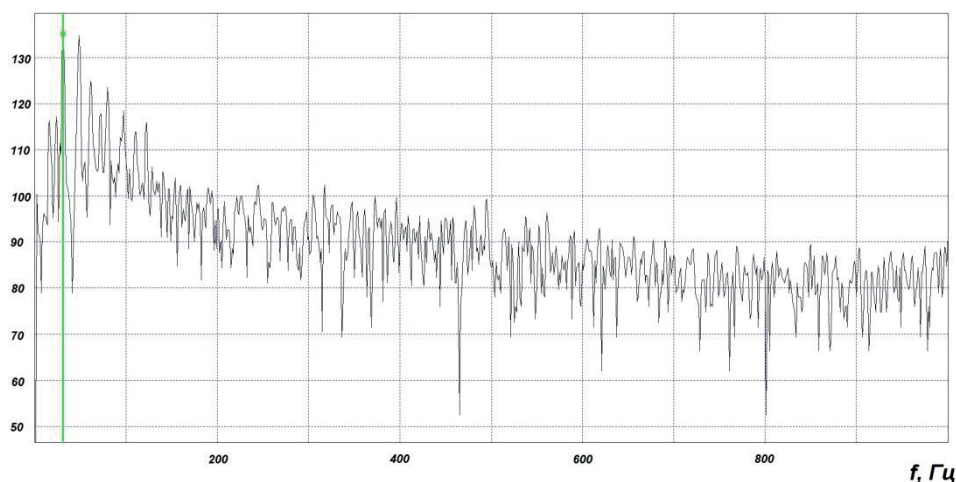


Рисунок 6 – Логарифмическое представление спектральной характеристики по параметру виброскорости, соответствующее развитому дисбалансу ротора электродвигателя аспирационной установки

системой ремонтов по фактическому состоянию позволит эффективно и безопасно эксплуатировать технику. Использование системного подхода к обслуживанию оборудования, основанного на широком применении современных методов неразрушающего контроля, позволит избежать

возникновения серьезных аварийных ситуаций на производстве, связанных с техническим состоянием оборудования и качественно повысить безопасность обслуживающего и ремонтного персонала.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Герике, Б. Л. Диагностика горных машин и оборудования учебное пособие / Б. Л. Герике, П. Б. Герике, В. С. Квагинидзе и др. – Москва, 2012. – 400 с.
2. 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
3. S. Delvecchio, G. Condition monitoring of marine couplings by means of vibration analysis / S. Delvecchio, D'Elia G., Dalpiaz G. // Proceedings of the ASME 2013 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference August 4–7, 2013. – Portland, Oregon, USA.
4. Skeinik, R. Automated fault detection via selective frequency band alarming in PC-based predictive maintenance systems / R. Skeinik, D. Petersen. - CSI, Knoxville, TN, USA.
5. Pozhidaeva, V. Determining the roughness of contact surfaces of the rolling bearings by the method of shock pulses / V. Pozhidaeva // World Tribology Congress III (12.09.05–16.09.05). – USA, Washington, D. C., – Volume 2.
6. РД 15-14-2008. Методические рекомендации о порядке проведения экспертизы промышленной безопасности карьерных одноковшовых экскаваторов.
7. Герике, П. Б. Вибродиагностика оборудования угольной и горнорудной промышленности / П. Б. Герике // Отдельный выпуск Горного информационно-аналитического бюллетеня. – М. Изд-во «Горная книга», 2013. – №06. – С. 440–446.
8. Bently, D. E. Fundamentals of rotating Machinery Diagnostics / D. E. Bently, C. T. Hatch. – Bently Pressurized Press, 2002. – P. 726.
9. Balducchi, F. Experimental analysis of the unbalance response of rigid rotors supported on aerodynamic foil bearings / F. Balducchi, M. Arghir, S. Gaudillere // Proceedings of ASME Turbo Expo 2014: Turbine Technical Conference and Exposition GT2014 June 16–20, 2014, Düsseldorf, Germany.
10. Клишин В. И. Монтаж, демонтаж, эксплуатация и ремонт горно-шахтного оборудования учебное пособие / В. И. Клишин. В. С. Квагинидзе, Г. И. Козовой. – Москва, 2012. – 511 с.

### **VIBRATION ANALYSES OF THE ASPIRATION SYSTEMS DYNAMIC EQUIPMENT OPERATED AT KUZBASS COAL WASHING PLANTS**

Gerike P. B.

The analysis results of vibro-acoustic wave parameters generated during the aspiration systems dynamic equipment and installations operating in the coal industry of Kuzbass are taken as the ground of this work. The basic diagnostic rules for the evaluation of the technical state of this equipment class are formulated. It is proven that only wide usage of modern vibration diagnostics and non-destructive testing methods makes possible the on-time identifying different types of equipment defects and predicting the dynamics of changes in the technical condition of machines and plants.

Key words: VIBRATIONAL DIAGNOSTICS, ASPIRATION SYSTEM, DYNAMIC EQUIPMENT, TECHNICAL SERVICE MANAGEMENT

*Герике Павел Борисович  
e-mail: am\_besten@mail.ru*

# ООО "ВОСТЭКО+"

создано в 2005 году. Однако костяк ее кадрового состава сформировался еще в 2001 году в стенах известной компании-первопроходца «ВостЭКО». За время своего существования ООО «ВостЭКО+» зарекомендовало себя как стабильная, успешно развивающаяся компания, работающая в сфере охраны, нормирования труда и экологии. С самого начала работы и по сегодняшний день мы оперативно отслеживаем все изменения на рынке труда и постоянно совершенствуем свои навыки, что позволяет нам максимально быстро и качественно выполнять все наши контрактные обязательства.

## Испытательная лаборатория ООО «ВостЭКО+» выполняет:

**полный комплекс работ по специальной оценке условий труда согласно действующей области аккредитации в соответствии с требованиями Федерального закона от 28.12.2013 г. № 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда», включающий в себя:**

- ▶ 1) Идентификация потенциально вредных и (или) опасных производственных факторов;
- ▶ 2) Исследования (испытания) и измерения вредных и (или) опасных

производственных факторов с составлением протоколов;

- ▶ 3) Оценку фактического состояния условий труда по степени вредности и опасности;
- ▶ 4) Оформление отчета о проведении специальной оценки условий труда, включая оформление карт специальной оценки условий труда».

indsafe.ru

а так же оказывает услуги следующих направлений:

- ▶ Разработка паспорта канцерогеноопасной организации.
- ▶ Разработка режимов труда и отдыха работников.
- ▶ Разработка и составление плана производственного контроля в соответствии с СП 1.1.1058-01
- ▶ Проведение лабораторных исследований и испытаний (замеров вредных и опасных производственных факторов) в целях

производственного контроля за соблюдением санитарных правил и выполнением санитарно-противоэпидемиологических (профилактических) мероприятий в соответствии с СП 1.1.1058-01.

- ▶ Процедура сертификации работ по охране труда аккредитованным органом.

Лаборатория внесена в реестр аккредитованных организаций, оказывающих услуги в области охраны труда Минздравсоцразвития России под №667 от 29.11.2010 г. (Уведомление № 22-3/10/2-11415)

Аттестат аккредитации испытательной лаборатории № РОСС RU.0001.21ЭП03 от 22.01.2014 г.

Действителен до 23.05.2016 г.



**И.М. Анисимов**  
аспирант ФГБОУ ВПО  
«КузГТУ»



**А.И. Фомин**  
д-р техн. наук, ведущий  
научный сотрудник ученого  
совета АО «НЦ ВостНИИ»

## IV. ПРОБЛЕМЫ И СУЖДЕНИЯ PROBLEMS AND OPINIONS

УДК331.45

### ПОДХОДЫ И КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА НА ПРЕДПРИЯТИИ

*В статье рассмотрены основные подходы и критерии оценки состояния безопасности труда на предприятии. Приведены особенности и зависимость различных показателей путем оценки различных видов экономической деятельности.*

*Ключевые слова: ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ, СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ОХРАНОЙ ТРУДА, КРИТЕРИИ, ПОКАЗАТЕЛИ, ВРЕДНЫЕ И ОПАСНЫЕ УСЛОВИЯ ТРУДА*

**В** связи с неумещающим количеством несчастных случаев, аварий, профессиональных заболеваний на предприятиях, современное производство нуждается в объективной оценке состояния безопасности труда. Для этого требуются прямые показатели, базирующиеся на объективных данных и оценивающие эффективность системы управления охраной труда предприятия.

Для оценки состояния охраны труда предприятия предлагается использование множества коэффициентов, требующих глубокого и объективного анализа даже незначительных факторов, влияющих на конечный результат. Традиционные коэффициенты частоты травматизма, тяжести травматизма и проч. не дают должной объективной оценки работы системы управления охраной труда предприятия. В силу того, что организация оценки состояния безопасности труда является неотъемлемой частью системы управления охраной труда на предприятии, требуется создание объективного, а главное, простого инструмента, который бы включал все интересные аспекты.

В первую очередь необходимо задаться вопросом, какие данные будут являться прямыми - лягут в основу анализа, а какие косвенными - будут, возможно, задействованы в виде поправочного коэффициента. Для этого представим возможные показатели и выполним их классификацию

с точки зрения объективности и погрешности данных. Классификация выполнена в представленной ниже таблице 1 и предполагает количественное выражение.

Для создания гибкой системы оценки состояния безопасности труда требуется оперирование показателями, собранными за определенный период времени работы предприятия. Оптимальным периодом сбора данных для оперативного и полноценного анализа является 1 год. Представленные прямые показатели служат основой для анализа состояния безопасности на предприятии. Косвенные показатели вносят соответствующие корректировки, тем самым раскрывая незатронутые при изучении прямых показателей критерии.

Для оценки представленных прямых показателей приведена характеристика:

**Количество несчастных случаев на производстве** – основополагающий показатель работы системы охраны труда на производстве. Является ключевым при формировании инструмента оценки безопасности.

**Количество дней потери трудоспособности вследствие несчастных случаев на производстве** - один из самых простых и самых комплексных показателей. Он доступен без дополнительных оценок и показывает не только число травм, полученных работниками



Таблица 1 – Классификация показателей состояния охраны труда

Прямые показатели	Косвенные показатели
Несчастные случаи на производстве	- Предписания, выданные государственной инспекцией труда
Дни потери трудоспособности вследствие несчастных случаев на производстве	- Выявленные нарушения правил безопасности
Профессиональные заболевания	- Несчастные случаи с установленной причиной «личная неосторожность»
Средняя численность работников	- Травмы любой степени тяжести, полученные работником в рабочее время
Работники, занятые во вредных и опасных условиях труда	

предприятия, но и их тяжесть и период восстановления. Также, он может вносить и небольшую неточность в анализ вследствие того, что процесс восстановления и реабилитации работника на данный момент не зависит напрямую от работодателя, а отчасти в руках самого пострадавшего.

**Количество профессиональных заболеваний** – показатель весьма сложный для анализа т.к. носит долгосрочный характер, показывает состояние безопасности труда на предприятии в период до 30-40 лет, включает в себя весь трудовой стаж работника на разных производствах и предприятиях, вследствие чего данный показатель не удовлетворяет заданным условиям.

**Среднесписочная численность работников за отчетный период** – данный показатель, несмотря на его простоту, максимально объективен и обязателен для оценки, т.к. дает возможность провести сравнительный анализ полученных данных между малыми, средними и крупными предприятиями.

Число работников, занятых во вредных и опасных условиях труда – показатель, характе-

ризующий производственно-обусловленную и профессиональную заболеваемость, травматическую опасность предприятия в целом. Зачастую не подвержен изменению в меньшую сторону в силу специфики отрасли или конкретных видов работ.

В данной работе затронута только часть прямых показателей состояния безопасности труда, тем самым скорректированы инструменты, оценивающие уровень травматизма в организации.

Производственный травматизм зависит от условий труда, поэтому для объективной оценки риска травмирования работника требуется ввести поправочный коэффициент. Очевидно, что классический коэффициент частоты травматизма будет несправедлив в оценке состояния охраны труда на предприятиях с разными условиями труда.

Для оценки зависимости травматизма от условий труда проведен анализ на основании данных Росстата за 2013 год [1](табл.2).

Таблица 2 – Травматизм в основных отраслях экономики

Вид экономической деятельности	Количество работников	Количество работающих во вредных и опасных условиях труда	Количество травм на производстве
Добыча полезных ископаемых	1075000	503100	2100
Обрабатывающее производство	10065000	3462360	13700
Производство и распределение электроэнергии, газа и воды	1936000	635008	1600
Строительство	5712000	1348032	3300
Транспорт и связь	5420000	1457980	4500

Для обозначения зависимости количества травм на производстве и количества работающих во вредных и опасных условиях труда воспользуемся уже выше упомянутым коэффициентом частоты травматизма, который определяется по формуле:

$$K_v = (T \times 1000) / P, \quad (1)$$

где  $K_v$  – коэффициент частоты травматизма;  $T$  - число травм на производстве;  $P$  - среднесписочное число работников.

Найденные значения  $K_v$  для каждого вида деятельности сведены в таблицу 3, а также добавлен процент работников, занятых во вредных и опасных условиях труда. Полученные результаты представлены на рисунке 1 с наиболее подходящей степенной линией.

На графике, представленном на рисунке 1, видно как прослеживается зависимость условий труда и коэффициента частоты травматизма, подтверждая высказанное ранее предположение о невозможности корректной оценки состо-

яния охраны труда на предприятиях с разными условиями труда и, как следствие, разными видами экономической деятельности и направленности.

Задача объективной оценки состояния безопасности труда в организации заключается в обозначении ключевых направлений работ в области охраны труда. Чтобы принять оперативные решения в первую очередь требуется исключить самые инертные составляющие безопасности. В данном случае такой составляющей являются условия труда.

Для исключения в оценке данной составляющей требуется определить форму, при которой она будет нести более информативный характер. Представим условия труда в виде доли рабочих мест во вредных и опасных условиях труда:

$$d_{P_B} = \frac{P_B}{P}, \quad (2)$$

где  $d_{P_B}$  – доля работников, занятых во вредных и опасных условиях труда;  $P_B$  – число работников,

Таблица 3 – Доля работников занятых во вредных и опасных условиях труда по отраслям

Вид экономической деятельности	Процент работников, занятых во вредных и опасных условиях труда	$K_v$
Добыча полезных ископаемых	46,8	1,95
Обрабатывающее производство	34,4	1,36
Производство и распределение электроэнергии, газа и воды	32,8	0,83
Строительство	23,6	0,58
Транспорт и связь	26,9	0,83

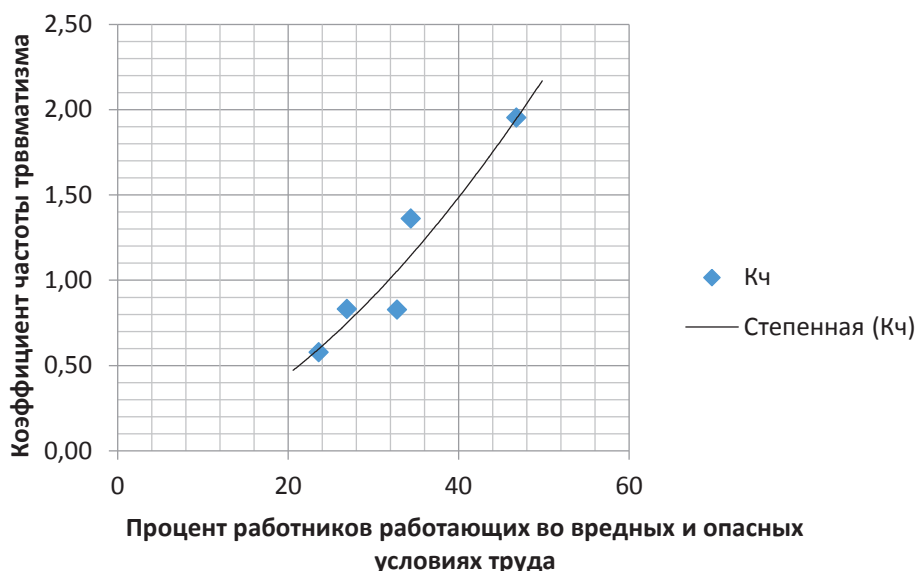


Рисунок 1 – Зависимость травматизма от условий труда

Таблица 4 – Коэффициент частоты травматизма относительно условий труда ( $K_{\text{чy}}$ ) по отраслям

Вид экономической деятельности	Процент работников работающих во вредных и опасных условиях труда	$K_{\text{чy}}$
Добыча полезных ископаемых	46,8	8,92
Обрабатывающее производство	34,4	11,5
Производство и распределение электроэнергии, газа и воды	32,8	7,68
Строительство	23,6	10,37
Транспорт и связь	26,9	11,47

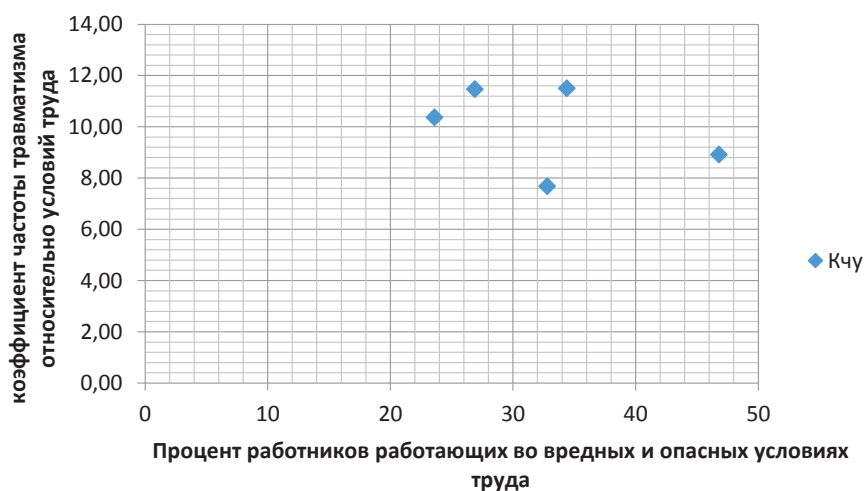


Рисунок 2 – Зависимости относительного травматизма от условий труда

занятых во вредных и опасных условиях труда.

При наличии числа, определяющего долю работающих во вредных и опасных условиях труда работников, мы можем установить его зависимость с  $K_{\text{ч}}$  и частотой травматизма относительно условий труда  $K_{\text{чy}}$ . Так как зависимость условий труда и коэффициента частоты травматизма описана степенной функцией, можно предположить, что  $K_{\text{чy}}$  будет иметь формулу:

$$K_{\text{чy}} = \frac{K_{\text{ч}}}{d_{\text{рв}}^2} \quad (3)$$

Вследствие подстановки в формулу 1 формул 2 и 3 и преобразований, коэффициент частоты травматизма относительно условий труда будет иметь вид:

$$K_{\text{чy}} = \frac{1000\text{TP}}{P_{\text{в}}^2} \quad (4)$$

Для того чтобы понять, удалось ли устано-

вить коэффициент, который оценивал бы состояние безопасности труда с поправкой на условия труда в организациях, представим в таблице 4 данные, полученные в результате использования формулы 4.

Далее перенесем полученную зависимость в график зависимости относительного травматизма от условий труда (рис.2).

Из рисунка 2 видно, что зависимость  $K_{\text{чy}}$  и процент лиц, работающих во вредных и опасных условиях труда, исключена, что дает возможность оценить эффективность работы в области охраны труда на предприятиях различных отраслей экономической деятельности, а также с различными условиями труда и опасностью производимых работ.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Российский статистический ежегодник 2014: Стат. сб./Росстат. – Р76 М., 2014. – 693с.

#### APPROACHES AND ASSESSMENT CRITERIA OF LABOR SAFETY CONDITION AT AN INDUSTRIAL ENTERPRISE

Anissimov I. M., Fomin A. I.

In the article the basic approaches and criteria of the enterprise safety assessment are reviewed. Peculiarities and dependence of various indicators by evaluating the various economic activities are depicted.

Key words: SAFETY ASSESSMENT, LABOR SAFETY MANAGEMENT SYSTEM, CRITERIA, INDICATORS, HEALTH HARMFUL AND DANGEROUS WORKING CONDITIONS.

*Анисимов Илья Михайлович  
e-mail: ilja\_anisimov@rambler.ru*

*Фомин Анатолий Иосифович  
e-mail: ncvostnii@yandex.ru*



**НИИ ГОРНОСПАСАТЕЛЬНОГО ДЕЛА**

*Безопасность горняков  
- наша работа*

**Научное обеспечение аварийно-спасательных работ в угольных шахтах**

**Экспертиза промышленной безопасности**

**Научное обеспечение и экспертиза предупреждения, локализации и тушения эндогенных пожаров**

**Аэрологическая съемка рудничной и промышленной атмосферы**

**Радоновая съемка атмосферы, промышленных, социальных и жилых помещений**

Наши контакты:  
650002, г. Кемерово, пр. Шахтёров, 14  
Тел.: (38-42) 64-19-60, 64-25-71

УДК 31+614.841.315

## РЕАЛИЗАЦИЯ НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫХ ТРЕБОВАНИЙ И ПРИНЦИПЫ ДЕЙСТВИЙ НОРМ В ОБЛАСТИ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

*Изложена иерархия ряда законодательных и нормативно правовых актов РФ, регламентирующих требования в области пожарной безопасности. Приведен порядок и основания исполнения данных требований.*

*Ключевые слова: ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ, ГРАЖДАНСКАЯ ОБОРОНА, ЗАЩИТА НАСЕЛЕНИЯ И ТЕРРИТОРИЙ ОТ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ, НОРМЫ, ТРЕБОВАНИЯ, ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЛЮДЕЙ, НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ, СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ.*

**В** настоящее время одной из основных проблем при приведении объекта в пожаробезопасное состояние является большое количество нормативной документации, большая часть которой несет рекомендательный характер. В области пожарной безопасности действуют более чем 1,5 тысячи нормативных документов, которые продолжают действовать с вступлением в законную силу технического регламента о требованиях пожарной безопасности. Это система стандартов безопасности труда (ГОСТы, ОСТы), нормативные документы в строительстве (СНиПы, СП, РД, ВСН, ТСН), нормы и правила противопожарного режима в Российской Федерации, а также различные ведомственные правила и инструкции. Значительная часть документов была создана министерствами и ведомствами для подведомственных организаций и предприятий. Из-за социально-экономических перемен в стране большинство предприятий изменило формы собственности, а многие названные документы утратили правовой статус, морально и технически устарели.

Значительное количество нормативно-правовых актов Российской Федерации, регламентирующие требования в области пожарной безопасности, привело к ряду нормативно-технических коллизий, трактующих не однозначность предъявляемых требований. Вместе с этим, данными

актами не предусмотрены различные пути выполнения требований в области пожарной безопасности, а также различные варианты исчерпывающих оценок соответствия объектов требованиям в области пожарной безопасности.

Следует отметить, что с марта 2009 года введены в действие своды правил, являющиеся нормативными документами по пожарной безопасности в области стандартизации добровольного применения. Данные своды правил разработаны в соответствии с Федеральным законом от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», в котором изложены обязательные требования. Принцип построения документации, действующей на обязательной и добровольной основе, позволил значительно облегчить работу по обеспечению пожарной безопасности объектов.

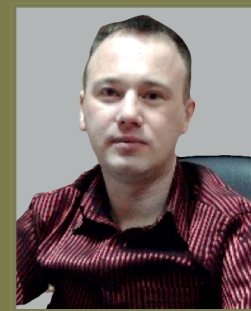
В соответствии с требованиями, установленными современными условиями развития страны, нормативно-правовые и нормативно-технические акты Российской Федерации, регламентирующие требования в области пожарной безопасности, прошли соответствующие экспертизы и процедуру перерегистрации.

С целью обеспечения выполнения положений Федерального закона от 27 декабря 2002 года № 184-ФЗ «О техническом регулировании» приказом Федерального агентства по техническому регулированию и



**И.А. Фомин**

д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник ученого совета АО «НЦ ВостНИИ»



**Д.А. Бесперстов**

аспирант ФГБОУ ВПО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности»

метрологии от 30 апреля 2009 года № 1573 утверждён Перечень национальных стандартов и сводов правил, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона от 22 июля 2008г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

Данные документы содержат нормы, которые, в связи со вступлением в силу технического регламента о требованиях пожарной безопасности, носят рекомендательный характер [1]. Данным техническим регламентом установлены минимально необходимые требования пожарной безопасности для обеспечения защиты жизни и здоровья людей, а также государственного и муниципального имущества от пожаров.

В результате проведенного технического регулирования в области пожарной безопасности, законодательные и нормативно-правовые акты РФ с требованиями пожарной безопасности приняли вид структурированной иерархичности. Прослеживается последовательная связь от Конституции Российской Федерации, обладающей наивысшей юридической силой, до нормативно-правовых актов Федеральных органов исполнительной власти (в данном случае МЧС России). Федеральный закон от 22 июля 2008 года № 123-ФЗ «Технический регламент

о требованиях пожарной безопасности» явился связующим звеном между законодательными и нормативными актами Российской Федерации, принятыми в целях исполнения конституционных прав человека (людей) по обеспечению их безопасности от пожаров.

Порядок реализации основополагающих законодательных и нормативно-правовых актов требованиям в области пожарной безопасности представлен в виде блок – схемы (рис. 1).

В рамках реализации Конституционных прав, принят Федеральный закон от 27 декабря 2002 года № 184-ФЗ «О техническом регулировании» который регулирует отношения, возникающие при:

- разработке, принятии, применении и исполнении обязательных требований к продукции, в том числе зданиям и сооружениям, или к продукции и связанным с требованиями к продукции процессам проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации;
- разработке, принятии, применении и исполнении на добровольной основе требований к продукции, процессам проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, пере-

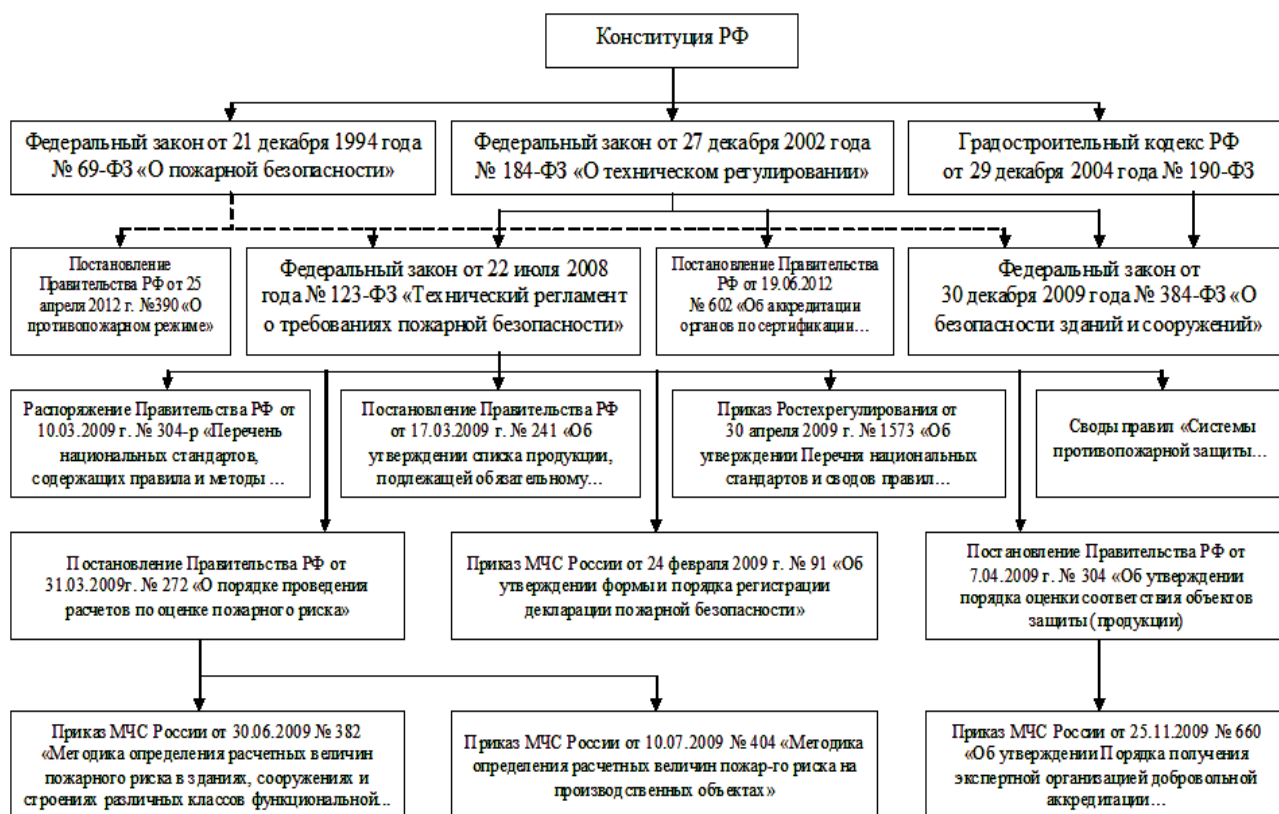


Рисунок 1 – Блок-схема порядка реализации основополагающих законодательных и нормативно-правовых актов требованиям в области пожарной безопасности

возки, реализации и утилизации, выполнению работ или оказанию услуг;

- оценке соответствия [1].

Принятый Федеральный закон от 21 декабря 1994 года № 69-ФЗ «О пожарной безопасности» определяет общие правовые, экономические и социальные основы обеспечения пожарной безопасности в Российской Федерации, регулирует в этой области отношения между органами государственной власти, органами местного самоуправления, учреждениями, организациями, крестьянскими (фермерскими) хозяйствами, иными юридическими лицами независимо от их организационно-правовых форм и форм собственности, а также между общественными объединениями, индивидуальными предпринимателями, должностными лицами, гражданами Российской Федерации, иностранными гражданами, лицами без гражданства [2].

В свою очередь во исполнение Федерального закона о техническом регулировании, принят Федеральный закон от 22 июля 2008 года № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», целью которого является защита жизни, здоровья, имущества граждан и юридических лиц, государственного и муниципального имущества от пожаров. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности определяет основные положения технического регулирования в области пожарной безопасности и устанавливает общие требования пожарной безопасности к объектам защиты (продукции), в том числе к зданиям и сооружениям, промышленным объектам, пожарно-технической продукции и продукции общего назначения [3].

Законодательство о градостроительной деятельности регулирует отношения по территориальному планированию, градостроительному зонированию, планировке территории, архитектурно-строительному проектированию, отношения по строительству объектов капитального строительства, их реконструкции, капитальному ремонту, а также по эксплуатации зданий, сооружений [4].

Правила противопожарного режима содержат требования пожарной безопасности, устанавливающие правила поведения людей, порядок организации производства и (или) со-

держания территорий, зданий, сооружений, помещений организаций и других объектов в целях обеспечения пожарной безопасности [5].

В Федеральном законодательстве о безопасности зданий и сооружений используются основные понятия, установленные законодательством Российской Федерации о техническом регулировании, законодательством Российской Федерации о градостроительной деятельности и законодательством Российской Федерации о пожарной безопасности. Объектом технического регулирования в данном Федеральном законе являются здания и сооружения любого назначения (в том числе входящие в их состав сети инженерно-технического обеспечения и системы инженерно-технического обеспечения), а также связанные со зданиями и с сооружениями процессы проектирования (включая изыскания), строительства, монтажа, наладки, эксплуатации и утилизации (сноса). Закон распространяется на все этапы жизненного цикла здания или сооружения и устанавливает минимально необходимые требования к зданиям и сооружениям (в том числе к входящим в их состав сетям инженерно-технического обеспечения и системам инженерно-технического обеспечения), а также к связанным со зданиями и с сооружениями процессам проектирования (включая изыскания), строительства, монтажа, наладки, эксплуатации и утилизации (сноса) [6].

Из сфер применения законодательных и нормативно-правовых актов РФ, регламентирующих требования пожарной безопасности следует, что соблюдение норм в области пожарной безопасности актуально не только для зданий и сооружений, но и для обеспечения людьми соответствующего противопожарного режима. Принципы реализации требований пожарной безопасности направлены на недопущение и (или) снижение социально-экономических потерь от пожаров.

Не смотря на то, что министерствами и ведомствами проведена значительная работа по гармонизации норм с международными стандартами, а также по устранению нормативно-технических коллизий, данная деятельность продолжается в связи с необходимостью устранения избыточных нормативных барьеров на пути развития торговых и производственных отношений.

#### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Российская Федерация. Законы. Федеральный закон РФ от 27.12.2002 № 184-ФЗ (ред. от 23.06.2014) «О техническом регулировании» (с изм. и доп., вступ. в силу с 22.12.2014). - М: Собрание законодательства РФ – 2002, – N 52 – ч.1. – ст. 5140.
2. Российская Федерация. Законы. Федеральный закон от 21.12.1994 № 69-ФЗ «О пожарной без-

опасности» (с изм. и доп., вступ. в силу с 13.07.2013). – М: Собрание законодательства РФ. – 1994. – № 35 – ч.1. – ст. 3649

3. Российская Федерация. Законы. Федеральный закон РФ от 22.07.08 (ред. от 23.06.2014) № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [Текст] :федер. закон: принят Гос. Думой 22.07.08 (с изм. и доп., вступ. в силу с 13.07.2014). – М: Собрание законодательства РФ. – 2008. – № 30 – ч.1.– ст. 3579.

4. Российская Федерация. Законы. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 № 190-ФЗ (с изм. и доп., вступ. в силу с 13.07.2015). – М: Собрание законодательства РФ. – 2004. – № 290.

5. Российская Федерация. Законы. Постановление Правительства РФ от 25.04.2012 № 390 «О противопожарном режиме» (с изм. и доп., вступ. в силу с 13.07.2015). – М: Собрание законодательства РФ. – 2012. – № 19 – ч.1.– ст. 2415.

6. Российская Федерация. Законы. Федеральный закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» (с изм. и доп., вступ. в силу с 02.07.2013). – М: Собрание законодательства РФ. – 2009. – № 255.

IMPLEMENTATION OF REGULATORY  
REQUIREMENTS AND PRINCIPLES OF NORMS  
ACTION IN THE SPHERE OF FIRE SAFETY

**Fomin A. I., Besperstov D. A.**

*Hierarchy of a number of legislative and regulatory legal acts of the Russian Federation is presented which regulate the requirements in the field of fire safety.*

**Key words:** FIRE SAFETY, CIVIL DEFENSE, POPULATION AND TERRITORIES FROM EMERGENCY SITUATIONS, STANDARDS, REQUIREMENTS, HUMAN SECURITY PROVISION, TECHNICAL REGULATION, SPHERE OF IMPLEMENTATION

Фомин Анатолий Иосифович  
e-mail: ncvostnii@yandex.ru

Бесперстов Дмитрий Александрович  
e-mail: gpnbesperstov@yandex.ru



УДК 622.625.282-843.6.545:622.678.525

## МОДЕРНИЗАЦИЯ ГИДРОПОДЪЕМНИКОВ НА ПОДВЕСНОМ МОНОРЕЛЬСОВОМ ТРАНСПОРТЕ НА ПРИМЕРЕ УСТРОЙСТВА ПОДЪЕМНОГО УПГЮ-24

*Рассматривается новый способ строповки и перемещения груза в стесненных условиях горной выработки, который повышает эффективность операций по перемещению грузов за счет использования ветвевоего способа строповки, производительность и безопасность труда горняков, увеличивает количество перемещаемого груза, снижает износ оборудования.*

*Ключевые слова: ГОРНАЯ ВЫРАБОТКА, МОДЕРНИЗАЦИЯ ГИДРОПОДЪЕМНИКОВ, ИННОВАЦИОННЫЙ СПОСОБ СТРОПОВКИ И ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ГРУЗА, ЭФФЕКТИВНОСТЬ, БЕЗОПАСНОСТЬ*

*Работать нужно не 12 часов, а головой.  
Стив Джобс*

**В** свете новых задач, стоящих перед угольными предприятиями, возникает необходимость постоянного совершенствования технологических процессов, в том числе работы дизель-гидравлических локомотивов и навесного оборудования.

Эффективность функционирования транспортного средства в большой степени обусловлена конструкцией и параметрами системы подвешивания ходовой части. Эксплуатационные характеристики (сила тяги и торможения, динамическая нагрузка на элементы механической системы, устойчивость и безопасность движения) в значительной мере зависят от системы подъема груза, являющейся наименее долговечным узлом конструкции шахтного локомотива и гидроподъемников, что приводит к существенным затратам на ремонт.

За последний год Российская Федерация сталкивается с угрозами введения санкций против российских организаций, в том числе имеющих стратегическое значение. Подобные меры могут не только дать негативный экономический эффект, но и оказать разрушительное влияние на сектора экономики, отвечающие за жизнедеятельность общества, и поэтому носят общегосударственный

характер. Решать данную проблему необходимо, в том числе, через импортозамещение.

На пленарном заседании Петербургского международного экономического форума уже 23 мая 2014 года президент России Владимир Путин поставил задачу импортозамещения как важнейшего элемента технологического перевооружения российской промышленности.

**Импортозамещение** – это уменьшение или прекращение импорта определенных товаров путем запуска собственного производства аналогичных товаров (импортозамещающих). Стратегия предпочтения товаров отечественного производства импортным, а также внутреннего потребления их экспорту требует серьезных изменений в экономике страны в целом и Кемеровской области в частности.

**Модернизация** – совокупность технологических перемен, направленных на совершенствование работы механического оборудования и системы в целом, которые ведут к эффективной работе механизмов, экономии финансовых и материальных средств.

Таким образом, к настоящему времени сформировались предпосылки для создания концепции и программы импортозамещения, на-



**Г.Д. Буялич**  
д-р техн. наук, профессор  
ФГБОУ ВПО «КузГТУ им. Т.Ф.  
Горбачева», ведущий научный  
сотрудник ИУ СО РАН



**В.М. Тарасов**  
аспирант ФГБОУ ВПО «КузГТУ  
им. Т. Ф. Горбачева», ген.  
директор ООО «РивальСИТ»,  
член НП ТП ТПИ



**Н.И. Тарасова**  
аспирантка ФГБОУ ВПО  
«КузГТУ им. Т. Ф. Горбачева»,  
ген. директор ООО «ИКЦ  
«Промышленная безопасность»



**Д.В. Тарасов**  
студент ФГБОУ ВПО «КемГУ»

правленной на освоение региональным производителем продукции и технологий, способных вывести региональный рынок на более высокий уровень оснащенности для поддержания стабильности в условиях ограниченных поставок комплектующих и материалов из-за рубежа:

- сложившиеся международные условия;
- санкции со стороны Евросоюза, США, Канады и других государств;
- снижение темпов собственного производства, финансово-экономическая динамика рынка;
- финансовые потери, которых можно было бы избежать при импортозамещении;
- «теневые» схемы при формировании государственных и корпоративных заказов на рынке представителями крупных западных компаний;
- низкий уровень технологической оснащенности российских производств и, как следствие, их низкая рентабельность [1, 13].

В сложившихся международных условиях для нашей страны повышается актуальность импортозамещения в стратегических отраслях экономики, особенно в сфере наукоемких технологий. Недопустимым является факт монополизации и захвата рынка зарубежными технологиями и аналогами на местном рынке наукоемких производств в Кемеровской области.

Импортозамещение необходимо для поддержки отечественных производителей и замещения иностранных товаров, разработок и производств региональными аналогами.

Преимущество предлагаемого способа перемещения груза по горной выработке, рассмотрено в работах [2–5], где очень подробно описаны работа гидроподъемников на монорельсовом транспорте в шахте, недостатки, влияющие на низкую производительность труда действующего способа перемещения груза по горной выработке, и преимущества инновационной технологии – модернизации гидроподъемников на монорельсовом транспорте в шахте, для предприятий.

В предлагаемой схеме соблюдается основное правило строповки: место застроповки стропов располагается относительно центра тяжести и грузоподъемной силы, которая находится над центром тяжести груза [6, 8, 12]. В теоретической механике груз считается поднятым и зафиксированным в пространстве в том случае, когда пары сил, произвольно расположенные в пространстве, взаимно уравновешиваются (геометрическая сумма их моментов равна нулю), то есть многоугольник, построенный на момен-

тах данных пар сил, замкнут с вершиной в точке пересечения результирующих сил [8–10, 13].

Две монорельсовые каретки каждого модернизированного гидроподъемника при движении по монорельсовой балке будут иметь опору в трех точках по 32 т каждая (2 анкера по 16 т), всего 96 т (32\*3). Запас прочности при подъеме и перемещении груза по горной выработке монорельсовой балки и перемещении 48-тонного груза составит два раза.

В настоящее время применяется способ подвески, при котором груз, цепи и гидроподъемники с каретками, образуя параллелограмм, создают неустойчивую систему, которую можно считать находящейся в безразличном состоянии устойчивого равновесия, то есть при выводе этой системы из состояния равновесия она стремится вернуться к этому состоянию вновь условно, так как даже равномерное движение гидроподъемника с каретками вызывает вынужденное колебание груза [6–8, 11]. При этом амплитуда колебания может быть достаточно большой, что приводит к возникновению динамических нагрузок, которые в несколько раз превосходят статические нагрузки, что, в свою очередь, обуславливает износ и поломку звеньев системы: дизельного двигателя, гидравлических приводов, поршневой группы, вулколана (рабочие приводные колеса) в подвесном локомотиве, стрелочных переводов, гидроподъемников, монорельсовых балок, роликоопор на самом локомотиве и на каретках гидроподъемников. При такой подвеске и перемещении груза, если бы монорельсовая балка не имела верхнюю полку балки, два гидроподъемника встали бы вертикально, что недопустимо.

Для промышленных предприятий, особенно в условиях кризиса, важны проекты, которые дадут возможность экономно расходовать средства на их реализацию. Такому требованию в полной мере отвечает предлагаемая технология, так как дополнительные затраты, связанные с качественным улучшением работы стропов, траверс, шкивов, цепей, минимальны; экономится расход горюче-смазочных материалов за счет уменьшения количества ходок, увеличения производительности труда и продолжительности срока службы и эксплуатации оборудования. Уменьшаются и затраты на привлечение сторонних организаций и компаний по его обслуживанию и ремонту; объем запасных частей снижается до минимума. Кроме того, сокращается штат стропальщиков и электрослесарей и экономится фонд оплаты труда.

Таким образом, в целом можно выделить

следующие преимущества предлагаемой инновационной технологии:

- уменьшение в 12 раз нагрузки на стропы, соответственно и на все механизмы гидроподъемника;
- увеличение потока грузооборота по горным выработкам на монорельсовом транспорте в два раза;
- снижение минимум на 50 % затрат на ремонт дизелевозного парка и горных выработок;
- уменьшение расходов при работе со сторонними организациями, связанными с ремонтом дизельного оборудования;
- сокращение времени монтажа-демонтажа механизированных комплексов;
- получение дополнительных доходов;
- увеличение объемов добычи полезного ископаемого;
- увеличение срока эксплуатации дизель-гидравлических локомотивов и навесного оборудования;
- снижение себестоимости 1 т добычи твердого полезного ископаемого;
- снижение металлоемкости, трудоемкости, показателя износа оборудования,
- повышение безопасности труда, сохранение жизни людей;
- позволяет поднимать груз с учетом центра тяжести, при которой взаимодействие всех подвижных тел подвижной системы можно сравнить условно с планетарным механизмом;
- не требует дополнительных конструктивных изменений в конструкции гидравлических подъемников и дизелевозов;
- позволяет перемещать более тяжелые грузы и увеличивать число перевозимых единиц груза одним локомотивом.



Рисунок 1 – УПГЮ-24 до модернизации

Годовой экономический эффект от внедрения предлагаемой технологической схемы только по эксплуатационным затратам составит около десяти миллионов рублей на один дизель-гидравлический локомотив с навесным оборудованием с двумя гидроподъемниками.

Инновационная схема строповки груза и перемещения его в горных выработках, предложенная авторами статьи, по заключению Роспатента отличается новизной в решении вопросов механизации погрузочно-разгрузочных и транспортных работ в подземных условиях шахт, высоким изобретательским уровнем.

Положительная оценка технической новизны изобретения дана кафедрами теоретической и геотехнической механики, экономики и организации угольной промышленности ГБОУ ВПО КузГТУ им. Т. Ф. Горбачева, АО НЦ «ВостНИИ», ИУ РАН и др.

Ниже приведены выдержки из технического задания на модернизацию устройства подъемного гидравлического УПГЮ-24-36 (завод-изготовитель ОАО «Юргинский машиностроительный завод») рис. 1–2.

Устройство подъемное гидравлическое УПГЮ-24 (устройство) применяется для механизации подъемно-транспортных работ при операциях по монтажу и ремонту на пологих и наклонных пластах. Тяговым устройством для передвижения, поднимания груза является дизель-гидравлический локомотив марки ДПЛ-120.

Техническая характеристика.

Максимальная грузоподъемность каждого из двух гидроподъемников устройства до модернизации составляла 12 т, общая – 24 т. После модернизации грузоподъемность каждого гидроподъемника – 48 т, общая – 96 т.

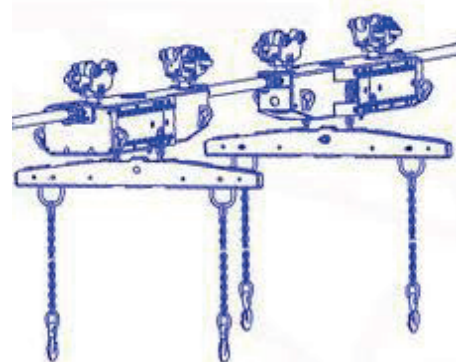


Рисунок 2 – Устройство подъемное гидравлическое УПГЮ-24 до модернизации

1. Три траверсы сокращающиеся (по 16 т). Одна из них, рабочая, отличается от вспомогательных только размером коромысла (рис. 3).

2. Кронштейны сокращающиеся (2 шт.) со шкивами под рабочую цепь в горизонтальной и вертикальной плоскости грузоподъемностью по 16 т и креплением через тело гидроподъемника между собой (рис. 4).

Сокращающиеся элементы кронштейнов и траверс могут сокращаться как чисто механически с помощью пальцев и отверстий, так и с помощью гидравлики домкратами.

3. Грузы (2 шт.) на выбор слабы рабочей цепи из тела самого гидроподъемника и кронштейнов (рис. 5).

4. Удлинение двух рабочих ветвей цепи

самого гидроподъемника на расстояние плечей кронштейнов.

5. Спаренный шарнир (две штуки) по 32 т каждый между монорельсовыми каретками по 32 т и гидроподъемником (рис. 6), который обеспечивает поворот гидроподъемника вправо или влево на 20-25 относительно линии монорельсовой балки, а также параллельность гидроподъемника к самой балке и вертикальности расположения центра груза к точке сходящихся сил.

6. Тяги прямые (2 шт.) (рис. 7)

7. Обвязка по грузоподъемности на систему строповки груза спаренным тройным полиспастом на 48 т каждого гидроподъемника (рис. 8). Все изделия: элементы серги со шкивами

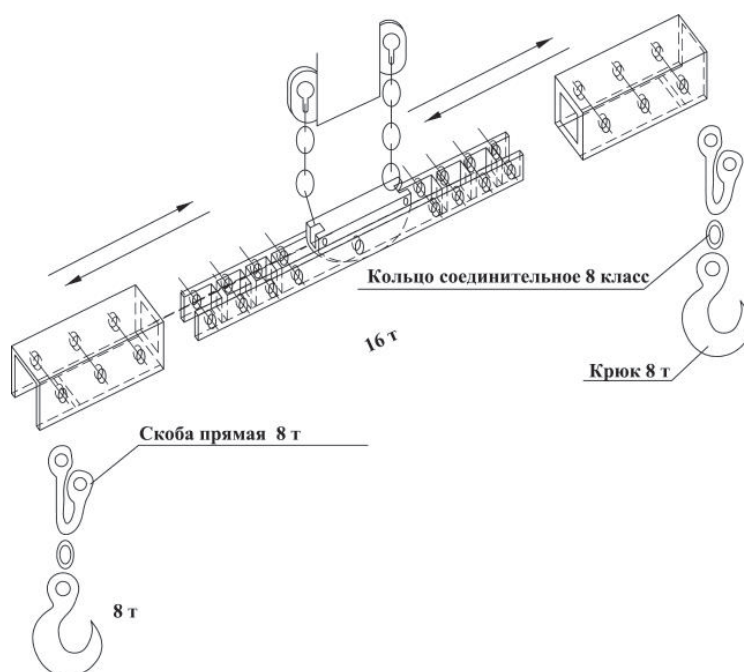


Рисунок 3 – Вспомогательные и рабочая сокращающиеся траверсы

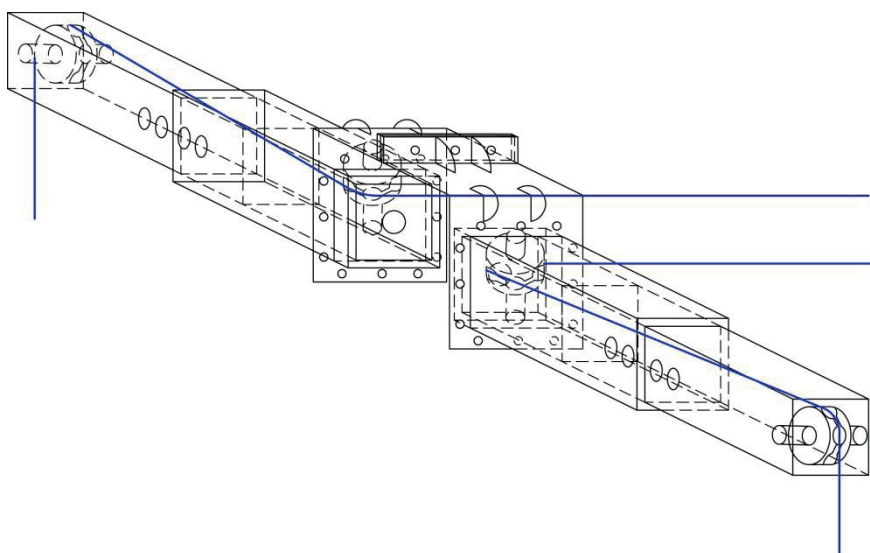


Рисунок 4 – Кронштейны

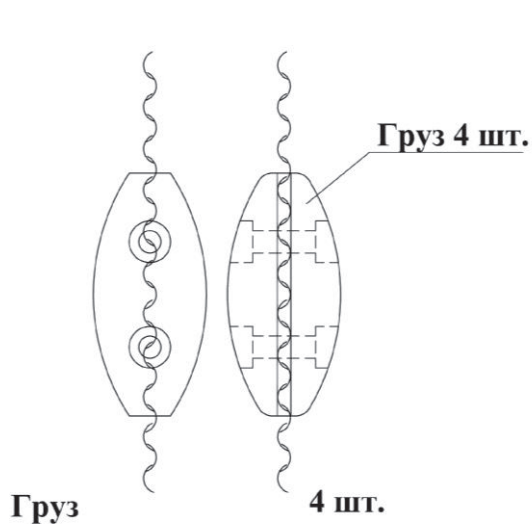


Рисунок 5 – Грузы

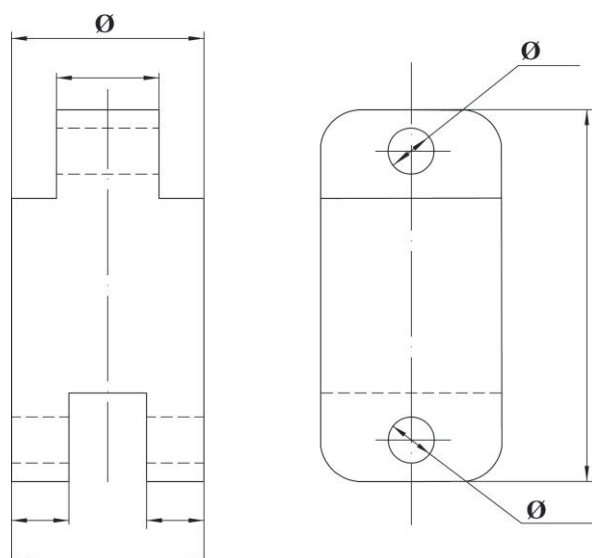


Рисунок 6 – Спаренный шарнир

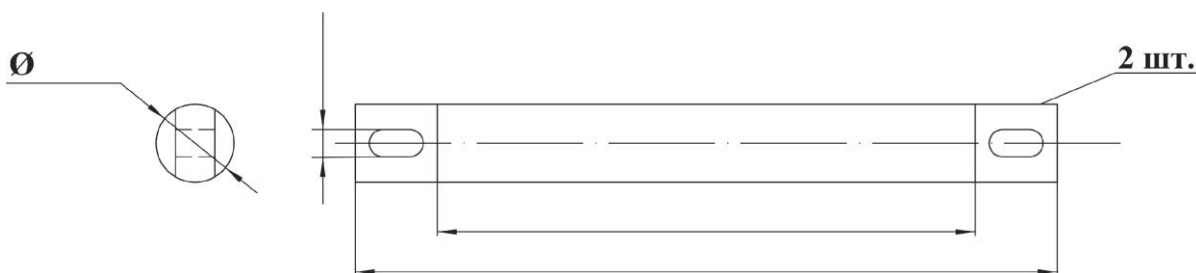


Рисунок 7 – Тяга прямая

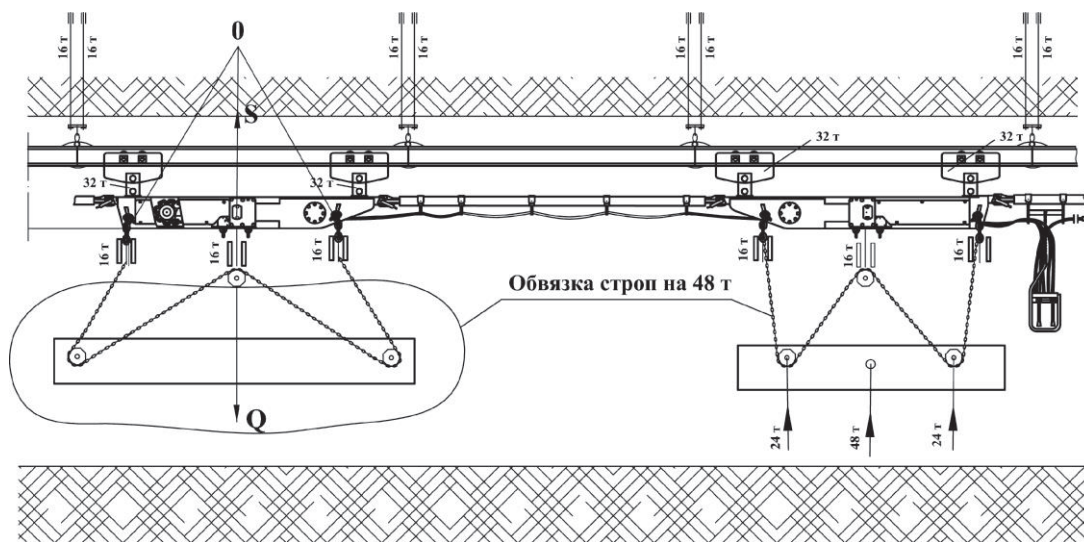


Рисунок 8 – Модернизированные гидроподъемники

под цепь, крюки чалочные, крюки сокращающие,  
и цепь строповочная – заводские, стандартные,

производимые заводами-изготовителями.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Трубицына, Н. В. Обоснование концептуальных подходов к разработке программы импорто-замещения оборудования угольных шахт Кемеровской области / Н. В. Трубицына, А. С. Ярош // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2014. – № 2. – С. 6–14.

2. Тарасов, В. М. Совершенствование технологии работы дизель-гидравлических локомотивов и навесного оборудования в горных выработках при внедрении инновационного способа строповки и перемещения груза // Безопасность труда в промышленности. – 2009. – № 8. – С. 21–26.

3. Тарасов, В. М. Технология работы дизель-гидравлических локомотивов и навесного оборудования в горных выработках / В. М. Тарасов // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2010. – № 2. – С. 155–165.

4. Патент 2333880 РФ: МПК В66С 1/12 (2006.01). Способ строповки грузов в горной выработке / Тарасов В. М., Тарасова А. В., Тарасов Д. В.; патентообладатель Тарасов В. М. – № 2007130250/11; заявл. 07.08.2007; опубл. 20.09.2008, Бюллетень № 26. – 10 с.

5. Патент 2480396 РФ: МПК В66С 1/12 (2006.01). Монтажно-демонтажный способ строповки и транспортировки лавного конвейера в горной выработке / Тарасов В. М., Тарасова А. В., Тарасов Д. В. Тарасова Н. И.; патентообладатели Тарасов В. М., Общество с ограниченной ответственностью «Ривальс Современные Инновационные Технологии» (ООО «РивальСИТ») – № 2011148728/11; заявл. 29.11.2011; опубл. 27.04.2013, Бюллетень № 12. – 10 с.

6. Оберман, Я. И. Стропальное дело / Я. И. Оберман. – М.: Металлургия, 1985. – 208. – С. 192–196.

7. Хямяляйнен, В. А. Теоретическая механика : учеб. пособие для вузов / В. А. Хямяляйнен, Р. Ф. Гордиенко, Н. А. Ведяшкина. – Кемерово: КузГТУ, 2001. – С. 30–32.

8. Заднипренко, Н. М. Погрузочно-разгрузочные работы: практическое пособие для стропальщика-такелажника / Н. М. Заднипренко, Е. М. Костенко, Л. И. Кулиева. – М.: ЭНАС, 2008. – 202 с.

9. Котельников, В. С. Рекомендации по промышленной безопасности для специалистов (лиц), ответственных за безопасное производство работ мостовыми, козловыми и железнодорожными кранами: сб. документов / В. С. Котельников, Н. А. Шишков. – М.: НТЦ «Промышленная безопасность», 2006. – 140 с. – (Серия 10, выпуск 67).

10. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов (ПБ 10-382-00). – М.: НТЦ «Промышленная безопасность», 2006. – 140 с. – (Серия 10, выпуск 65).

11. Яворский, Б. М. Справочник по физике / Б. М. Яворский, А. А. Детлаф. – М.: Наука, 1974. – 942 с.

12. Буялич, Г. Д. Повышение эффективности работ на монорельсовом транспорте / Г. Д. Буялич, В. М. Тарасов, Н. И. Тарасова // Горный инженер. – 2013. – № 1. – С. 202–207.

13. Тарасов, В. М. Совершенствование технологии работы дизель-гидравлических локомотивов и навесного оборудования в горных выработках при внедрении инновационного способа строповки и перемещения груза / В. М. Тарасов // Мат-лы VIII Международной научно-практической конференции «Безопасность жизнедеятельности предприятий в промышленно развитых регионах» (Кемерово, 12 ноября 2009 г.). Том 1. — Кемерово, 2009. – С. 219–226.

HYDRAULIC HOISTS MODERNIZATION ON SUSPENDED MONORAIL TRANSPORT AFTER THE EXAMPLE OF THE UPGYU-24 LIFTING DEVICE

**Buyalich G. D., Tarasov V. M., Tarasova N. I., Tarasov D. V.**

*We consider a new way of slinging and load handling in cramped conditions of a mine opening, which improves the efficiency of load transfer operations by using the method of branch-type slinging, the performance and safety of miners, increases the amount of transported load, reduces the equipment wear.*

**Key words:** MINE OPENING, HYDRAULIC HOISTS MODERNISATION, SLINGING AND LOAD TRANSFER INNOVATIONAL METHOD, EFFICIENCY, SAFETY

*Буялич Геннадий Данилович  
e-mail: gdb@kuzstu.ru*

*Тарасов Владимир Михайлович  
e-mail: indsafety@yandex.ru*

*Тарасова Нина Ивановна  
e-mail: indsafety@yandex.ru*

*Тарасов Дмитрий Владимирович  
e-mail: ddd-1994@yandex.ru*



**Примите искренние поздравления  
с наступающими Новым Годом и Рождеством!**

*Несмотря на то, что уходящий, 2015-й год, был достаточно трудным и многих из нас испытывал, как говорится, на прочность, он стал периодом слаженной командной работы, поиском надёжных партнёров и эффективных инновационных решений. Этот год обогатил всех нас новым опытом и заложил надёжный фундамент для новых свершений и новых перспектив в работе с Вами.*

*Желаем, чтобы всегда и во всём удача шла с Вами бок о бок, чтобы партнёры были верными единомышленниками и надёжным звеном в воплощении всех планов. Наши отношения и доверие друг к другу проверено временем. И нет сомнений, что вместе нам удастся в будущем внести заметный вклад в развитие потенциала Кузбасса!*

*Пусть Новый год подарит Вам счастье и процветание, будет спокойным и добрым, принесёт много приятных, ярких моментов и достижений в деле, а также в личной и общественной жизни.*

*Крепкого здоровья Вам и Вашим близким, тепла и уюта в доме, душевных сил, неиссякаемой энергии и исполнения всех заветных желаний.*

**С уважением, Редакция Вестника**

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS IN ENGLISH

Anissimov Ilya Mikhailovich – postgraduate of FGBOU VPO “KuzGTU”.

Artamoshkin Vasilii Nikolaevich – OOO “OMZ-Sibir-Service” industrial safety expert department head.

Besperstov Dmitry Aleksandrovich – postgraduate of FGBOU VPO “Kemerovo Technological Institute of Food Industry”.

Buyalich Gennady Daniilovich – doctor of technical sciences, professor of FGBOU VPO “KuzGTU named after T.F. Gorbachev”, leading scientific researcher of RASc SB IC.

Domanov Victor Petrovich – candidate of technical sciences, laboratory head of JSC «NC VostNII».

Fomin Anatoly Iosifovich – doctor of technical sciences, leading scientific researcher of JSC «NC VostNII» scientific council.

Fomin Pavel Abramovich - Candidate of Physical and Mathematical Sciences

Gherike Boris Liudvigovich – doctor of technical sciences, professor, chief researcher of the Siberian Branch of RASc, professor of FGBOU VPO “KuzGTU”.

Gherike Pavel Borisovich – candidate of technical sciences, assistant professor, senior scientific worker of the RASc Siberian Branch.

Gritsenko Boris Aleksandrovich – post-graduate of FGBOU VPO “KemGU”.

Haimin Sergey Aleksandrovich – chief scientific researcher of endogenous fire prevention laboratory of JSC «NC VostNII».

Igishev Victor Grigorievich – doctor of technical sciences, professor, chief scientific consultant of JSC «NC VostNII».

Kazakov Sergey Pavlovich – doctor of technical sciences, professor of FGBOU VPO “KemGU”.

Klimkin Mikhail Andreevich – student of FGBOU VPO “Siberian State Industrial University”.

Kuznetsova Ksenia Vladimirovna – applicant of FGOU VPO “KuzGTU”.

Leonov Gennady Valentinovich – doctor of technical sciences, professor, chair head of Biisk Technological Institute FGBOU VPO “AltGTU named after I.I. Polzunov”.

Li Konstantin Khiunovich – engineer of JSC «NC VostNII».

Lisakov Sergey Anatolievich – chair engineer of Biisk Technological Institute FGBOU VPO “AltGTU named after I.I. Polzunov”.

Masaev Vladislav Yurievich – candidate of technical sciences, assistant professor of Kemerovo Institute (branch) FGOU VPO “REU named after G.V. Plekhanov”.

Masaev Yuri Alekseevich – candidate of technical sciences, professor of FGOU VPO “KuzGTU”, Academy of Mining full member.

Mashukov Igor Vladimirovich – candidate of technical sciences, assistant professor of FGBOU VPO “Siberian State Industrial University”.

Nikitin Konstantin Victorovich – applicant of FGBOU VPO “KuzGTU”, deputy general director for service of OOO “Sibir Service”.

Pavlov Andrey Nikolaevich – candidate of technical sciences, chair professor of Biisk Technological Institute FGBOU VPO “AltGTU named after I.I. Polzunov”.

Pinaev Alexander Vladimirovich - doctor of physical and mathematical sciences,

Serg Aleksey Gennadievich – student of FGBOU VPO “Siberian State Industrial University”.

Shlapakov Pavel Aleksandrovich – engineer, laboratory head of JSC «NC VostNII».

Sidorenko Anton Igorevich – applicant, Biisk Technological Institute FGBOU VPO “AltGTU named after I.I. Polzunov”.

Sin Sergey Aleksandrovich – general director of OOO “Egida Service”, general director of OOO “Azot service”.

Siomin Aleksandr Alekseevich – student of FGBOU VPO “Siberian State Industrial University”.

Smyslov Aleksey Igorevich – RASc Siberian branch Institute of Coal junior scientific researcher.

Sokolov Sergey Vladislavovich – RASc Siberian branch Institute of Coal junior scientific researcher.

Steblyn Igor Alekseevich – OOO “OMZ-Sibir-Service” technical audit department leading engineer)

Stepanov Yuri Aleksandrovich – candidate of technical sciences, assistant professor of NFI FGBOU VPO KemGU”.

Sypin Yevgeny Victorovich – candidate of technical sciences, chair professor of Biisk Technological



**Institute FGBOU VPO “AltGTU named after I.I. Polzunov”.**

**Tailakov Oleg Vladimirovich – doctor of technical sciences, professor, pro-rector for scientific work and strategic development of FGBOU VPO “KuzGTU”, RASc Siberian branch Institute of Coal laboratory head.**

**Tarassov Dmitry Vladimirovich – student of FGPOU VPO “KemGU”.**

**Tarassov Vladimir Mikhailivich – postgraduate of FGBOU VPO “KuzGTU named after T.F. Gorbachev”, general director of OOO “RivalSIT”, member of NP TP TPI.**

**Tarassova Nina Ivanovna – postgraduate of FGBOU VPO “KuzGTU named after T.F. Gorbachev”, general director of OOO “IKC “Industrial Safety”.**

**Trotsyuk Anatoly Vladislavovich - Candidate of Physical and Mathematical Sciences**

**Trubitsyn Anatoliy Alexandrovich - doctor of technical sciences, professor, deputy director for scientific work OOO «Vosteco+».**

**Trubitsyna Darya Anatolievna - executive editor of Vestnik, derictor of OOO «TSOT-Gorniy»**

**Tokarev Oleg Sergeevich – deputy head for operational work of FGKU “National mine rescue center”.**

**Tupikina Nadezhda Yurievna – senior lecturer of Biisk Technological Institute FGBOU VPO “AltGTU named after I.I. Polzunov”.**

**Vasiliev Anatoliy Alexandrovich - Doctor of Physical and Mathematical Sciences**

**Yarosh Aleksey Sergeevich – candidate of technical sciences, deputy director for scientific work of PC “Scientific-Research Mine Rescue Institute”.**

**Zastrelov Denis Nikolaevich – candidate of technical sciences, RASc Siberian branch Institute of Coal senior scientific researcher.**

## 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.indsafe.ru](http://www.indsafe.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.

## ***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 [ugosh\\_mv@mail.ru](mailto:ugosh_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.

7. Ключевые слова.

8. Текст статьи с таблицами, иллюстрациями, формулами.

9. Библиографический список (оформленный в соответствии с ГОСТ 7.1-2003).

На отдельном листе или в конце статьи размещается «Список авторов», который должен содержать:

– публикуемые сведения об авторах (фамилия, имя, отчество, ученая степень, ученое звание, должность и место работы);

– служебные или домашние адреса с указанием почтового индекса;

– служебный или домашний телефоны (факс, 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*

**АКТУАЛЬНО // URGENT**

**6** Трубицына Н.В., Подображин С.Н., Ахлестин Н.Н., Спирин С.В. Обеспечение пылевзрывобезопасности угольных шахт  
**Trubitsyna N.V., Podobrajin S.N., Ahlestin N.N., Spirin S.V.** Enforcement dust explosions coal mine safety

**12** Vasiliev A.A., Pinaev A.V., Trutsjuk A.V., Fomin P.A., Trubitsyn A.A., Trubitsyna D.A. Полное подавление детонации и горения метановых смесей пылевой завесой  
**Vasiliev A.A., Pinaev A.V., Trutsjuk A.V., Fomin P.A., Trubitsyn A.A., Trubitsyna D.A.** Complete suppression of detonation and combustion of methane mixtures of dust veil

**СЛОВО РЕДАКТОРА // EDITORIAL**

**5** Трубицына Н. Trubitsyna N.

**I. ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ГЕОМЕХАНИКА // INDUSTRIAL SAFETY AND GEOMECHANICS**

**24** Машуков И.В., Доманов В.П., Сёмин А.А., Серг А.Г., Климкин М.А. Регистрация сейсмических колебаний поверхности от воздействия подземных массовых взрывов на Таштагольском месторождении  
**Mashukov I.V., Domanov V.P., Siomin A.A., Serg A.G., Klimkin M.A.** Registration of surface seismic vibration caused by underground mass explosions at Tashtagol ore deposit

**30** Масаев Ю.А., Масаев В.Ю., Кузнецова К.В. Новые разработки в области проведения капитальных горных выработок в удароопасных породах  
**Masaev Yu.A., Masaev V.Yu., Kuznetsova K.V.** New developments in the area of capital mine openings heading through shock-hazardous rocks

**34** Тайлаков О.В., Соколов С.В., Застрелов Д.Н., Смыс-

лов А.И., Ярош А.С. Обеспечение безопасности угледобычи на основе данных наземной сейсморазведки методом общей глубинной точки  
**Tailakov O.V., Sokolov S.V., Zastrelov D.N., Smyslov A.I., Yarosh A.S.** Coal mining safety provision surface seismic prospecting data based by common depth point method

**II. ПОЖАРНАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ // FIRE AND INDUSTRIAL SAFETY**

**38** Герике Б.Л., Никитин К.В., Артамошкин В.Н., Стеблин И.А. Диагностирование электрооборудования карьерных экскаваторов на основе исследования тепловых полей  
**Gherike B.L., Nikitin K.V., Artamoshkin V.N., Steblin I.A.** Open pit excavator electrical equipment diagnostics based on heat fields study

**44** Казаков С.П., Гриценко Б.А., Ли К.Х. Численно-аналитическое решение задачи определения режимной точки (Q, P) гибкого вентиляционного трубопровода  
**Kazakov S.P., Gritsenko B.A., Li K.H.** Numerically-analytical task solution of flexible ventilation pipe regime point (Q, P) definition

**47** Казаков С.П., Токарев О.С. Обоснование времени доступа подразделений ВГСЧ к месту аварии при учете аэротермогазодинамики выработок после пожара  
**Kazakov S.P., Tokarev O.S.** Substantiation of mine rescue detachments access time to the accident spot with consideration of air thermal gas dynamics of the mine openings after fire

**50** Степанов Ю.А. Геоинформационные системы и промышленная безопасность угольных предприятий  
**Stepanov Yu.A.** Geoinformational systems and industrial safety of coal enterprises

**55** Игишев В.Г., Шлапаков П.А., Хаймин С.А., Син С.А. Выделение индикаторных пожарных газов при окислении угля на стадиях самонагрева и беспламенного горения  
**Igishev V.G., Shlapakov P.A., Haimin S.A., Sin S.A.** Fire indicator gases liberation at coal oxidation at the stage of self-heating and flameless combustion

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

**60** Сидоренко А.И., Сыпин Е.В., Леонов Г.В. Экспериментальное исследование повышения помехоустойчивости к оптическим помехам оптико-электронного прибора обнаружения очага взрыва  
**Sidorenko A.I., Sypin Ye.V., Leonov G.V.** Experimental research of explosion spot detection optic electronic instrument interference immunity increase

**66** Тупикина Н.Ю., Сыпин Е.В., Лисаков С.А., Павлов А.Н., Леонов Г.В. Экспериментальная проверка эксплуатационных параметров оптико-электронного прибора двух спектральных отношений  
**Tupikina N.Yu., Sypin Ye.V., Lisakov S.A., Pavlov A.N., Leonov G.V.** Two spectral ratios optic electronic instrument operational parameters experimental test

**73** Герике П.Б. Виброанализ динамического оборудования аспирационных систем, эксплуатируемых на обогатительных фабриках Кузбасса  
**Gerike P.B.** Vibration analyses of the aspiration systems dynamic equipment operated at Kuzbass coal washing plants

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

**80** Анисимов И.М., Фомин А.И. Подходы и критерии оценки состояния безопасности

труда на предприятии  
**Anissimov I.M., Fomin A.I.** Approaches and assessment criteria of labor safety condition at an industrial enterprise

**85** Фомин А.И., Бесперстов Д.А. Реализация нормативно-правовых требований и принципы действия норм в области пожарной безопасности  
**Fomin A.I., Besperstov D.A.** Implementation of regulatory requirements and principles of norms action in the sphere of fire safety

**89** Буялич Г.Д., Тарасов В.М., Тарасова Н.И., Тарасов Д.В. Модернизация гидроподъемников на подвесном монорельсовом транспорте на примере устройства подъемного УПГЮ-24  
**Buyalich G.D., Tarasov V.M., Tarasova N.I., Tarasov D.V.** Hydraulic hoists modernization on suspended monorail transport after the example of the UPGYU-24 lifting device

### ПОЗДРАВЛЕНИЯ // CONGRATS

**95**

### ТРЕБОВАНИЯ К СТАТЬЯМ // DEMANDS TO ARTICLES

**96**

### ТРЕБОВАНИЯ К РЕКЛАМНЫМ МАТЕРИАЛАМ // ADVERTISING MATERIALS REQUIREMENTS

**98**

### СОДЕРЖАНИЕ // CONTENT

**99**

Подписано в печать 18.12.2015. Тираж 1000 экз. Формат 60x90 1/8.  
Объем 10 п. л. Заказ № 4 2015 г. Цена свободная.  
Типография ООО «ИНТ».  
650065, г. Кемерово, пр-т Октябрьский, 28 офис 215  
Тел. 8 (3842) 657889.