

ВЕСТНИК

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

Научно-технический журнал



Кемерово

3-2019

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

№ 3-2019

Выходит 4 раза в год

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

ЖУРНАЛ ЗАРЕГИСТРИРОВАН

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

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

ЖУРНАЛ ВКЛЮЧЕН

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

Учредитель и издатель

научно-технического журнала «Вестник...»:
Общество с ограниченной
ответственностью «ВостЭКО»
(ООО «ВостЭКО»)

Адрес учредителя и издателя:

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

Адрес редакции:

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

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

Компьютерная верстка *Д. А. Трубицына*

тел. 77-86-62, 64-26-51.

e-mail: yarosh_mv@mail.ru

dtrubitsyna@gmail.com

www.ind-saf.ru

Позиция редакции не всегда совпадает
с точкой зрения авторов публикуемых материалов

В номере использованы материалы сайтов
www.lori.ru, www.freemages.com, www.unsplash.com и
www.graphicriver.net

16+

© **ООО «ВостЭКО», 2019**

Адрес типографии:

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

Главный редактор: Н. В. Трубицына

Редакционная коллегия:

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

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

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

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

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

А. М. Брюханов – и.о. председателя
Государственного комитета Гортехнадзора ДНР,
д-р техн. наук

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

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

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

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

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

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

М. В. Ярош – редактор ООО «ВостЭКО»

INDUSTRIAL SAFETY

Scientific-technical magazine

Kemerovo

3 - 2019

INDUSTRIAL SAFETY

ISSN 2072-6554

№ 3-2019

Is issued 4 times a year

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

MAGAZINE IS REGISTERED

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

THE MAGAZINE IS INCLUDED

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

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

Address of the promoter and publisher:

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

Address of the editors:

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

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

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

e-mail: yarosh_mv@mail.ru
dtrubitsyna@gmail.com

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

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

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

16+

© Co Ltd «VostEKO», 2019

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

Chief editor: N. V. Trubitsyna

Editorial board:

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

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

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

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

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

A. M. Brjuhanov - Acting Chairman of the State Committee Gortehnadzora DNR, doctor of technical sciences

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

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

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

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

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

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

M. V. Yarosh – OOO «VostEKO» editor

Дорогие читатели, коллеги и друзья!

Совсем недавно мы отметили профессиональный праздник. И накануне его говорили, как принято, о достигнутом и задачах на будущее. И здесь у всех нас, и это очевидно, есть осознание необходимых направлений развития отрасли, за то, как мы отвечаем на вызовы времени.

Спрос на твёрдое топливо достаточно устойчив как на отечественном, так и на зарубежном рынке. Поэтому государство и собственники угледобывающих компаний заинтересованы в увеличении объёмов добычи угля. Наряду с другими этот энергоноситель равный среди равных. Но, как не раз, подчёркивал губернатор С. Е. Цивилёв, мы не можем увеличивать объёмы добычи угля и наращивать её темпы в ущерб природе Кузбасса и здоровью жителей региона.

Поэтому угледобывающие компании должны работать сегодня в тесной связке с отраслевыми научными структурами и более энергично осваивать и внедрять у себя перспективные научные разработки и проекты. В свою очередь учёным необходимо вести исследования на перспективу. В большей степени это удаётся научно-производственным коллективам, где учёные и практики вместе решают актуальные задачи, поставленные перед ними властями, стратегическими целями развития отрасли и обществом.

Круг авторов этого номера и публикации в нём демонстрируют достижения многих научных и производственных коллективов. И этот «Вестник» - подтверждение эффективности их научной и практической деятельности в области промышленной безопасности. Замечу, что вне всякого сомнения три ключевых темы этого номера вызовут у наших читателей особый интерес. Это в первую очередь публикация раздела «Актуально» о комплексном исследовании дисперсного состава пыли при её взрыве в шахте. Не останется незамеченной статья о попытке моделирования процесса эндогенного пожара. Оригинален и, прямо скажем, необычен взгляд на разработку критериев предвыбросного отжима угля в публикации, посвященной этой важной теме.

В заключение подчеркну, что другие материалы этого номера по всему спектру проблем промышленной безопасности не менее интересны и актуальны. Более того, практически каждый из них в той или иной степени призван содействовать снижению аварийности на предприятиях отрасли. Это наша общая задача. Что все вместе мы делаем для этого уже сегодня, рассказывает этот номер «Вестника». Предлагаю перевернуть страницу и начать знакомиться с публикациями.



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



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

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



А. А. Трубицын //
A. A. Trubitsyn
atrubitsyn@rambler.ru

д-р техн. наук., профессор, консультант по научной работе НАО "НЦ ПБ", "Горный ЦОТ", Россия, 650002, г. Кемерово, Сосновый бульвар, 1
doctor of technical sciences, professor, Scientific Advisor, NAO "Scientific Center of Industrial Safety", 1, Sosnoviy bulvar, Kemerovo, 650002, Russia

УДК 622.81

МИКРОСКОПИЧЕСКИЙ МЕТОД АНАЛИЗА СТЕПЕНИ УЧАСТИЯ ПЫЛИ ВО ВЗРЫВАХ

ANALYSIS MICROSCOPIC METHOD OF DUST PARTICIPATION DEGREE IN EXPLOSIONS

В статье рассмотрен метод микроскопического анализа серии проб угольной пыли, отбираемой на участке аварии в угольной шахте с целью установления места возникновения взрыва и определения факта участия угольной пыли во взрыве. Наряду с традиционным визуальным контролем коксов применена компьютерная обработка изображений, позволяющая дополнительно к физическим преобразованиям в частицах, исследовать динамику дисперсного состава пыли, подвергшейся тепловому воздействию взрыва. Для повышения достоверности микроскопического анализа продемонстрированы возможности анализа минимальных размеров частиц в различных точках контроля, средних величин характерных размеров или эквивалентных диаметров частиц. Проведена качественная корреляция изменений дисперсного состава пыли по длине аварийной выработки с изменениями остаточного показателя выхода летучих веществ. Приведены результаты апробации предложенного метода на реальном массиве проб пыли из аварийного участка. The article describes the coal dust sample series taken at the coal mine accident site microscopic analysis method in order to establish the place of the explosion and determine whether the coal dust is involved in the explosion. Along with the traditional visual control of cokes, computerized image processing has been applied, which allows, in addition to physical transformations in particles, to investigate the dynamics of the dispersed composition of dust subjected to the thermal effects of an explosion. To improve the reliability of microscopic analysis, the possibilities of analyzing the minimum particle sizes at various points of control, average values of characteristic sizes, or equivalent particle diameters have been demonstrated. A qualitative correlation of changes in the dust dispersion composition along the damaged opening with changes in the devolatilization residual indicator was carried out. The results of the method proposed testing on a real dust sample array from an emergency site are given.

Ключевые слова: ВЗРЫВ, УГОЛЬНЫЙ АЭРОЗОЛЬ, КОНЦЕНТРАЦИЯ ПЫЛИ, ДИСПЕРСНЫЙ СОСТАВ, АЭРОЗОЛЬ, МИКРОСКОПИЧЕСКОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ, ВЫХОД ЛЕТУЧИХ ВЕЩЕСТВ, НИЖНИЙ КОНЦЕНТРАЦИОННЫЙ ПРЕДЕЛ ВЗРЫВАЕМОСТИ, ТЕРМОДЕСТРУКЦИЯ УГЛЯ

Key words: EXPLOSION, COAL AEROSOL, DUST CONCENTRATION, DISPERSED COMPOSITION, AEROSOL, MICROSCOPIC IMAGE, DEVOLATILIZATION, THE LOWEST EXPLOSIVENESS CONCENTRATION LIMIT, COAL THERMAL DESTRUCTION

ВВЕДЕНИЕ
Взрывы в угольных шахтах последнего периода определяют необходимость дальнейших исследований в области борьбы с угольной пылью, которая в случае участия во взрыве переводит локальную вспышку в аварию с катастрофическими последствиями. Информация, получаемая при

анализе проб угольной пыли (непосредственно при ликвидации взрывов или в ходе технического расследования причин аварий) позволяет определить или уточнить место возникновения взрыва, характер его протекания с различной детализацией его динамики. В ходе исследований определены новые возможности микроскопического анализа дисперсного состава пыли

как показателя интенсивности взрывного горения в горных выработках. Эти методы в сочетании с визуальным анализом коксов и модифицированным методом анализа выхода летучих веществ из пылеотложения по длине аварийной выработки позволяют существенно дополнить достоверность научной составляющей при проведении технических расследований аварий.

МИКРОСКОПИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННО-МИКРОСКОПИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА ЧАСТИЦ УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ

Микроскопические методы анализа, ранее являвшиеся чисто визуальными, при применении компьютерной обработки изображений позволяют распознать изменения в частицах угольной пыли, вызванные высокотемпературным воздействием фронта пламени или нагретых продуктов горения. В настоящее время применение электронной микроскопии существенно расширяет возможности рассматриваемого вида анализа. Температура около 350°C является характерной точкой термогравиметрической кривой по ГОСТ Р 53293-2009, данная температура определяет начало процесса интенсивного выхода летучих веществ или начала термической деструкции угля [1,2]. На начальном этапе высокотемпературного воздействия на угольные частицы их поверхность оплавляється (рисунок 1), далее появляется пленка жидкой фазы, насыщенная пузырьками газообразных продуктов пиролиза (рисунок 2).

Интенсивное выделение газов (70 мл на 1 г угля и более [9]) находит свое отражение в заметных изменениях в частицах пыли подвергшейся тепловому воздействию (рисунок 2). По мере

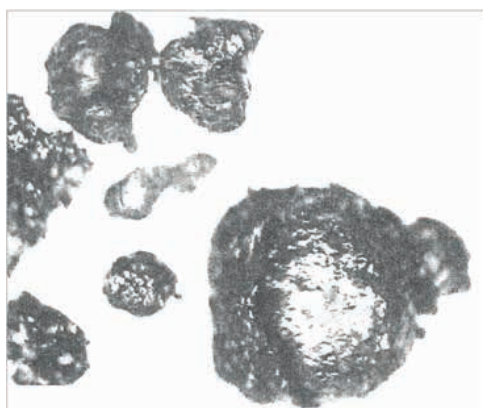


Рисунок 1 - Ооксовавшиеся частицы угольной пыли (увеличение x50) [6,7]
Figure 1 - Coked coal dust particles (increase x50) [6,7]

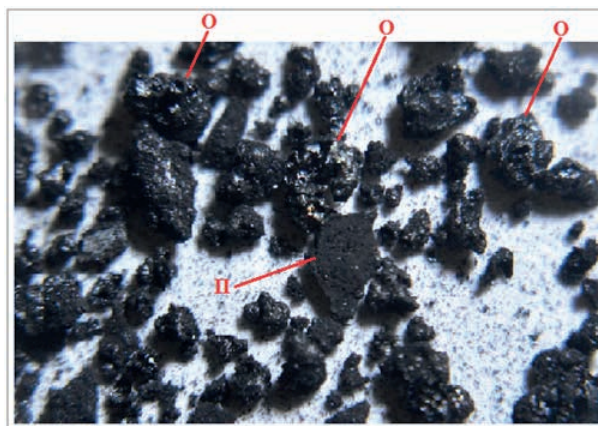


Рисунок 2 - Ооксовавшаяся масса пыли с выраженной пузырьчатой структурой и слипшимися агрегатами частиц из эпицентра взрыва (пыль угля марки «Ж»)
Figure 2 - The coked mass of dust with a pronounced vesicular structure and stuck together aggregates of particles from the epicenter of the explosion (dust of "G" rank coal)

прогрева частиц интенсивно выделяющиеся летучие вещества приводят к глубоким преобразованиям внутри частиц, газовыми пузырьками формируется пористая или «пузырчатая» структура не только в поверхностном слое, но и на всю глубину угольного вещества. Угольная оболочка (рисунок 2, фрагменты - «О») вокруг газового пузырька на определенных этапах нагрева имеет стенки толщиной 8-12 мкм и интенсивное выделение летучих веществ приводит к ее разрыву. При соприкосновении расплавленных частиц происходит их агрегация с образованием более крупных объектов различной устойчивости.

По указанным выше преобразованиям, наблюдаемым при помощи микроскопических снимков, возможно определить факт участия пыли во взрыве. Так в пыли угля марки «Ж», отобранной в выработке-эпицентре взрыва (рисунок 2), наглядно видны эффекты оплавления, вспучивания, агрегации и существенного увеличения пористости и площади поверхности агрегатов. Факт полного преобразования частиц в пористую структуру на всю глубину угольного вещества свидетельствует о нахождении частиц в эпицентре взрыва или в непосредственной близости от него (до 10 м). На больших удалениях от эпицентра взрыва (то есть вне зоны горения облака метана) глубоких изменений в структуре частиц не наблюдается, число коксов резко падает, и для их выявления требуется микроскопический анализ с изображением от 0,5 до 5 тысяч частиц (и более) в каждой точке от-

бора пробы. Значительная часть коксов имеет плоскую нижнюю поверхность, что свидетельствует об их налипании на оборудовании или стенках выработки в процессе прохождения фронта пламени. На рисунке 2 плоские поверхности («П») визуальны различимы у опрокинутых частиц. Большинство частиц на рисунке 2 также имеет плоскую основу, однако эти частицы приняли устойчивое положение именно за счет расположения на указанной плоскости. Длительность воздействия высокой температуры на пылевой аэрозоль оценивается во временном интервале от 0,01с до 1с, период индукции взрыва пыли для углей различной стадии метаморфизма находится в пределах 40-250 мс [9].

Метод микроскопического анализа частиц, подвергшихся взрыву, имеет неоспоримое преимущество перед другими методами – наглядность. К недостаткам можно отнести относительно небольшое число анализируемых частиц пыли или низкую представительность пробы. Число частиц в отложившейся или витающей пыли определяется числами порядка 10^{12} - 10^{15} единиц на 5-10-метровом участке выработки. Поэтому частицы, видимые одновременно в одном микроскопическом изображении составляют миллионные доли процента. Фокусное расстояние оптики микроскопа резко ограничивает число анализируемых частиц и на одном изображении, максимально различимы от 1000 до 2500 частиц для режима увеличения $\times 500$ - $\times 1000$. При этом достаточно сложно распознать слипание нагретых частиц от простого наложения остывших частиц. Усложняет применение метода микроскопического анализа факт образования коксов только пылью спекающихся марок углей (Г,Ж,К,ОС). При взрыве неспекающихся углей (Б,Д,Т) оковсавшиеся частицы слабо выражены [9].

Данный метод не получил распространения на уровне нормативного документа, регламентирующего операции на этапе настроек микроскопа, отбора и подготовки проб, а также на последующих этапах определения процентного содержания коксов в пробах пыли. Данный метод применялся ранее на КД «Барбара» [6,7,8].

ХАРАКТЕРНАЯ ДИНАМИКА ФОРМИРОВАНИЯ ВЗРЫВНОЙ ВОЛНЫ И ФРОНТА ПЛАМЕНИ ПО ДЛИНЕ АВАРИЙНОЙ ВЫРАБОТКИ

Для детализации возможности применения микроскопического анализа предварительно

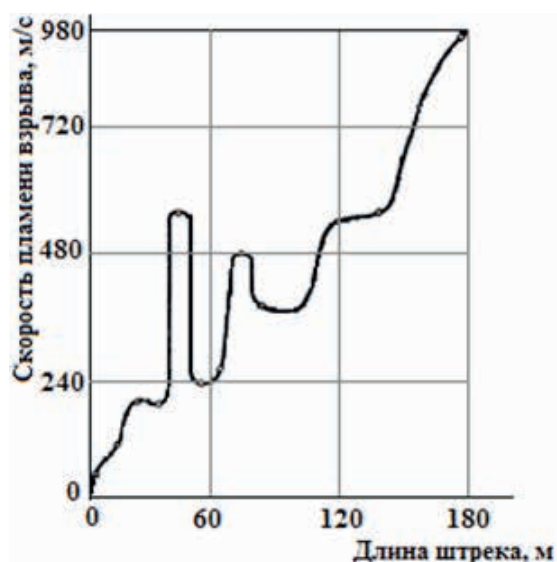


Рисунок 3 – Динамика скорости пламени взрыва по длине штрека (на примере взрыва № 3620 КД «Барбара» [6])

Figure 3 - Explosion flame speed dynamics along the gallery length (using the example of No. 3620 KD "Barbara" explosion [6])

рассмотрим процессы, происходящие при распространении ударной взрывной волны УВВ и фронта пламени вдоль 200 метрового исследовательского штрека (рисунок 3).

По мере продвижения фронта пламени от эпицентра взрыва по длине выработки в зоне перехода от диффузионного к дефлаграционному горению динамика окислительных процессов выражается в изменении скорости пламени. На первых 50 м рассмотренного примера (рисунок 2) произошел рост скорости пламени с 0 до 520 м/с. Далее на последующих 10 м – скорость пламени¹ снизилась до 240 м/с из-за недостатка одного из составляющих в системе «кислород-горючее». После формирования устойчивого дефлаграционного горения и «волны давления»² происходит монотонный рост скорости пламени для условий дальнейшего распространения взрыва на значительные расстояния (при наличии достаточного количества горючей пыли). На рисунке 3 область устойчивого взрывного горения находится на участке после 100-120м по длине штрека.

Необходимо отметить, что большинство полномасштабных взрывных экспериментов выполнены в опытных штреках, не имевших пересечения и сопряжения с другими проверяемыми выработками. Динамика интенсив-

¹ Скорость пламени определяется в момент прохождения фронта пламени каждой точки контроля по длине штрека.

² Детально процесс формирования устойчивого взрыва и переход от диффузионного к дефлаграционному горению рассмотрен в работе [5].

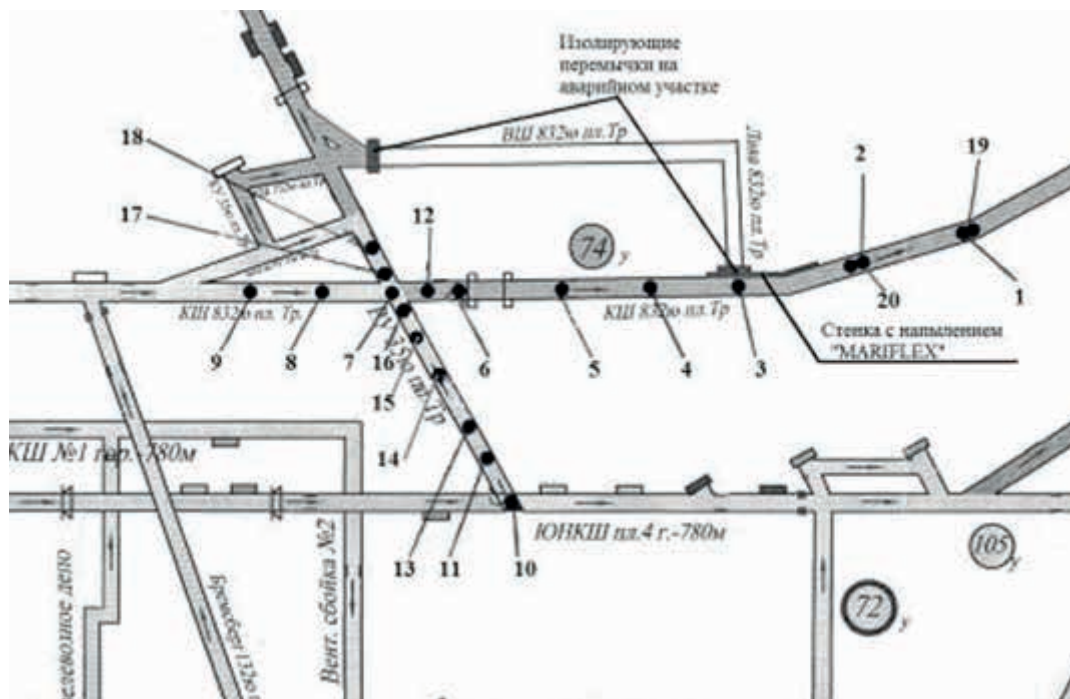


Рисунок 4 - Схема аварийного участка с местами отбора проб пыли (точки 1-18) и проб угля (точки 19, 20)

Figure 4 – The emergency section scheme with dust (points 1-18) and coal samples (points 19, 20) taking sites

ности горения, скорости пламени и давления взрыва в местах пересечения проветриваемых выработок практически не исследованы.

Проведенными микроскопическими исследованиями установлено, что в условиях реальных шахт из-за разветвленности выработок участка, на которых рост скорости пламени (или давления взрыва) периодически сменяется его снижением как на прямолинейных участках, так и в местах пересечений проветриваемых выработок. В зоне переходных процессов изменения скорости пламени приводит к различному времени теплового воздействия на угольную пыль. Поэтому коксовые преобразования в частицах, также величина остаточного выхода летучих веществ (в пыли после взрыва) будут сильно различаться как по длине отдельных выработок, так и после прохождения взрывной волной их сопряжений.

Из-за температурного воздействия относительно крупные (более 20 мкм) частицы угольной пыли оплавляются (ококсование), а мелкие (0,5- 2,5 мкм) могут выгорать за время нахождения в зоне пламени и высоких температур.

ЭЛЕКТРОННО-МИКРОСКОПИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОБ ПЫЛИ ИЗ ВЫРАБОТОК АВАРИЙНОГО УЧАСТКА

Физико-химические изменения в пыли, подвергшейся воздействию взрыва и высокой

температуры, могут быть представлены на примере проб в реальных точках аварийного участка с номерами 1-18 (рисунок 4).

Первоначальным местом возникновения взрыва (на этапе ввода в действие ПЛА и первых этапах работ по ликвидации аварии) была определена лава 832ю пласта «Тройной»². Однако характер разрушений, дополненный анализом состояния угольной пыли в различных точках участка, позволил определить место возникновения взрыва – камера привода ленточного конвейера 1ЛУ-120 в рельсовом уклоне (РУ) 35ю пласта «Тройной». Угольная пыль из эпицентра взрыва представлена ранее на рисунке 2.

В шахте (рисунок 4) до взрыва применялась обмывка угольной пыли и отобранная для анализа пыль не содержала сланцевых примесей. Кроме этого, нижняя часть рельсового уклона (РУ 35ю, точка 10, рисунок 4) была связана с остальными выработками скважиной с высоким аэродинамическим сопротивлением. Поэтому распространение взрывной волны и фронта пламени прошло только в одном направлении – вверх по РУ³. Разрушения и следы термического воздействия зафиксированы вверх от камеры привода по РУ (точка 11, рисунок 4) и в обе сто-

³ Материалы Дополнительного расследования группового несчастного случая, связанного с аварией, произошедшей 01.02.2013 года в СП «Шахта Воркутинская» ОАО «Воркутауголь».

роны от РУ по конвейерному штреку КШ 832ю пласта Тройной. Существенных изменений в дисперсном составе пыли и выходе летучих веществ выше очага в аварийной выработке (точка 10, рисунок 4) не отмечено.

Исходя из характера протекания и направления распространения взрыва, рассмотрены изменения в дисперсном составе пыли после взрыва на участках:

- прямолинейный участок непосредственно в аварийной выработке до эпицентра взрыва (точка 10, рисунок 4), далее выше по РУ на расстояние до 10 м от сопряжения с КШ 832ю (последовательно точки 11, 13, 14, 15, 16);
- в месте сопряжения РУ и КШ 832ю (точка 7);
- прямолинейный участок аварийной выработки (РУ) после пересечения с КШ 832ю (точки 7, 18);
- прямолинейный участок КШ 832ю после поворота взрывной волны и фронта пламени под углом около 90° (участок 7-1, рисунок 4). Данный участок содержит точку сопряжения с лавой⁴ (точка 3).

В точке 10 (до очага взрыва) отмечен максимальный выход летучих веществ из отложившейся пыли и максимальное процентное содержание тонких фракций пыли (рисунок 5 – первичное микроскопическое изображение частиц, рисунок 6 – изображения частиц в той же точке после программной обработки). Далее на рисунках 7-17⁵ приведены изображения частиц после компьютерной обработки. Логически связанные данные при движении УВВ и фронта пламени по РУ 35ю (рисунки 5 - 11) приведены в таблице 1, после поворота по ходу вентиляционной струи – в таблице 2 и таблице 3 (после поворота УВВ против направления вентиляционной струи). Как видно из сопоставления рисунков 7 и 8, вне зоны первичного загазования метаном горят только газы, выделяющиеся из угля, одновременно с этим в контрольной точке 13 (рисунок 8) на снижение интенсивности горения оказывает нехватка кислорода за счет его активного выгорания в зоне инициации взрыва (рисунок 7 – точка 11).

При дальнейшем распространении взрыва от точки 13 до точек 14, 15 и 16 на прямолинейном отрезке РУ 35ю (рисунки 9,10,11) сохранилась тенденция снижения интенсивности го-

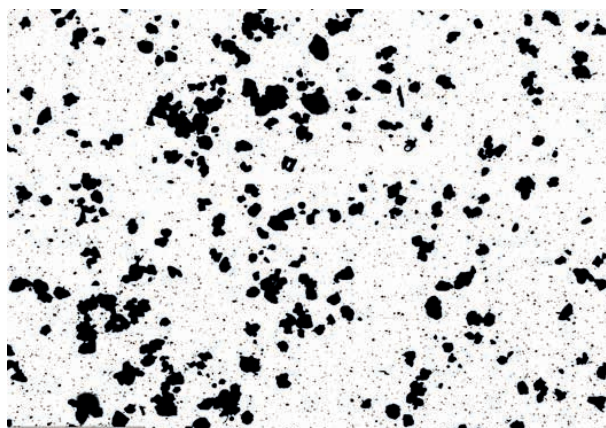


Рисунок 5 - Частицы отложившейся пыли до очага взрыва (точка 10)

Figure 5 - Particles of deposited dust before the explosion source (point 10)

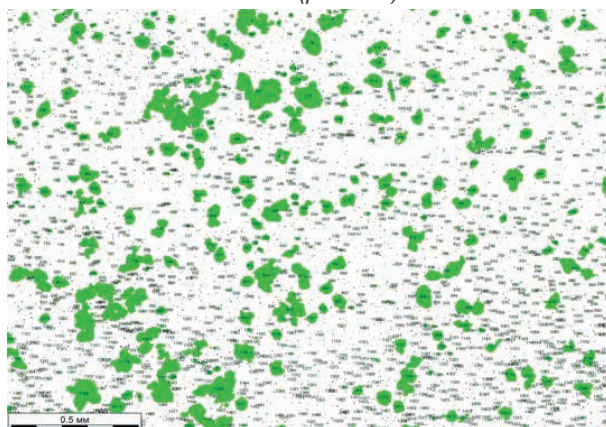


Рисунок 6 – Компьютерная обработка микроскопического изображения пыли в точке 10 (нумерация частиц и определение их размеров¹), количество частиц для анализа – 1586

Figure 6 - Computer processing of dust microscopic image at point 10 (numbering of particles and determination of their sizes¹), the number of particles for analysis – 1586



Рисунок 7 - Микроскопические изображения пыли в точке 11, количество частиц 268 (выражены крупные агрегаты оплавленных частиц, мелкие и средние частицы в значительной степени выгорели или перешли в агрегатное состояние - коксы)

Figure 7 - Microscopic images of dust at point 11, the number of particles 268 (large aggregates of fused particles are expressed, small and medium particles burned out to a large extent or transferred to the state of aggregation - coke)

¹Скорость пламени определяется в момент прохождения фронта пламени каждой точки контроля по длине штрека.

⁴ На момент взрыва приведенные на рисунке 4 изолирующие перемишки в лаве 832ю отсутствовали, они возведены позднее – в ходе ведения горноспасательных работ.

⁵ Работы выполнены на лабораторной базе ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Пиххонен Л.В., Родионов В.А.)

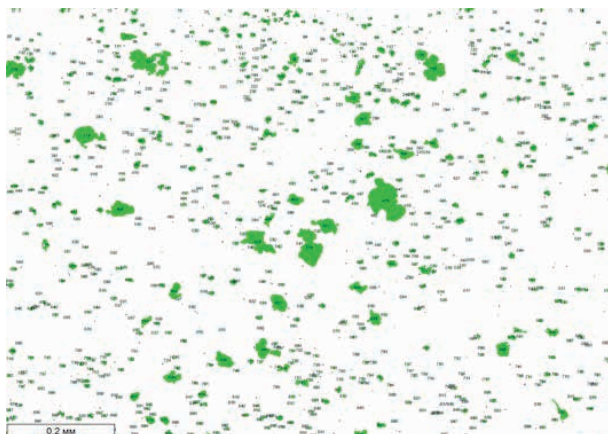


Рисунок 8 - Микроскопические изображения пыли в точке 13, число частиц 943 (выражены коксы, интенсивность горения вне зоны вспышки метана снизилась, рост числа мелких частиц свидетельствует об уменьшении интенсивности их выгорания и/или агрегации)

Figure 8 - Microscopic images of dust at point 13, the number of particles 943 (cokes are expressed, the intensity of combustion outside the methane flash zone has decreased, an increase in the number of small particles indicates a decrease in the intensity of their burnout and / or aggregation)

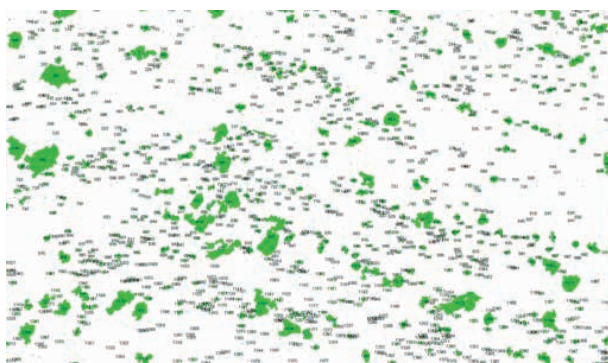


Рисунок 9 - Микроскопические изображения пыли в точке 14 (рост числа мелких частиц)

Figure 9 - Microscopic images of dust at point 14 (increase in the number of small particles)

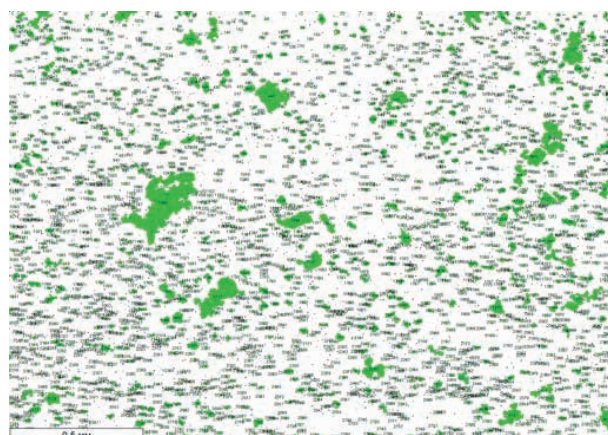


Рисунок 10 - Микроскопические изображения пыли в точке 15, резкий рост общего числа частиц 2884 (рост на единицу площади около 300%)

Figure 10 - Microscopic images of dust at point 15, a sharp increase in the total number of particles 2884 (growth per area unit of about 300%)

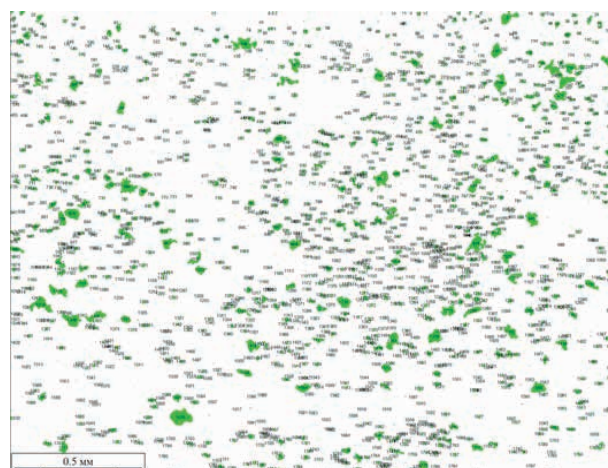


Рисунок 11 - Микроскопические изображения пыли в точке 16 (наличие мелких фракций пыли сопровождается снижением размеров коксовых агрегатов)

Figure 11 - Microscopic images of dust at point 16 (the presence of small dust fractions is accompanied by a decrease in the size of coke aggregates)

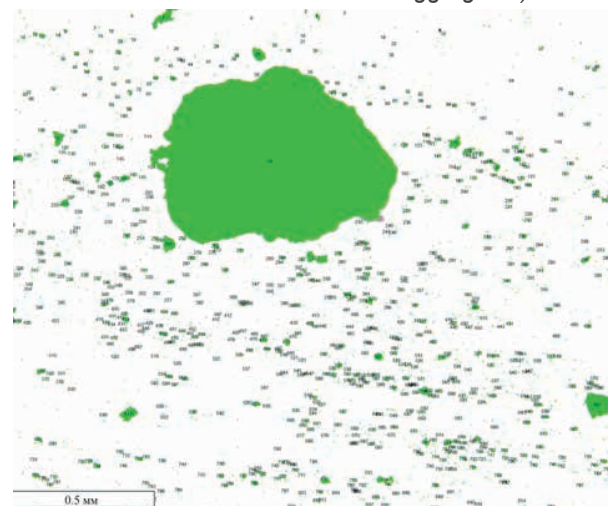


Рисунок 12 Изображение пыли в контрольной точке 12 (поворот УВВ вправо от РУ по ходу вентиляционной струи)

Figure 12 Image of dust at control point 12 (shock blast wave right turn from railway slope along the air stream)

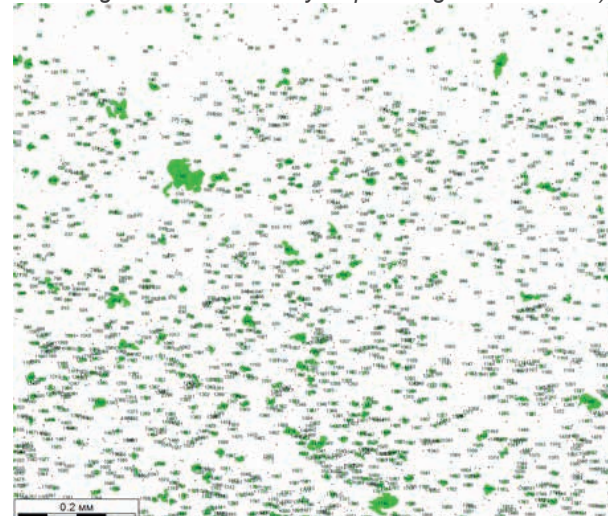


Рисунок 13 - Микроскопические изображения пыли в точке 4 (1899 частиц)

Figure 13 - Microscopic images of dust at point 4 (1899 particles)

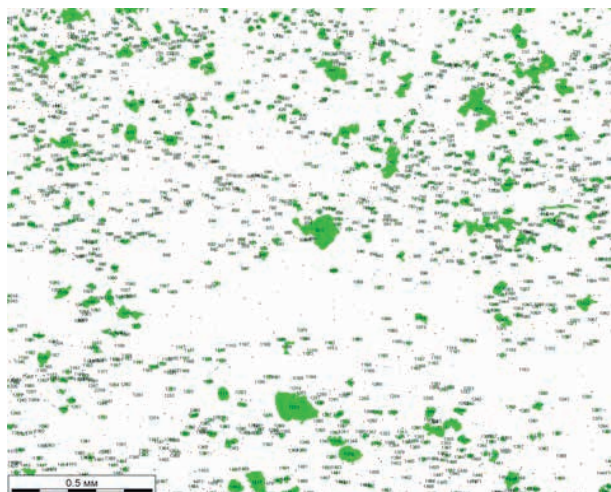


Рисунок 14 - Микроскопические изображения пыли в точке 3 (1513 частиц)
 Figure 14 - Microscopic images of dust at point 3 (1513 particles)

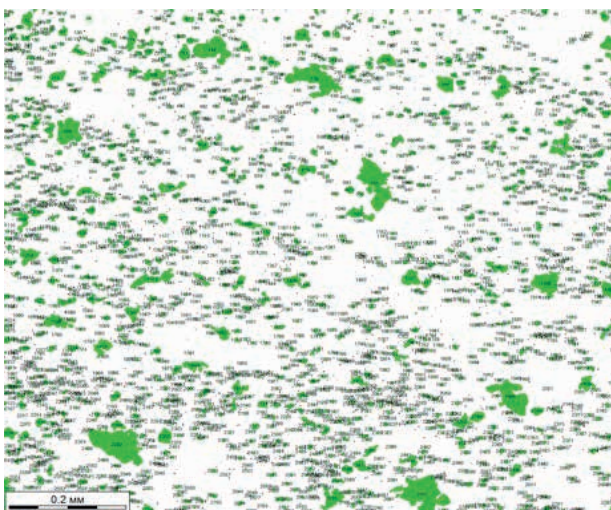


Рисунок 15 - Микроскопические изображения пыли в точке 1 (2774 частиц)
 Figure 15 - Microscopic images of dust at point 1 (2774 particles)

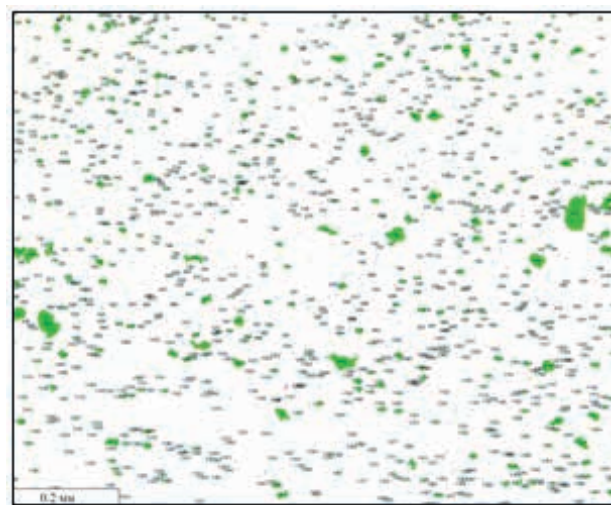


Рисунок 16 - Микроскопические изображения пыли в точке 8 (после поворота УВВ против хода вентиляционной струи по конвейерной выработке)
 Figure 16 - Microscopic images of dust at point 8 (after turning the shock blast wave against the direction of the ventilation stream along the conveyor gallery)

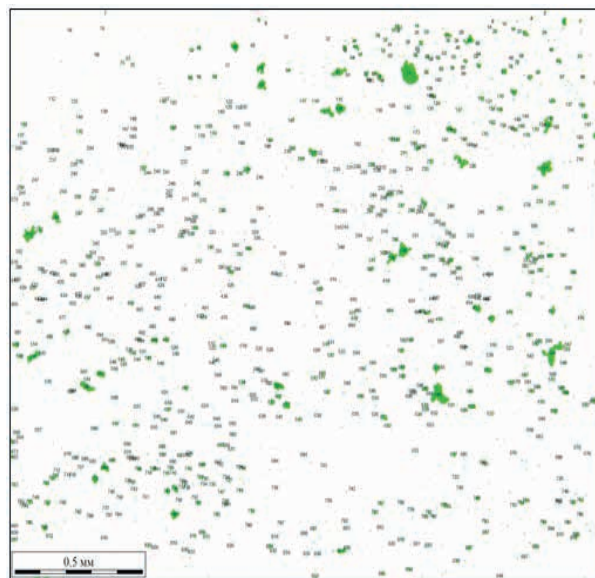


Рисунок 17 - Микроскопические изображения пыли в точке 9 (против хода вентиляционной струи по конвейерной выработке)

Figure 17 - Microscopic images of dust at point 9 (against the direction of the ventilation stream along the conveyor gallery)

рения, выраженная в непрерывном росте числа мелких частиц, среднего размера (длины) частиц и среднего эквивалентного диаметра частиц в отложившейся после взрыва пыли. Однако на всем протяжении участка продолжалось взрывное горение угольных частиц. На всех рисунках 7-16 отмечены коксы и слипшиеся агрегаты расплавленных частиц.

На качественном уровне электронно-микроскопический анализ (таблица 1, таблица 2, таблица 3) подтвердил сложный характер изменения интенсивности горения вдоль штреков на участках формирования «волны давления». В эпицентре взрыва выгорание метана сопровождается интенсивным прогревом угольных частиц, выделением летучих веществ, выгоранием горючих газов (выделенных пылью) и мелких частиц угольной пыли. Практически вся угольная пыль в месте воспламенения метана имеет вид крупных коксов, являющихся агрегатами расплавленных частиц. В этой зоне частицы претерпевают максимальные изменения в структуре, их остаточный выход летучих веществ уменьшается более чем в 2 раза (в рассмотренном реальном случае). По мере продвижения УВВ и с некоторым отставанием фронта пламени (далее - фронтов) по горной выработке неизбежен переходный процесс в ходе формирования «волны давления». Это находит свое

Таблица 1 – Состав пыли после взрыва в контрольных точках по длине аварийной выработки – рельсового уклона (участок 10-7-18, рисунок 4)

Table 1 - Composition of dust after an explosion at control points along the length of the damaged opening - railway slope (section 10-7-18, Figure 4)

Параметр, ед.измерений	Значение параметров в контрольных точках:							
	10	11 (место взрыва)	13	14	15	16	7 (сопряжение выработок)	18
L_{min} , мкм	0,5	4,6	2,3	1,3	4,1	1,2	0,6	1,2
L_{max} , мкм	140	282	95	122	238	208	133	163
L_{cp} , мкм	2,0	32,0	7,8	11,8	13,3	11,5	6,0	10,0
\varnothing_{cp} , мкм	1,6	24,8	6,1	9,1	10,3	9,0	4,7	7,6

Таблица 2 – Состав пыли после взрыва в контрольных точках после сопряжения выработок под углом 90° (участок 7-1, рисунок 4) Т

Table 2 - Dust composition after the explosion at control points after the opening junction at an angle of 90° (section 7-1, Figure 4)

Параметр, ед.измерений	Значение параметров в контрольных точках:							
	7	12	6	5	4	3	2	1
L_{min} , мкм	0,6	1,2	1,0	1,6	4,1	4,1	0,5	2,1
L_{max} , мкм	133	280	191	88		182	74	130
L_{cp} , мкм	6,0	12,8	10,6	6,3	16,1	15,3	4,7	7,1
\varnothing_{cp} , мкм	4,7	10,0	8,2	4,9	11	11,9	3,7	5,5

Таблица 3 – Состав пыли после взрыва в контрольных точках после сопряжения выработок под углом 90° (участок 7-17 против вентиляционной струи)

Table 3 - Composition of dust after an explosion at control points after the opening junction at an angle of 90° (section 7-17 against the air stream)

Параметр, ед.измерений	Значение параметров в контрольных точках:		
	7	8	9
L_{min} , мкм	0,6	0,000581	0,0101
L_{max} , мкм	133	0,101	0,218
L_{cp} , мкм	6,0	0,0054	0,0101
\varnothing_{cp} , мкм	4,7	0,00426	0,00808

отражение в резких скачках скорости пламени и, соответственно, в дисперсном составе угольной пыли (осевшей после взрыва). В этой переходной зоне по мере удаления фронтов от источника воспламенения выгорание мелких частиц не столь интенсивен, в микроскопиче-

ских изображениях падение скорости пламени сопровождается ростом числа мелких частиц в пылеотложении, а возрастание интенсивности горения визуально различимо за счет снижения (до полного исчезновения) мелких частиц и повышения величины среднего диаметра частиц.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные микроскопические исследования впервые позволили описать (на качественном и количественном уровне) процессы во взрывном горении, происходящие в области сопряжения проветриваемых горных выработок при выходе УВВ и фронта пламени из одной выработки в 2-3 выработки после разветвления. Отмечены отличия в динамике дисперсного состава пыли при движении фронтов взрыва по ходу вентиляционной струи и против направления движения воздуха. Во всех исследованных точках сопряжений выработок (на рисунке 4 – точки 7 и 3) происходил рост интенсивности горения (или скорости фронта пламени) за счет дополнительного объема кислорода, поступающего к фронту пламени.

В ходе исследований отмечены основные проблемные и перспективные вопросы микроскопического анализа:

- трудность различения агрегатов расплав-

ленных частиц от наложения остывших частиц;
 - наиболее объективными показателями, характеризующими процесс взрывного горения вдоль выработки, является минимальный размер частиц в точке контроля, показатели – максимальный или средний эквивалентный диаметр требует доработки методов обработки микроскопических изображений.

Электронно-микроскопический анализ угольной пыли достаточно достоверно распознает резкие переходы в ее составе (до очага взрыва – очаг воспламенения – после очага взрыва) и предполагает его практическое использование при уточнении фактического места возникновения взрыва. Этот метод (в сочетании с параллельным анализом остаточного выхода летучих веществ) после практической апробации соответствующей методики может достоверно определить факт участия угольной пыли во взрыве и провести контроль динамики распространения УВВ и фронта пламени по выработкам аварийного участка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РФ ГОСТ Р 55660-2013 Топливо твердое минеральное. Определение выхода летучих веществ.* - М.: ФГУП «Стандартинформ».-2014.-17 с.
2. *ГОСТ Р 53293-2009. Пожарная опасность веществ и материалов. Материалы, вещества, и средства огнезащиты. Идентификация методами термического анализа.*
3. *ГОСТ 12.1.041-83.Пожаровзрывобезопасность горючих пылей. Общие требования.*
4. *ГОСТ 12.1.044-89. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.*
5. Романченко С.Б., Девликанов М.О. Влияние дисперсного состава угольной пыли на показатели взрывоопасности.// Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – № 2-2019, с.16-23.
6. *CYBULSKI W. WYBUCHY PYLU WEGLOWEGO I ICH ZWALCZANIE. KATOWICE, WYDAW. "SLASK"., 1973.- 451 с.*
7. *LEBECKI K. ZAGROZENIA PYLOWE W GORNICTWIE. KATOWICE: GLOWNY INSTYTUT GORNICTWA, 2004.- 399 с.*
8. *ЛЕБЕЦКИ К.А., Романченко С.Б. Пылевая взрывоопасность горного производства. –М.: Горное дело, 2012.-464 с.*
9. *НЕЦЕПЛЯЕВ М.И., Любимова А.И., Петрухин П.М.. Борьба со взрывами угольной пыли в шахтах. М.: Недра, 1992. - 298 с.*

REFERENCES

1. *GOST R 55660-2013 SOLID MINERAL FUEL. THE VOLATILE SUBSTANCES YIELD DETERMINATION. MOSCOW: FGUP STANDARTINFORM. 2014. P 17 [IN RUSSIAN].*
2. *GOST R 53293-2009 FIRE HAZARD OF SUBSTANCES AND MATERIALS. MATERIALS, SUBSTANCES, AND FIRE PROTECTION MEANS. IDENTIFICATION BY THERMAL ANALYSIS METHODS.*
3. *GOST 12.1.041-83 COMBUSTIBLE DUSTS' FIRE AND EXPLOSION SAFETY. GENERAL REQUIREMENTS.*
4. *GOST 12.1.044-89. FIRE AND EXPLOSION HAZARD OF SUBSTANCES AND MATERIALS. THE NOMENCLATURE OF INDICATORS AND METHODS FOR THEIR DETERMINATION.*
5. *ROMANCHENKO, S.B. & DEVLIKANOV M.O. (2019).VLIANIE DISPERSNOGO SOSTAVA UGOLNOI PYLI NA POKAZATELI VZRYVOOPASNOSTI [THE EFFECT OF THE COAL DUST DISPERSED COMPOSITION ON EXPLOSION HAZARD INDICATORS]. VESTNIK NAUCHNOGO TSENTRA PO BEZOPASNOSTI RABOT V UGOLNOI PROMYSHLENNOSTI – HERALD OF SAFETY IN MINING INDUSTRY SCIENTIFIC CENTER, 2, 16-23 [IN RUSSIAN].*
6. *CYBULSKI W. (1973). WYBUCHY PYLU WEGLOWEGO I ICH ZWALCZANIE. KATOWICE, WYDAW. "SLASK"., [IN POLISH].*
7. *LEBECKI K. (2004). ZAGROZENIA PYLOWE W GORNICTWIE. KATOWICE: GLOWNY INSTYTUT GORNICTWA, [IN POLISH].*
8. *LEBECKI, K.A., & ROMANCHENKO, S.B. (2012). PYLEVAIA VZRYVOOPASNOST GORNOGO PROIZVODSTVA [DUST EXPLOSION HAZARD OF MINING]. MOSCOW: GORNOIE DELO [IN RUSSIAN].*
9. *NETSEPLIAEV, M.I., LIUBIMOVA, A.I., & PETRUKHIN, P.M. (1992). BORBA SO VZRYVAMI UGOLNOI PYLI V SHAKHTAKH [COAL DUST EXPLOSION CONTROL IN MINES]. MOSCOW: NEDRA [IN RUSSIAN].*



СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ЗАПЫЛЕННОСТИ, ИНТЕНСИВНОСТИ ПЫЛЕОТЛОЖЕНИЙ СКИП-01



с использованием искусственной
нейронной сети

ГОРНЫЙ-ЦОТ

Система контроля запыленности, интенсивности пылеотложений и дисперсного анализа СКИП-01

**для определения дисперсности пыли,
содержащейся в атмосфере и интенсивности
запыленности используется оптический метод, а
не весовой**

Модификации прибора СКИП:

М1 - предназначена для измерения концентрации пыли, дисперсного состава, скорости движения воздуха, пылеотложения. Для данной модификации возможно подключение внешних датчиков пылеотложения.

М2 - предназначена для измерения концентрации пыли, дисперсного состава, скорости движения воздуха, пылеотложения. Имеет взрывобезопасное исполнение.

М3 - предназначена для измерения концентрации пыли, дисперсного состава, скорости движения воздуха, направления движения воздуха, пылеотложения. Имеет общепромышленное исполнение.

М4 - предназначена для измерения концентрации и дисперсного состава частиц пыли(порошков). Предназначена для контроля дисперсного состава. Имеет общепромышленное исполнение.



- ✓ Автоматизированный инструмент контроля пылеотложения в режиме онлайн, необходимый согласно требованиями ПБ для угольных шахт и Положения об АГК
- ✓ Инструмент дисперсного анализа аэрозоля
- ✓ Прошел испытания во ФГУП «ВНИИФТРИ»
- ✓ Диапазоны измерений: Запыленность от 0-1500 мг/м³, Дисперсный состав 0-150 мкм, Скорость воздуха 0,1-20 м/с, Накопление пыли в выработке 5-150 г/м³

I. ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ГЕОМЕХАНИКА

I. INDUSTRIAL SAFETY AND GEOMECHANICS



■ А.В. Шадрин // A.V. Shadrin

д-р техн. наук, главный научный сотрудник ФГБУН «ФИЦ УУХ СО РАН», Россия, 650065, г. Кемерово, Ленинградский пр., 10
 Doctor of technical sciences, Chief researcher of FGBUN "FIC UUKh SB RAS", Russia, 650065, Kemerovo, Leningradski Av., 10



■ Ю.А. Диюк // Yu.A. Diiuk
avsh-357@mail.ru

аспирант ФГБУН «ФИЦ УУХ СО РАН», Россия, 650065, г. Кемерово, Ленинградский пр., 10

Postgraduate of FGBUN "FIC UUKh SB RAS", Russia, 650065, Kemerovo, Leningradski Av., 10 Federal State Budget Scientific Institution "Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences"

УДК 622.831.322

КРИТЕРИЙ ПРЕДВЫБРОСНОГО ОТЖИМА УГЛЯ ИЗ УСТЬЯ ПОЛОСТИ ВЫБРОСА ДЛЯ СПЕКТРАЛЬНО-АКУСТИЧЕСКОГО МЕТОДА ПРОГНОЗА COAL PRE-OUTBURST PRESS-OUT CRITERIA FROM THE OUTBURST CAVITY MOUTH FOR SPECTRAL- ACOUSTIC FORECAST METHOD

Рассматривается процесс начала внезапного выброса угля и газа, когда под действием сил горного и газового давления скачкообразно выдавливается в выработку в устье будущей полости выброса слой угольного пласта, состоящий из нескольких кусков угля.

Определяется геомеханический критерий выдавливания слоя угля в форме отношения активных (выдавливающих) и пассивных (препятствующих выдавливанию) сил. В качестве активных сил рассматривается сумма силы бокового давления, силы, вызванной давлением свободного газа в трещинах, а также вес выдавливаемого слоя угля. В качестве пассивных сил взяты силы сцепления и внутреннего трения угля в массиве

Для геомеханического критерия обосновывается геофизический критерий путем выражения основных физических параметров через геофизические: действующие напряжения, обусловленные горным давлением, определяются спектрально-акустическим методом через отношение высокочастотной и низкочастотной составляющей акустического сигнала, генерируемого в призабойное пространство воздействующим на забой горным оборудованием; внутрипластовое давление газа оценивается газоаналитическим методом по концентрации метана в атмосфере выработки; прочность наиболее перемятой пачки угля периодически измеряется на груди забоя выработки прочностномером конструкции ИГД им. А.А. Скочинского по глубине внедрения стального конуса, получающего удар пружинного механизма. Предельное (критическое) значение геофизического критерия выбросоопасности определяется при равенстве активных и пассивных сил.

Анализируется влияние акустических, прочностных, фильтрационно-коллекторских свойств призабойного пространства на критическое значение полученного геофизического критерия предвыбросного выдавливания «угольной пробки» в устье будущей полости выброса. Показано, что с ростом горного давления и концентрации метана у груди забоя выработки, и при уменьшении прочности угля критическое значение показателя выбросоопасности уменьшается.

Coal and gas sudden outburst development process is considered when, under the rock and gas pressure forces influence, a layer of a coal seam consisting of several coal lumps is abruptly pressed out into a working to the future cavity mouth. The geomechanical criterion for pressing out a layer of coal is determined in the form of the ratio of active (pressing out) and passive (preventing this pressing out) forces. The sum of lateral pressure force, the force caused by the pressure of free gas in the cracks, and the weight of the pressed out

coal layer are considered as the active forces. The cohesive forces and internal friction of coal in the massif are taken as passive forces.

For the geomechanical criterion, the geophysical criterion is substantiated by expressing the main physical parameters in terms of geophysical: the operating stresses stipulated by the rock pressure are determined by the spectral-acoustic method through the ratio of the high-frequency and low-frequency components of the acoustic signal generated at the face area by mining equipment acting on the face; the seam gas pressure is estimated by the gas analytical method from the concentration of methane in the working atmosphere; the strength of the most crumpled coal band is periodically measured on the face chest by the strength gauge of A.A. Skochinsky Mining Institute design through the depth of a steel cone hit with a spring mechanism penetration.

The limiting (critical) value of the geophysical outburst hazard criterion is determined when the active and passive forces are equal.

The influence of the acoustic, strength, filtration and accumulation properties of the face area on the critical value of the obtained geophysical criterion for the pre-outburst pressing out of the "coal plug" to the mouth of the future outburst cavity is analyzed. It is shown that with an increase in rock pressure and methane concentration at the face chest, and with a decrease in coal strength, the critical value of the hazard factor decreases.

Ключевые слова: АКТИВНЫЕ И ПАССИВНЫЕ СИЛЫ, КРИТЕРИЙ ВЫДАВЛИВАНИЯ УЧАСТКА ПОВЕРХНОСТИ ЗАБОЯ, ГОРНОЕ ДАВЛЕНИЕ, СПЕКТРАЛЬНО-АКУСТИЧЕСКИЙ МЕТОД, ВНУТРИПЛАСТОВОЕ ДАВЛЕНИЕ ГАЗА, КОНЦЕНТРАЦИЯ МЕТАНА В АТМОСФЕРЕ, ПРОЧНОСТЬ УГЛЯ, ПРОЧНОСТНОМЕР.

Key words: ACTIVE AND PASSIVE FORCES, CRITERION OF A FACE SURFACE SECTION PRESSING OUT, ROCK PRESSURE, SPECTRAL-ACOUSTIC METHOD, COAL SEAM GAS PRESSURE, METHANE CONCENTRATION IN THE ATMOSPHERE, COAL STRENGTH, STRENGTH GAUGE.

Введение
В основе геофизических методов прогноза выбросоопасности лежит мониторинг явлений, предшествующих внезапному выбросу угля и газа. Одним из таких методов является спектрально-акустический. Он основан на влиянии горного давления на амплитудно-частотный спектр шумов, генерируемых в призабойное пространство работающим горным оборудованием [1-3].

В работе [4] в качестве одного из основных предвестников выброса взят процесс развития трещин в призабойном пространстве, имеющий место при достижении действующими напряжениями значений, близких к предельным. Для этого прогностического признака установлен геофизический критерий выбросоопасности и показана его зависимость от основных параметров горного массива, определяющих выбросоопасность.

В данной работе дадим обоснование геофизического критерия выбросоопасности для начального этапа выброса, заключающегося в выдавливании в выработку слоя угля с поверхности забоя в устье будущей полости выброса. Это сопровождается скачкообразным увеличением максимума напряжений в зоне повышенного горного давления с одновременным приближением его к плоскости забоя и началу внезапного выброса в соответствии с общепри-

знанной моделью (генерация волны дробления и волны отторжения – по С.А. Христиановичу [5, 6]). О таком механизме инициирования процесса говорит экспериментально установленный факт, заключающийся в том, что всегда при отгрузке из выработки выброшенной в процессе выброса мелкодисперсной массы угля (получившей название у горняков «бешеная мука») у забоя выработки на почве под устьем полости выброса находили некрупные куски угля.

Геомеханический критерий выдавливания слоя угля из забоя как критерий выбросоопасности

Физическая модель данного процесса поясняется рисунком 1. Здесь введены следующие обозначения: $\sigma_1(x)$ и $\sigma_3(x)$ – соответственно вертикальная и горизонтальная компоненты нормальных напряжений; 1 – трещины, в которых находится свободный газ под давлением P ; 2 – выдавливаемый участок угля; 3 – кривая, аппроксимирующая $\sigma_1(x)$ на участке $x \in (0, x_2)$; γH – напряжения вне зоны влияния выработки; 4 – полость выброса; $M \cdot v$ – величина $\sigma_1(x)$ при $x=0$; σ_{1m} – максимальное значение вертикальной компоненты нормальных напряжений в зоне опорного горного давления; x_1 – критическое расстояние от забоя выработки, на котором нарушается условие устойчивости участка угля; x_2 – расстояние от забоя выработки до σ_{1m} .

В месте устья будущей полости выброса

выделим цилиндрический участок - часть слоя угля, которая будет выдавлена при начале выброса. Призабойное пространство, как и весь горный массив, имеет блочно-иерархическую структуру [7]. Наличие в горном массиве выработки приводит к образованию вокруг нее поверхностей ослабления, под которыми понимаются такие направления, по которым характеристики его прочности существенно ниже по сравнению с другими направлениями [8]. Неоднородное поле напряжений в призабойном пространстве приводит к тому, что преимущественная ориентация трещин по мере удаления от груди забоя выработки изменяется [9]. Это, наряду с наличием поверхностей ослабления, вызванных наличием в угольном пласте, как правило, нескольких систем кливажа способствует разнонаправленному росту трещин в произвольной зоне пласта по мере приближения к ней забоя выработки с формированием в призабойном пространстве блоков более низкого ранга (до размеров выдавливаемых кусков на начальной стадии выброса). Предположим также, что толщина отдельных блоков в выдавливаемом участке примерно одинакова. Вследствие этого блоки образуют общую поверхность, для простоты параллельную плоскости забоя выработки. Причем берега части трещин, разделяющих блоки выдавливаемого участка от остального массива, плотно контактируют между собой, тогда как оставшаяся часть - нет.

На участок угля в месте устья будущей полости выброса действует активная сила f_a , состоящая из горизонтальной компоненты напряжений σ_3 , действующей на поверхности контактирующих с массивом блоков угля, давления свободного газа P в трещинах с не контактирующими берегами, и гравитационной силы тяжести F_m выдавливаемого участка угля. Как правило, в зоне будущей полости выброса уголь менее прочный и нарушенный. Поэтому

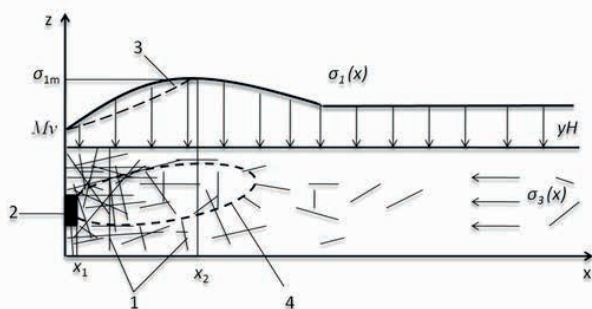


Рис. 1. Образование полости выброса в призабойном пространстве (случай плоского нагружения)

Fig. 1. The outburst cavity formation in the face area (case of flat loading)

при достижении напряжениями некоторой предельной величины возможно выдавливание этого участка.

Удерживается участок пассивной силой f_p , каковой является сила трения боковой поверхности выдавливаемого участка о соседний более крепкий уголь. При этом предполагаем, что контакт выдавливаемого участка по его периметру с не выдвигаемой частью угля осуществляется по всей боковой поверхности участка.

Определим условия осуществления выдавливания участка в выработку.

Предположим, что опасная ситуация возникла и реализовалась на некотором критическом расстоянии x_1 от забоя выработки. (Для условий рассматриваемой задачи это расстояние равно примерно 0,05-0,15 м). Площадь выдавливаемого участка обозначим S . Часть этой площади величиной S_1 плотно контактирует с основным массивом угля. Другая часть площадью S_2 - отделена трещиной, наполненной газом. Для этой ситуации справедливо следующее выражение:

$$\frac{f_a}{f_p} = \frac{F_1 + F_2 \pm |F_3|}{f_p} \geq 1 \quad (1)$$

В этом условии в числителе приведены активные f_a (инициирующие), а в знаменателе пассивные f_p (препятствующие) силы развязывания газодинамического явления (ГДЯ). Здесь первое слагаемое в числителе F_1 соответствует силе бокового давления (горизонтальной компоненте нормальных напряжений), второе слагаемое F_2 - силе газового давления в трещине, третье F_3 - силе тяжести (вперед стоящий знак зависит от того, является выработка восходящей или нисходящей), а знаменатель f_p соответствует силам сцепления и внутреннего трения угля в массиве.

На участке $x \in (0, x_1)$ обозначим $\frac{\sigma_3}{\sigma_1} = \lambda$. Тогда на часть боковой поверхности выдвигаемого в сторону выработки участка будет действовать сила, назовем ее силой бокового давления, равная:

$$F_1 = \lambda \sigma_1 \cdot S_1 \cdot \cos \delta, \quad (2)$$

где δ - угол наклона оси выработки к горизонту.

На часть этой же поверхности выдавливаемого участка площадью S_2 действует в сторону выработки давление газа P , а на площадь S действует гравитация F_3 с силой, определяемой соответственно следующими выражениями:

$$F_2 = P S_2, \quad (3)$$

$$F_3 = \pm \gamma_c S x_1 \cdot \sin \delta, \quad (4)$$

где: γ_c - удельный вес угля; x_1 - расстояние от поверхности S до забоя; $S = S_1 + S_2$. Перемещению участка в виде цилиндра с эллиптической формой сечения площадью S

длиной x_1 , препятствуют силы внутреннего трения и сцепления угля, создающие касательные напряжения τ , действующие по боковой поверхности этого цилиндра, и равные [10]:

$$f_p = \Pi \int_0^{x_1} \tau dx \quad (5)$$

где Π – периметр сечения цилиндра плоскостью, нормальной горизонтальной оси.

Подставив (2) - (5) в (1) и учтя, что [11]:

$$\tau = \sigma_1(x) \cdot tg\rho + M, \quad (6)$$

где ρ угол внутреннего трения; M – коэффициент сцепления угля, получим следующее силовое условие выдавливания участка или развязывания внезапного выброса:

$$\frac{\lambda \sigma_1(x_1) S_1 \cos \delta + P(x_1) S_2 \pm \gamma_c S x_1 \sin \delta}{\Pi \int_0^{x_1} [\sigma_1(x) tg\rho + M] dx} \geq 1 \quad (7)$$

Как видно из условия (9), потеря устойчивости призабойного пространства или развязывание ГДЯ возможны как в результате совместного действия всех активных сил, так и их комбинаций вплоть до отдельных сил. При этом будет происходить соответствующий тип газодинамического или динамического явления. Так, например, выдавливание участка вследствие действия только силы тяжести может привести лишь к обрушению некоторой нависающей части горного массива. В отсутствие свободного газа в трещине между выдвигаемым участком и остальным массивом угля силы бокового давления могут привести к выдавливанию блока, в результате чего может резко возрасти напряжение в зоне опорного давления и, как следствие, - мгновенное разрушение массива в этой зоне, иначе говоря – горный удар. Действие лишь горизонтальной компоненты нормальных напряжений может также привести лишь к отжиму угля, а одновременное воздействие этой компоненты горного давления и давления газа может привести к внезапному выдавливанию угля с повышенным газовыделением, которое в свою очередь может перерасти во внезапный выброс угля и газа.

Из сказанного следуют важные выводы относительно организации текущего прогноза. Во-первых, достоверный прогноз выбросоопасности вследствие механизма отжима возможен только при одновременном контроле основных влияющих факторов – горного и газового давления и параметров, определяющих препятствующую им силу: угла внутреннего трения и коэффициента сцепления угля. Во-вторых, действие

сил горного и газового давления носит аддитивный характер, при этом снижение любого одного фактора опасности влечет к снижению опасности проявления ГДЯ в целом.

Покажем, что прогноз (контроль) выбросоопасности вследствие механизма отжима угля непосредственно в процессе ведения горных работ (отбойки угля молотком, комбайном или стругом) возможен по результатам оценки фактора напряженного состояния – спектрально-акустическим методом, а газового фактора – аппаратурой газового контроля (АГК).

Аппроксимируем вертикальную компоненту нормальных напряжений $\sigma_1(x)$ на участке $x \in (0, x_2)$ в призабойной зоне экспонентой в следующем виде [10]:

$$\sigma_1(x) = Mv \cdot \exp \epsilon x, \quad (8)$$

где

$$v = \frac{2 \cos \rho}{1 - \sin \rho} \quad (9)$$

$$\epsilon = \frac{1}{x_2} \ln \frac{\sigma_{1m}}{Mv} \quad (10)$$

x_2 – координата максимума нормальных напряжений σ_{1m} .

Подставив (8) в подинтегральную функцию знаменателя (9) и произведя интегрирование, получим, что интеграл равен следующему выражению:

$$M \left[\frac{2 \sin \rho}{1 - \sin \rho} \frac{1}{\epsilon} (\exp \epsilon x_1 - 1) + x_1 \right]. \quad (11)$$

Приведенные выше соотношения справедливы для произвольной длины участка x_1 , т.к. они описывают процесс естественного отжима в интервале длин участка $(0, x_1)$, причем верхний предел величины x_1 ограничен лишь величиной x_2 , до которой справедливо моделирование функции $\sigma_1(x)$ в форме экспоненциальной зависимости вида (8). Однако для простоты решения задачи ограничимся ранее сформулированным условием, а именно – рассматриваем выдавливание участка небольшой длины. Для этого случая оценим величину $\exp(\epsilon x_1)$ из выражения (11), подставив в него (10), получим:

$$\exp(\epsilon x_1) = \exp\left(\frac{x_1}{x_2} \ln \frac{\sigma_{1m}}{Mv}\right). \quad (12)$$

В этом выражении $\frac{\partial \sigma_1}{\partial x_2} = 1$, т.к. выдавливание участка угля по предположению с максимальной длиной $x_1 = 0.15$ м происходит в зоне, расположенной много ближе к забою, чем до максимума зоны опорного давления. В частности, для подготовительных выработок $x_2 \approx 2-6$ м [12]. При этом максимальное значение отношения $\left(\frac{x_1}{x_2}\right)_{\max,1} \approx 0.08$.

Для очистных выработок минимальное значение $x_{2min} \approx 1.5$ м [13, 14]. При этом максимальное значение отношения $\left(\frac{x_1}{x_2}\right)_{max} \approx 0.08$.

Величину σ_{1m} оценим из следующих соображений. В работе [11] показано, что впереди забоя подготовительной выработки, проводимой по угольному пласту вне зоны влияния очистных работ, концентрация напряжений незначительна и, как правило, не превышает $1.3 \gamma H$, где γ – удельный вес вышележащих пород; H – расстояние до земной поверхности. Впереди очистной выработки в максимуме опорного давления напряжения могут превышать статическое (γH) в 1.3-2.5 и более раз. Поскольку на практике принимают $\gamma \approx 2.5 \cdot 10^4$ Н/м³, σ_{1m} на глубинах $H=300-700$ м может принимать следующие значения:

- для подготовительных выработок: $\sigma_{1m} \approx 10 \div 23$ МПа;
- для очистных выработок: $\sigma_{1m} \approx 10 \div 44$ МПа.

Величину $M \cdot v$ оценим следующим образом. В работе [15] предложены следующие расчетные формулы для определения M и ρ через пределы прочности пород на сжатие σ_p и растяжение σ_s :

$$M = B \sigma_s \quad (13)$$

$$\rho = 2(\arctg \frac{\sigma_p}{\sigma_s} \frac{1}{2B} - 45^\circ), \quad (14)$$

где $B = \sqrt{\frac{\sigma_p}{\sigma_s} + 1} - 1$.

Воспользуемся приближенными соотношениями для определения σ_p и σ_s через коэффициент прочности угля q , измеренный прочностным номером конструкции ИГД им. А.А. Скочинского [4]:

$$\sigma_p = \frac{4q}{110 - q}, \text{ МПа} \quad (15)$$

$$\sigma_s \approx \frac{0.3q}{110 - q}, \text{ МПа}. \quad (16)$$

Из (15, 16) следует, что $\frac{\sigma_p}{\sigma_s} \approx 13.3$. Тогда $B \approx 2.8$ и в соответствии с (13):

$$M \approx 2.8 \sigma_s, \quad (17)$$

а согласно (14):

$$\rho \approx 44.4^\circ. \quad (18)$$

Тогда, в соответствии с (9), $v \approx 4.8$.

Для углей с прочностью $q = 50 \div 80$ у.е. в соответствии с (16) имеем: $\sigma_s = 0.25 \div 0.4$ МПа.

Тогда в соответствии с (13) $M \approx 0.7 \div 1.1$ МПа, а $Mv \approx 3.4 \div 5.3$ МПа.

Исходя из сделанных выше оценок, область значений отношения $\frac{\sigma_{1max}}{Mv}$ лежит в пределах:

- для подготовительных выработок – $1.9 \div 7.1$;

- для очистных выработок – $1.9 \div 12.9$.

Тогда показатель экспоненты (12) приближенно равен:

- для подготовительных выработок – $0.05 \div 0.16$;
- для очистных выработок – $0.06 \div 0.26$.

Поскольку показатель экспоненты есть величина небольшая, в разложении правой части выражения (12) в ряд [16] ограничимся только двумя первыми членами:

$$\exp\left(\frac{x_1}{x_2} \ln \frac{\sigma_{1max}}{Mv}\right) \approx 1 + \frac{1}{x_2} \ln \frac{\sigma_{1max}}{Mv} \quad (19)$$

Расчет показывает, что возникающая при этом максимальная относительная погрешность не превышает 3% и быстро возрастает с увеличением x_1 . Поэтому полученные ниже результаты будут корректно описывать процесс отжима лишь в узкой призабойной зоне.

Учтя (10), (12) и (19), выражение (11) преобразуется к виду:

$$M \left[\frac{2 \sin \rho}{1 - \sin \rho} \frac{1}{\varepsilon} (\exp \varepsilon x_1 - 1) + x_1 \right] \approx M \left(\frac{1 + \sin \rho}{1 - \sin \rho} \right) x_1 \quad (20)$$

Форма сечения выдавливаемого участка (устья полости выброса) в общем случае близка к эллипсу. Для простоты представим ее круглой с эквивалентным радиусом r_e . Тогда с учетом (7) и (20) f_p будут равны:

$$f_p = 2\pi M \left(\frac{1 + \sin \rho}{1 - \sin \rho} \right) r_e x_1, \text{ Н}. \quad (21)$$

Предельное значение f_a , при достижении которого начинается выдавливание участка угля, равно f_p . Оценим зависимость этой величины от прочности угля и размеров выдвигаемого блока. Для этого подставим в (21) значения M и ρ из соответственно (17), (16) и (18), получим:

$$f_p \approx \left(\frac{30q}{110 - q} \right) r_e x_1, \text{ МН} \quad (22)$$

Зависимость вида (22) для выдвигаемого цилиндрического участка с эффективным радиусом $r_e = 0.05$ м для нескольких значений его толщины представлена на рис. 2.

Как видно из представленных данных (выражение (22), рис. 2), предельное значение пассивных сил f_p прямо пропорционально эффективному радиусу и мощности выдавливаемого участка, и практически линейно возрастает с увеличением прочности угля.

Подставив (20) в (7), введя замены $\frac{S}{\Pi} = \frac{r_e}{2}$, $S_1 = \psi S$, $S_2 = S - S_1 = S(1 - \psi)$, где $\psi \in (0; 1)$ – коэффициент, определяющий долю площади выдавливаемого участка, вдоль которой берега трещины, отделяющей участок от остального массива, плотно

контактируют, силовой критерий устойчивости призабойного пространства (7) примет вид:

$$\frac{\lambda \sigma_1(x_1) \psi \cos \delta + P(x_1)(1 - \gamma_c x_1 \sin \delta) r_e}{M \left(\frac{1 + \sin \rho}{1 - \sin \rho} \right) x_1} \geq 1. \quad (23)$$

Подставив (16) - (18) в (23), получим выражение для определения предельного значения $\sigma_{1,l}(x_1)$, при достижении которого участок угля выдавливается в выработку:

$$\sigma_{1,l}(x_1) \geq \frac{1}{\lambda \psi \cos \delta} \left[9,5 \left(\frac{q}{110 - q} \right) 10^6 \frac{x_1}{r_e} - P(x_1)(1 - \psi) \mp \gamma_c x_1 \sin \delta \right], \text{ Па.} \quad 24$$

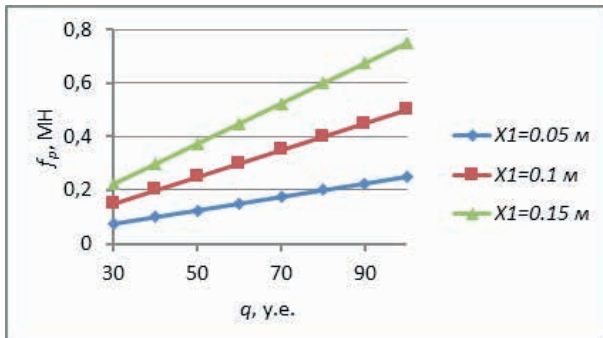


Рисунок 2. Зависимость силы сцепления и внутреннего трения f_p от прочности угля q (у.е. - условные единицы), мощности выдавливаемого участка x_1 при эффективном его радиусе $r_e = 0.05$ м
 Figure 2. Dependence of adhesion force and internal friction f_p from coal strength q (CU-conventional units), pressed out section thickness x_1 with its effective radius $r_e = 0.05$ m

Таким образом, геомеханический критерий выбросоопасности, в данном случае совпадающий с критерием выдавливания участка угля в выработку, оказывается выраженным через пять неизвестных величины: $\sigma_{1,l}(x_1)$, λ , q , ψ и P . Покажем, что большую часть этих параметров можно контролировать геофизическими методами, не мешающими ведению горных работ.

Геофизический критерий выдавливания участка угля из забоя как критерий выбросоопасности

Геомеханический критерий выдавливания участка угля вида (24) описывает зависимость предельного значения вертикальной компоненты напряжений от параметров горного массива. Для контроля этой величины достаточно удобно использовать спектрально-акустический метод. В соответствии с этим методом текущее значение коэффициента выбросоопасности K_c , определяется как отношение амплитуд акустических колебаний высокочастотной A_h и низкочастотной A_l частей спектра шумов работающего горного оборудования, которое можно представить в следующем виде

$$K_c = \frac{A_h}{A_l} = e^{-C \frac{\sigma_{l,av,max}}{\sigma_{c,av}} d}$$

где: A_h и A_l – эффективные амплитуды акустических шумов, замеренные соответственно в областях высоких и низких частот, В; $\sigma_{l,av,max}$ и $\sigma_{c,av}$ – средние соответственно предельное (максимально возможное для контролируемого участка пласта) и текущее значения напряжений в массиве, Па; d – расстояние между источником акустических колебаний (шума), генерируемым воздействием на забой механизмом (работающим комбайном, отбойным молотком, буровой коронкой) и приемником, установленным в борт выработки на некотором удалении от забоя, м; параметр C равен [4, 17]:

$$C = \frac{\alpha_0 \beta (f_h - f_l)}{f_0}, \text{ м}^{-1}; \quad (26)$$

где α_0 – затухание на некоторой частоте f_0 при отсутствии напряжений (в разгруженном состоянии), м^{-1} ; β – безразмерный коэффициент пропорциональности, определяемый акустическими свойствами массива; f_h и f_l – характерные частоты из диапазонов соответственно верхних и нижних рабочих частот источника акустического сигнала, Гц.

Из (26) видно, что параметр C является эффективным коэффициентом затухания акустического сигнала в рассматриваемом диапазоне длин волн ($f_l \approx f_h$), учитывающим с помощью параметра β особенности распространения звука при существующем строении горного массива (слоистая структура, состоящая из угольного пласта и вмещающих пород, обладающих волноводными свойствами, мощности которых определяют частоты с минимальным затуханием звука [18]).

При достижении текущим средним напряжением предельного среднего значения $\sigma_{c,av} = \sigma_{l,av,max}$ показатель выбросоопасности K_c принимает предельное значение K_l . Поскольку $\sigma_{l,av,max}$ зависит от прочности угля и давления газа, которые могут непрерывно изменяться в пространстве и во времени, для каждого текущего положения забоя K_l имеет свое текущее предельное значение $K_{l,c}$:

$$K_{l,c} = e^{-Cd} \quad (27)$$

Из этой зависимости виден существенный недостаток спектрально-акустического метода, а именно – зависимость показателя выбросоопасности и его предельного текущего значения от расстояния d (Рис. 3). Следовательно, в зависимости от коэффициента затухания звука для конкретного участка угольного пласта необходимо, во-первых, выбирать максимальное расстояние, на которое может отставать приемник акустических колебаний от их источника. Оно

должно быть таким, чтобы амплитуда сигнала от работающего в забое оборудования была в 2-3 раза выше амплитуды акустических шумов, генерируемых другими источниками. Во-вторых, необходимо корректировать значение $K_{l,c}$ с расстоянием d .

Таким образом, показатель $K_{l,c}$ для каждого шахтопласта и каждого значения d имеет свою область значений, поэтому не может устанавливаться в нормативных документах постоянной величиной. Однако в настоящее время методики определения значений этого параметра нет [19], и данная работа предназначена для установления влияния параметров горного массива на K_l в процессе предвыбросного отжима «горловины» будущей полости выброса, что может оказаться полезным при разработке такой методики.

Известно, что среднее предельное напряжение может быть приближенно определено как [4]:

$$\sigma_{l,av} \approx \frac{1}{3}(\sigma_{1l} + 2\sigma_{3l}) = \frac{2 + \lambda}{3} \sigma_{1l}. \quad (28)$$

Тогда (24) примет вид:

$$\sigma_{l,av}(x_1) \leq \frac{2 + \lambda}{3\lambda\psi\cos\delta} \left[9,5 \left(\frac{q}{110 - q} \right) 10^6 \frac{x_1}{r_e} - P(x_1)(1 - \psi) \mp \gamma_c x_1 \sin\delta \right]. \quad (29)$$

Из (29) видно, что $\sigma_{l,av}$ прямо пропорционально длине выдвигаемого блока и обратно

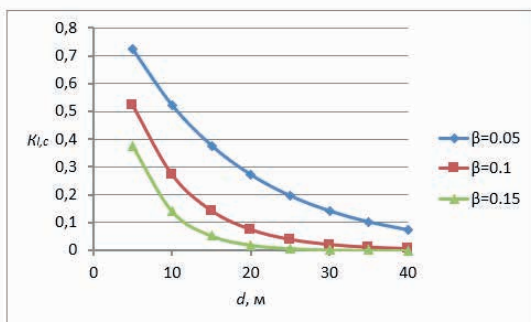


Рисунок 3. Зависимость $K_{l,c}$ от расстояния между источником и приемником излучения d для угольных пластов с разными значениями коэффициента β . Расчет параметра C осуществлялся в соответствии с формулой (26) при следующих параметрах: $\alpha_0 = 1,3 \text{ м}^{-1}$; $f_H = 300 \text{ Гц}$; $f_0 = 500 \text{ Гц}$; $f_g = 800 \text{ Гц}$.

Figure 3. The dependence of $K_{l,c}$ on the distance between the radiation source and receiver d for coal seams with different values of the coefficient β . The calculation of parameter C was carried out in accordance with formula (26) with the following parameters: $\alpha_0 = 1,3 \text{ m}^{-1}$; $f_H = 300 \text{ Hz}$; $f_0 = 500 \text{ Hz}$; $f_g = 800 \text{ Hz}$.

пропорционально его эффективному радиусу. Следовательно, пока в призабойном пространстве не создана блочная структура, $\sigma_{l,av}$ при некотором произвольном значении P имеет минимальное значение при максимальном r_e , и, по-видимому, поэтому естественному отжиму

подвержено призабойное пространство на все сечение выработки. Когда же блочная структура создана, то за счет небольшой величины x_l выдавливание блока может произойти и при r_e , меньшем радиуса сечения выработки. Причем с ростом давления газа среднее предельное напряжение, выдавливающее призабойную зону, линейно снижается.

Поскольку $\sigma_{l,av}(x_l)$, определенное в соответствии с (29), зависит от величин, которые могут изменяться в процессе ведения выработки, назовем эту величину текущим предельным значением средних напряжений $\sigma_{l,av}(x_l) = \sigma_{l,av,c}$. Будем считать, что максимальное значение среднего предельного напряжения $\sigma_{l,av,max}$ достигается при максимальной прочности угля, т.е. при $q_{max} = 100$ у.е. и в отсутствии газа в пласте ($P=0$). В соответствии с (29) для рассматриваемой модели выдавливания участка угля и при сделанных допущениях:

$$\sigma_{l,av,max} \geq \frac{L}{\psi\cos\delta} \left[95 \cdot 10^6 \frac{x_1}{r_e} \mp \gamma_c x_1 \sin\delta \right], \text{ Па}, \quad (30)$$

где $L = \frac{2 + \lambda}{3\lambda}$.

Для горизонтальной выработки, когда $\delta=0$:

$$\sigma_{l,av,max,hor} \geq L \cdot 95 \frac{x_1}{\psi r_e}, \text{ МПа}. \quad (31)$$

Покажем, как меняются показатели выбросоопасности K_c и $K_{l,c}$ при подходе к выбросоопасной зоне или выходе из нее, т.е. при изменении прочности угля и пластового давления газа. Для этого запишем максимальное значение среднего предельного напряжения $\sigma_{l,av,max}$ в следующем виде:

$$\sigma_{l,av,max} = \sigma_{l,av,c} + \Delta\sigma_{l,av,c}, \quad (32)$$

где $\Delta\sigma_{l,av,c}$ – изменение величины σ_l от максимального возможного до текущего значения при изменении прочности угля от значения $q_{max} = 100$ у.е. до текущего значения q_c и увеличении P от нуля до некоторого текущего значения. Тогда выражение (25) для определения текущего значения показателя выбросоопасности: примет вид:

$$K_c = e^{-\frac{C\sigma_{l,av,c}}{\sigma_{av,c}} \left(1 + \frac{\Delta\sigma_{l,av,c}}{\sigma_{l,av,c}} \right) d}. \quad (33)$$

Выражение в скобках в (33) с учетом (29) и (30) будет равно:

$$\left(1 + \frac{\Delta\sigma_{l,av,c}}{\sigma_{l,av,c}} \right) \approx \frac{10^8 \frac{x_1}{r_e} \mp \gamma_c x_1 \sin\delta}{10^7 \left(\frac{q}{110 - q} \right) \frac{x_1}{r_e} - P(1 - \psi) \mp \gamma_c x_1 \sin\delta}. \quad (34)$$

Тогда в соответствии с (27) текущее предельное значение показателя выбросоопасно-

сти, справедливое при $\sigma_{l,av,c} = \sigma_{av,c}$, определится выражением:

$$K_{l,c} = e^{-C \left[\frac{10^8 \frac{x_1}{r_e} \mp \gamma_c x_1 \sin \delta}{10^7 \left(\frac{q}{110-q} \right) \frac{x_1}{r_e} - P(1-\psi) \mp \gamma_c x_1 \sin \delta} \right] d} \quad (35)$$

Каждый член дроби в квадратных скобках выражения (35) имеет размерность Па. Область их значений представлена в таблице. Здесь члены, содержащие множителем отношение x_1/r_e обусловлены напряженным состоянием призабойного пространства, P – характеризует влияние газового фактора, а член $\gamma_c x_1 \sin \delta$ – характеризует влияние веса выдавливаемого блока угля на $K_{l,c}$.

Как видно из таблицы, члены, обусловленные напряженным состоянием и газовым фактором, имеют соизмеримые области значений, тогда как область значений члена, обусловленного весом выдавливаемого блока, значительно меньше области значений других членов и его величина равна нулю для горизонтальных выработок.

Из (35) видно, что при сделанных допущениях предельное текущее значение показателя выбросоопасности не зависит ни от параметра L , ни практически от угла наклона выработки (в силу малости члена, обусловленного весом выдавливаемого блока) и определяется акустическими параметрами призабойной части массива, прочностью угля, пластовым давлением газа, размерами выдавливаемого участка угля и долей площади выдавливаемого участка, на которую давит газ, а также удалением приемника акустических колебаний от режущего органа работающего оборудования.

На рис. 4 представлена зависимость $\hat{E}_{l,c,0}$ (в отсутствие газа в пласте: $P=0$) от прочности угля q для трех значений параметра β и при условии, что $\delta=0$ (горизонтальная выработка).

Из рисунка видно, что предельное значение показателя выбросоопасности в отсутствие

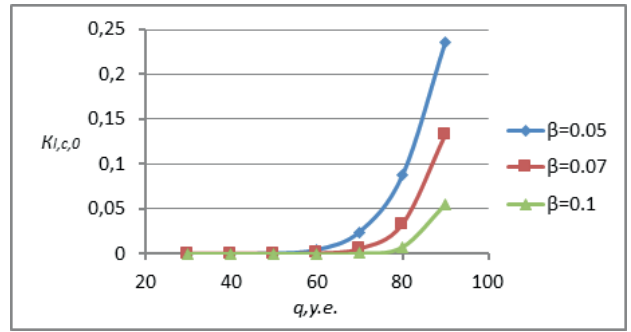


Рис. 4. Зависимость $K_{l,c,0}$ от q для $\beta = 0,05; 0,07$ и $0,1$ при условии: $P=0; \alpha_0 = 1,3 \text{ м}^{-1}; f=300 \text{ Гц}; f_0=500 \text{ Гц}; f_h=800 \text{ Гц}; \delta=0^\circ; d=10 \text{ м}$.

Figure. 4. The dependence of $K_{l,c,0}$ from q to $\beta = 0.05; 0.07$ and 0.1 Subject: $P = 0; \alpha_0 = 1.3 \text{ m}^{-1}; f_l = 300 \text{ Hz}; f_0 = 500 \text{ Hz}; f_h = 800 \text{ Hz}; \delta = 0000, d = 10 \text{ m}$.

газа при указанных для расчета параметрах с увеличением прочности угля от 30 у.е. до 90 у.е. увеличивается на несколько порядков. Этим подтверждается сильная зависимость показателя выбросоопасности спектрально-акустического метода от прочности угля.

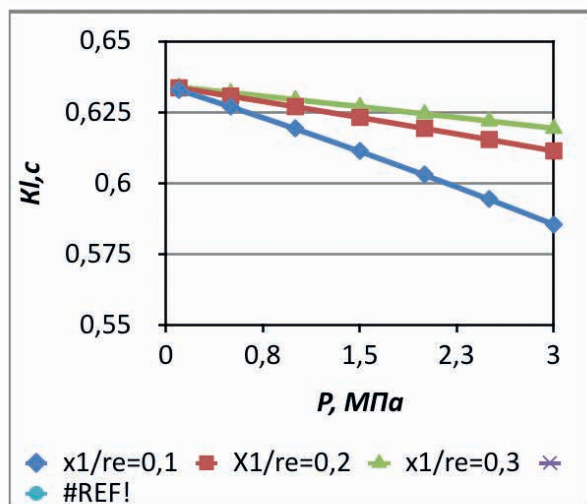
На рис. 5 для горизонтальной выработки ($\delta=0$) приведены зависимости $K_{l,c}$ от пластового давления газа P и отношения эффективного радиуса выдавливаемого участка к его мощности для двух значений прочности угля, рассчитанные в соответствии с (35).

Представленные данные свидетельствуют о том, что с увеличением давления газа и уменьшением прочности угля предельное значение показателя выбросоопасности снижается. Увеличение отношения r_e/x_1 также ведет к уменьшению показателя выбросоопасности. Из сказанного следует, что чем больше мощность пачки непрочного угля и меньше его прочность, тем легче выдавить блок угля в области устья полости начинающегося выброса.

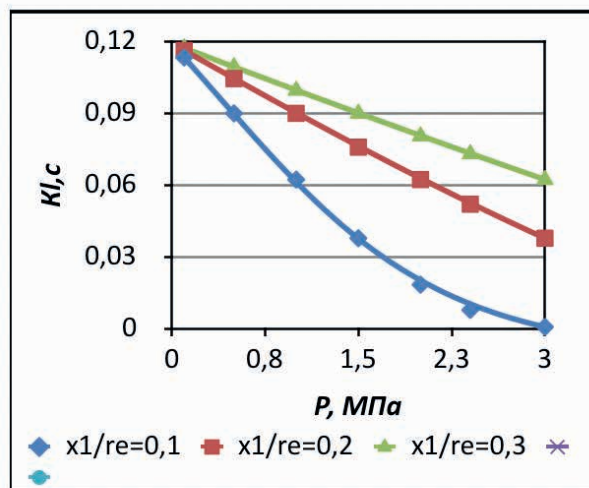
Поскольку непосредственное измерение пластового давления газа непрерывно в процессе ведения горных работ невозможно, воспользуемся результатами, изложенными в работе [4], где показано, что этот параметр можно оценить по концентрации газа в атмосфере выработки вблизи забоя в соответствии с выражением:

Таблица 1. Область значений членов дроби, входящих в (35), при изменении параметров, их определяющих
Table 1. The range of values of the fraction members in (35), when changing the defining parameters

	Компонент дроби			
	$10^8 \frac{x_1}{r_e}$, Па	$10^7 \left(\frac{q}{110-q} \right) \frac{x_1}{r_e}$, Па	$P(1-\psi)$, Па	$\gamma_c x_1 \sin d$, Па
Область изменения влияющего параметра	$x_1/r_e = (0,05-0,15) \text{ м} / (0,15-0,5) \text{ м} = 0,1-1,0$	$q = 30-100 \text{ у.е.}; x_1/r_e = 0,1-1,0$	$P=(0,1-3,0) \text{ МПа}$ при $\psi=(0,1-0,9)$	$\delta=0-90^\circ, \gamma_c = 1,4 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3; x_1=(0,05-0,15) \text{ м}$
Область изменения компонента дроби	$(10-10^2) \text{ МПа}$	$(0,375-10^2) \text{ МПа}$	$(0,01-2,7) \text{ МПа}$	$(0-2,1 \cdot 10^{-3}) \text{ МПа}$



а)



б)

Рис. 5. Зависимость $K_{i,c}$ от P и отношения r_e/x_1 для прочности угля $q = 100$ у.е. (а) и $q = 75$ у.е. (б) при условии: $\psi = 0,5$; $\alpha_0 = 1,3$ м⁻¹; $f_1 = 300$ Гц; $f_0 = 500$ Гц; $f_n = 800$ Гц; $\beta = 0,07$; $\delta = 0^\circ$; $d = 5$ м

Figure. 5. The dependence of $K_{i,c}$ of P and attitude r_e/x_1 for coal strength $q = 100$ c.u. (a) and $q = 75$ c.u. (b) subject: $\psi = 0,5$; $\alpha_0 = 1,3$ m⁻¹; $f_1 = 300$ Hz; $f_0 = 500$ Hz; $f_n = 800$ Hz; $\beta = 0,07$; $\delta = 0^\circ$; $d = 5$ m

$$P = D \sqrt{\frac{Q(\Omega - \Omega_f)}{\xi_i}}, \quad (36)$$

где $D = m \sqrt{k_0 \eta P_{at}} \cdot x_1 \exp(-\varphi x_1) / \sqrt{100 S_f}$, Па·с^{1/2} м^{-3/2}; Q – расход воздуха ВМП, проветривающего выработку, м³/с; Ω – текущее значение концентрации метана, измеренное датчиком метана на некотором удалении от забоя, %; Ω_f – фоновая концентрация метана, замеренная до начала работы комбайна, и характеризующая газовыделение из бортов выработки и отбитого ранее, но не отгруженного угля, %; ξ_i – коэффициент, учитывающий степень воздействия (долю свежееобнаженной площади забоя) i -го вида оборудования (комбайн, отбойный молоток, диаметр коронки бурового станка и пр.) на забой, $0 < \xi_i < 1$; m – константа, обусловленная тем, что в сторону выработки действует не все давление P , а только часть его, находящегося в порах и трещинах (для сплошного тела с порами-каналами численно близка к значению пористости угля [20]); k_0 – коэффициент, характеризующий газопроницаемость пласта, м³; S_f – площадь поверхности забоя выработки, м²; η – динамическая вязкость метана, Па·с; P_{at} – давление газа на плоскости забоя, равное атмосферному, Па; $\varphi = 1/x_{st}$ – константа, определяемая расстоянием (x_{st}) от забоя до участка массива, где давление газа стабилизируется, м⁻¹.

Если датчик метана устанавливать достаточно близко от забоя, то газовыделением с боков выработки можно пренебречь и принять

$\Omega_f = 0$. При этом условии подстановка (36) в (35) даст следующее выражение для определения текущего предельного значения показателя выбросоопасности:

$$K_{i,c} = e^{-c \left[\frac{10^8 \frac{x_1}{r_e} \mp \gamma_e x_1 \sin \delta}{10^7 \left(\frac{q}{110-q} \right) \frac{x_1}{r_e} - D(1-\psi) \sqrt{\frac{Q\Omega}{\xi_i} \mp \gamma_e x_1 \sin \delta}} \right] d} \quad (37)$$

Оценку параметра D сделаем аналогично [4], исходя из предположения о примерном равенстве влияния на показатель выбросоопасности сил горного давления и пластового давления газа (это допустимо по условию (1)), и о достижении перед выбросом концентрации метана максимально допустимой по Правилам безопасности величины $\Omega = 1\%$. Для горизонтальной выработки это возможно, если для компонентов показателя экспоненты выражения (37) выполняется следующее условие:

$$0.1 \left(\frac{q}{110-q} \right) \approx 10^{-8} D(1-\psi) \sqrt{\frac{Q\Omega}{\xi_i}} \frac{r_e}{x_1}. \quad (38)$$

Из (38) следует, что при изменении структуры, а, следовательно, и прочности угля q при подходе выработки к выбросоопасной зоне должен изменяться и параметр D . Причем для того, чтобы показатель $K_{i,c}$ оставался убывающей функцией расстояния d , левая часть (38) всегда должна быть больше правой. Поэтому параметр D рассчитаем для не прочной пачки угля ($q = 60$ у.е.) при параметре $\psi = 0.5$ и мощности выдавливаемого слоя $x_1 = 0.1$ м.

При этих условиях параметр D будет равен

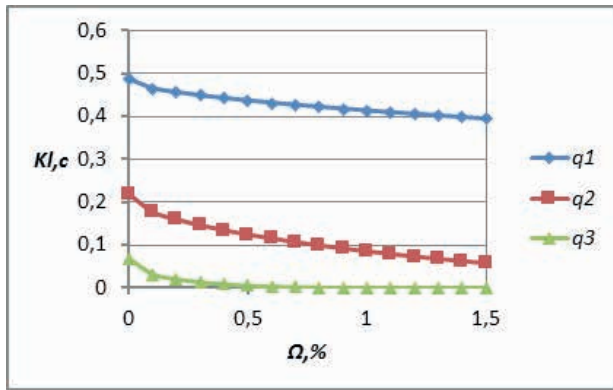


Рисунок 6. Зависимость $K_{l,c}$ от Ω для прочности угля $q_1 = 90$, $q_2 = 75$ и $q_3 = 60$ у.е., $r_0/x_1 = 5$ и при условии: $\alpha_0 = 1.3 \text{ м}^{-1}$; $f_1 = 300 \text{ Гц}$; $f_0 = 500 \text{ Гц}$; $f_n = 800 \text{ Гц}$; $\beta = 0.05$; $\delta = 0^\circ$; $d = 5 \text{ м}$.

Figure 6. The dependence of $K_{l,c}$ of Ω for the strength of coal $q_1 = 90$, $q_2 = 75$, and $q_3 = 60 \text{ CU re/x } 1 = 5$, and subject: $\alpha_0 = 1.3 \text{ м}^{-1}$; $f_1 = 300 \text{ Гц}$; $f_0 = 500 \text{ Гц}$; $f_n = 800 \text{ Гц}$; $\beta = 0.05$; $\delta = 0^\circ$; $d = 5 \text{ м}$.

$0.33 \text{ МПа} \cdot \text{с}^{1/2} \text{ м}^{-3/2}$. Это значение не являются характерным для всех выбросоопасных пластов, а используются для иллюстрации влияния газового фактора на предельное значение показателя выбросоопасности. Для этого значения параметра D при условии $r_0/x_1 = 5$ на рис. 6 приведены графики зависимости $K_{l,c}$ от текущего значения концентрации метана Ω для нескольких значений прочности угля.

Как следует из представленных данных, контролируя газовый фактор аппаратурой АГК, а прочность угля – прочностнономером по наиболее перемятой пачке угля, можно непрерывно корректировать предельное значение показателя выбросоопасности $K_{l,c}$ в соответствии с выражением (37). Текущее значение показателя выбросоопасности непрерывно можно измерять спектрально-акустическим методом в соответствии с выражением (25). Сравнивая предельное и текущее значения показателя выбросоопасности можно судить о степени выбросоопасности горного массива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мирер С.В., О контроле выбросоопасности забоев по спектральным характеристикам акустических сигналов / С.В. Мирер, О.И. Хмара, Е.В. Масленников // Вопросы предотвращения внезапных выбросов. Науч. сообщ. ИГД им. А.А. Скочинского. – 1987. – С. 52-61.
2. Мирер, С.В. Спектрально-акустический прогноз выбросоопасности угольных пластов / С.В. Мирер, О.И. Хмара, А.В. Шадрин. Кемерово: Кузбассвуиздат, 1999. - 92 с.
3. Брюханов А.М. Акустический контроль выбросоопасности / А.М. Брюханов, А.В. Агафонов, А.А. Рубинский, Г.И. Колчин // В кн. Методы и средства прогноза и предотвращения газодинамических явлений в угольных шахтах. Исследование и предотвращение аварий на угольных шахтах. Том 3. – Д: Вебер, 2007. – 350 с.
4. Шадрин, А.В. Геофизический критерий предвыбросного развития трещин в угольном пласте // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 2016, №4. С. 48-62.

Описанный метод контроля выбросоопасности с учетом основных факторов выбросоопасности: горного давления, газового фактора и прочности угля позволит значительно достовернее определять степень выбросоопасности призабойного пространства в процессе ведения горных работ. Однако для его использования необходимо предварительно определить целый ряд параметров, характеризующих акустические (α , β) и фильтрационно-коллекторские (D) свойства контролируемого участка шахтопласта. Нам представляется, что это можно сделать путем сопоставления результатов контроля описанным в данной работе комплексным геофизическим методом и контрольным, по начальной скорости газовыделения и выходу буровой мелочи при бурении контрольного шпура.

Выводы

Мы предполагаем, что описанный способ определения критерия одного из этапов подготовки выбросоопасной ситуации применим для контроля достижения призабойным пространством предельно-напряженного состояния, вызываемого горным и газовым давлением, при различных горнотехнических условиях ведения горных работ, в частности, - в лавах с труднообрушаемой кровлей, при подходе к зоне нарушенного угля или к участку, выше или ниже которого на соседних пластах оставлен целик.

Источники финансирования

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №17-17-01143).

The study was carried out with a grant from the Russian Science Foundation (project No. 17-17-01-013).

5. Христианович С.А. О волне выброса // Изв. АН ССР, ОТН, №12, 1953. – С. 1679-1688.
6. Христианович С.А. О волне дробления // Изв. АН ССР, ОТН, №12, 1953. – С. 1689-1699.
7. Опарин В.Н. О дискретных свойствах объектов геосреды и их каноническом представлении / В.Н. Опарин, А.С. Танайно, В.Ю. Юшкин //ФТПРПИ, 2007, №3. – С. 6-24.
8. Черданцев Н.В. Разработка модели геомеханического состояния углепородного массива, вмещающего пластовую выработку / Н.В. Черданцев, С.В. Черданцев // Безопасность труда в промышленности, 2014, №11.- С. 41-45.
9. Шадрин, А.В. Факторы, определяющие развитие трещин в угольных пластах / А.В. Шадрин, М.В. Дегтярева // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2013, №1.1. – С. 127-132.
10. Пузырев, В.Н. Научные основы и метод текущего прогноза газодинамических явлений в подготовительных выработках угольных шахт: дисс..... докт. техн. наук / Пузырев Владимир Николаевич. - Кемерово, 1981. – 411 с.
11. Мурашев, В.И. Разработка научных основ безопасного ведения горных работ в угольных шахтах на основе исследования геомеханических процессов: автореферат дисс. докт. техн. наук / Мурашев Вячеслав Иванович. - М., 1980. – 35 с.
12. Штумф, Г.Г. Горное давление в подготовительных выработках угольных шахт/ Г.Г. Штумф, П.В. Егоров, А.И. Петров и др. – М.: Недра, 1996. – 352 с.
13. Клишин, В.И. Проблемы безопасности и новые технологии подземной разработки угольных месторождений / В.И. Клишин, Л.В. Зворыгин, А.В. Лебедев, А.В. Савченко. Рос. акад. наук. Сиб. отд-ние, Ин-т горного дела. – Новосибирск: Издательский дом «Новосибирский писатель», 2011. – 524 с.
14. Зыков, В.С. Предупреждение газодинамических явлений при проведении выработок по угольным пластам / В.С. Зыков, А.В. Лебедев, А.В. Сурков. – Кемерово, 1997. – 262 с.
15. Ржевский, В.В. Основы физики горных пород / В.В. Ржевский, Г.Я. Новик. – М.: Недра, 1978. – 390 с.
16. Градштейн, И.С. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений / И.С. Градштейн, И.М. Рыжик. – М.: Наука, 1971, с. 36.
17. Шадрин, А.В. Акустический двухчастотный метод контроля напряженного состояния горного массива / А.В. Шадрин, М.В. Дегтярева // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2013, №1.2. – С. 55-59.
18. Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах. М.: Изд-во «Наука», 1973. – 343 с.
19. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по прогнозу динамических явлений и мониторингу массива горных пород при отработке угольных месторождений». Утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 15.08.2016 г. №339. – 129 с.
20. Ходот, В.В. Внезапные выбросы угля и газа / В.В. Ходот. – М.: Гос. науч.-техн. изд-во лит-ры по горному делу, 1961. – 364 с.

REFERENCES

1. Mirer, S.V., Khmara, O.I., & Maslennikov, Ye.V. (1987). O kontrole vybrosoopasnosti zaboiev po spektralnym kharakteristikam akusticheskikh signalov [On the face outburst hazard control by spectral characteristics of acoustic signals]. Voprosy predotvrashchenia vnezapnykh vybrosov. Nauch. soobshch. IGD im. A.A. Skochinski - Sudden outbursts prevention issues. Scientific Notes of A.A. Skochinski IGD [in Russian].
2. Mirer, S.V., Khmara, O.I., & Shadrin, A.V. (1999). Spektralno-akusticheski prognoz vybrosoopasnosti ugolnykh plastov [Coal seam outburst hazard spectral acoustic forecast]. Kemerovo:Kuzbassvuzizdat [in Russian].
3. Briukhanov, A.M., Agafonov, A.V., Rubinski, A.A., & Kolchin, G.I. (2007). Akusticheski control vybrosoopasnosti. V kn. Metody i sredstava prognoza i predotvrashchenia gazodinamicheskikh yavlenii v ugolnykh shakhtakh. Rassledovanie i predotvrashchenie avari na ugolnykh shakhtakh [Acoustic outburst control. In the book: Methods and means of forecasting and preventing gas dynamics in coal mines. Investigating and preventing accidents at coal mines. Volume 3]. D: Veber [in Russian].
4. Shadrin, A.V. (2016). Geofizicheski kriteri predvybrosnogo razvitiya treshchin v ugolnom plaste [Geophysical criterion of pre-outburst development of cracks in the coal seam]. Fiziko-tekhnicheskie problem razrabotki poleznykh iskopaemykh - Physics and technical problems of mineral development, 4, 48-62 [in Russian].
5. Khristianovich, S.A. (1953). O volne vybrosa [On the outburst wave]. Izv.AN SSR, OTN - News AN SSR, OTN, 12, 1679-1688 [in Russian].
6. Khristianovich, S.A. (1953). O volne droblenia [On crushing wave].]. Izv.AN SSR, OTN - News AN SSR, OTN, 12, 1689-1699 [in Russian].
7. Oparin, V.N., Tanaino, A.S., & Yushkin, V.Yu. (2007). O diskretnykh svoistvakh ob'ektov geosredy i ikh kanonicheskom

predstavlenii [On the discrete properties of geo-environment objects and their canonical representation]. FTPRPI, 3, 6-24 [in Russian].

8. Cherdantsev, N.V., & Cherdantsev, S.V. (2014). Razrabotka modeli geomekhanicheskogo sostoiania ugleporodnogo massiva, vmeshchaiushchego plastovuiu vyrabotku [Coal and rock massif bedding the seam opening geomechanical state model development]. Bezopasnost truda v promyshlennosti – Industrial Labor Safety, 11, 41-45 [in Russian].

9. Shadrin, A.V., & Degtiareva, M.V. (2013). Faktory, opredeliaushchie razvitie treshchin v ugolnykh plastakh [Factors determining coal seam crack development]. Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugolnoi promyshlennosti – Herald of Safety in Mining Industry Scientific Center, 1.1, 127-132 [in Russian].

10. Puzyrev, V.N. (1981). Nauchnye osnovy i metod tekushchego prognoza gazodinamicheskikh yavlenii v podgotovitelnykh vyrabotkakh ugolnykh shakht [Scientific basis and current forecast method of gas dynamics in coal mine preparatory openings]. Doctor's thesis. Kemerovo [in Russian].

11. Murashev, V.I. (1980). Razrabotka nauchnykh osnov bezopasnogo vedeniia gornyx rabot v ugolnykh shakhtakh na osnove issledovaniia geomekhanicheskikh protsessov [Safe mining in coal mines scientific basis development based on geomechanical process studies]. Extended abstract of Doctor's thesis. Moscow [in Russian].

12. Shtumf, G.G., Yegorov, P.V., Petrov, A.I. et al. (1996). Gornoe davlenie v podgotovitelnykh vyrabotkakh ugolnykh shakht [Rock pressure in coal mine preparatory openings]. Moscow: Nedra [in Russian].

13. Klishin, V.I., Zvorygin, L.V., Lebedev, A.V., & Savchenko, A.V. (2011). Problemy bezopasnosti i novye tekhnologii podzemnoi razrabotki ugolnykh mestorozhdenii [Safety problems and new underground coal mining technologies]. Novosibirsk: Novosibirski pisatel [in Russian].

14. Zikov, V.S., Lebedev, A.V., & Surkov, A.V. (1997). Preduprezhdenie gazodinamicheskikh yavlenii pri provedenii vyrabotok po ugolnym plastam [Gas dynamics phenomena prevention when heading openings in coal seams]. Kemerovo: [in Russian].

15. Rzhvesky, V.V., & Novik, G.Ya. (1978). Osnovy fiziki gornyx porod [The basics of mine rock physics]. Moscow: Nedra [in Russian].

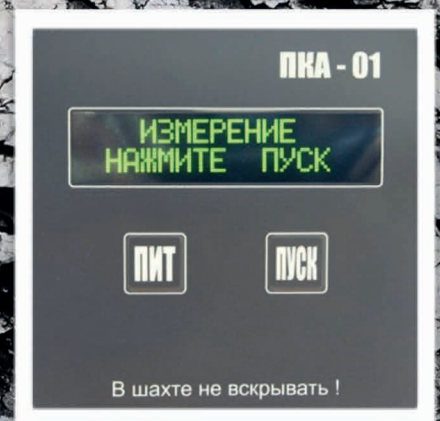
16. Gradshtein, I.S., & Ryzhik, I.M. (1971). Tablitsy integralov, summ,riadov i proizvedenii [Tables of integrals, sums, series and products]. Moscow: Nauka [in Russian].

17. Shadrin, A.V., & Diagtereva, M.V. (2013). Akusticheskii dvukhchastotnyi metod kontrolya napriazhennogo sostoiania gornogo massiva [Acoustic two-frequency method of monitoring the tense state of the rock massif]. Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugolnoi promyshlennosti – Herald of Safety in Mining Industry Scientific Center, 1.2, 55-59 [in Russian].

18. Brekhovskiy, L.M. (1973). Volny v sloistyykh sredakh [Waves in layered mediums]. Moscow: Nauka [in Russian].

19. Instruksiya po prognozu dinamicheskikh yavlenii i monitoringu massiva gornyx porod pri otrabotke ugolnykh mestorozhdenii [Instructions for the forecast of dynamic phenomena and rock massif monitoring when developing coal deposits]. Federal industrial safety regulations. Approved by order of the Federal Service for Environmental, Technological and Atomic Supervision of 15.08.2016 No.339 [in Russian].

20. Khodot, V.V. (1961). Vnezapnyie vybrosy uglia gaza [Sudden coal and gas outbursts]. Moscow: Gosudarstvennoie nauchno-tekhnicheskoe izdatelstvo literatury po gornomu delu [in Russian].



Горный ЦОТ
indsafe.ru

PKA-01

ПРИБОР КОНТРОЛЯ ЗАПЫЛЕННОСТИ ВОЗДУХА



СИСТЕМА
ПГО

СОЗДАНИЕ
ВОДО-
ВОЗДУШНОГО
ТУМАНА

ЭФФЕКТИВНАЯ
БОРЬБА С
ПЫЛЬЮ

СНИЖЕНИЕ РАСХОДА
ВОДЫ ДО 12 РАЗ

СНИЖЕНИЕ
ЗАПЫЛЕННОСТИ НА 80 %
АВТОМАТИЗИРОВАНА



650002, Кемеровская область, г. Кемерово, Сосновый бульвар,
1, Кузбасский технопарк. indsafe.ru +7-903-943-0759
dtrubitsyna@gmail.com



ВостЭКО и
Горный-ЦОТ



НАО НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
ПРОМЫШЛЕННОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ

II. ПОЖАРНАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

II. FIRE AND INDUSTRIAL SAFETY



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

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

УДК 614.8:622:658.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭНДОГЕННОГО ПОЖАРА ОСЛОЖНЕННОГО ВЗРЫВОМ МЕТАНА В НОРМИРОВАННЫХ ПАРАМЕТРАХ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ

MODELING OF ENDOGENOUS FIRE PROCESS COMPLICATED BY METHANE EXPLOSION IN NORMALIZED PARAMETERS OF MINING

В статье раскрывается одна из актуальных тем – моделирование процессов пожара и взрывов метана в горных выработках. Показана укрупненная модель формирования генерируемой энергии по статьям теплового баланса процесса самовозгорания угля. Приведены варианты расчетной температуры по модели теплового баланса при самовозгорании угля. Показана графическая модель аварии «пожар – взрыв» в горной выработке в координатах: температура – время. Дано решение оптимизационной задачи с помощью надстройки «Поиск решения» в среде Excel, по модели теплового баланса при различных вариантах генерации тепла. Предложен ряд мер по предупреждению и ликвидации эндогенных пожаров и взрывов метана на латентной стадии.

The article reveals one of the topical issues – modeling of fire and methane explosions in mine workings. Shown ukрупnenie model of formation of energy generated by articles of the heat balance of the process of spontaneous combustion of coal. The variants of the calculated temperature on the model of the thermal balance in the spontaneous combustion of coal. A graphical model of the fire – explosion accident in a mining operation in the coordinates temperature-time is shown. The solution of the optimization problem with the help of the add-In "search solutions" in Excel, on the model of heat balance in different variants of heat generation. Proposed a number of measures for the prevention and elimination of endogenous fires and explosions of methane in a latent stage.

Ключевые слова: ЭНДОГЕННЫЙ ПОЖАР, ВЗРЫВ, МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, МОДЕЛЬ ТЕПЛООВОГО БАЛАНСА, ОПТИМИЗАЦИЯ СТАТЕЙ ТЕПЛООВОГО БАЛАНСА, ЦЕПНЫЕ РЕАКЦИИ, АКСИОМЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПЕРЕХОДОВ.

Key words: ENDOGENOUS FIRE, EXPLOSION, MATHEMATICAL MODEL, MODEL OF THERMAL BALANCE, OPTIMIZATION OF ARTICLES OF THERMAL BALANCE, CHAIN REACTIONS, AXIOMS OF ENERGY TRANSITIONS..MODELING OF ENDOGENOUS FIRE PROCESS COMPLICATED BY METHANE EXPLOSION IN NORMALIZED PARAMETERS OF MINING

Одним из наиболее эффективных методов изучения горнотехнических процессов и систем является метод моделирования. За модель принимается некоторое упрощение моделируемого процесса. Моделирование представляет собой процесс замещения объекта исследования некоторой его моделью и проведение исследования на модели, с целью получения необходимой информа-

ции об объекте. Математические модели описывают закономерности, присущие изучаемому объекту, с помощью математических выражений, обычно систем уравнений и неравенств. В статье раскрывается моделирование процесса аварии: «самовозгорание угля – пожар – взрыв» по энергетическому и температурным параметрам в нормируемом объеме горной выработки.

Вопросам теории и моделирования про-

изводственных систем и процессов в угольной промышленности посвящены труды ряда ученых: С.С.Резниченко, М.П.Подольского, А.А. Ашихмина [1], [2], Протосеня А.Г., Кулиша С.А., Азбеля Е.И. [3], Потапова В.Д., Яризова А.Д. [4]. Акулич И.Л. [5], Н.П. Бусленко, В.П.Тарисика [7], и др. Однако, конкретно вопрос моделирования процесса эндогенного пожара осложненного взрывом метана в угольной шахте – не рассматривался.

Следует отметить, что разработанные теоретиками горения и взрыва – формулы, графики, таблицы, в принципе это своего рода **аналитические, графические** или **математические** модели, отражающие процессы горения и взрыва с той или иной мерой приближения к объекту исследования. Поэтому, все закономерности разработанные Семеновым Н.Н., Зельдовичем Я.Б., Скочинским А.А., Льюисом Б., Эльбе Г., Линденау Н.И. и др. правомерно использовать для моделирования процессов пожаров и взрывов в современных условиях, а также прогнозирования вероятности их возникновения.

Ряд современных ученых А.Е. Умнов, А.С.Голик, Д.Ю. Палеев, Н.Р.Шевцов и др., утверждают, что: «Образовавшееся в атмосфере горной выработки **горение горючей среды** является прежде всего химическим процессом, поскольку в его основе лежат реакции химического превращения одних веществ в другие» [8,С.53]. Далее ими устанавливается, что два исходных компонента – горючее и окислитель, находясь в относительно устойчивом молекулярном состоянии, прежде чем ассоциироваться в новые более устойчивые молекулы продуктов горения, претерпевают целую цепь сложных промежуточных превращений, результатом которых является образование неустойчивых продуктов: атомов, радикалов, возбужденных молекул с относительно большой степенью ионизации. Эти химически очень активные продукты, образующиеся на отдельных промежуточных стадиях такой цепной реакции – звеньях цепи, – получили название **активных центров**. **Теория цепных реакций** применительно к процессам горения и взрыва в газовых системах получила развитие, главным образом в работах Н.Н.Семенова и его школы и поддерживается современными учеными [8], [9], [10], [11], [12] и др. Графическая модель (схема) простой (а) и разветвленной (б) цепных реакций представлена на рисунке 1.

Скорость протекания химической реакции определяется соотношением между скоростью тепловыделения в зоне горения и скоростью отвода тепла из этой зоны в окружающее про-

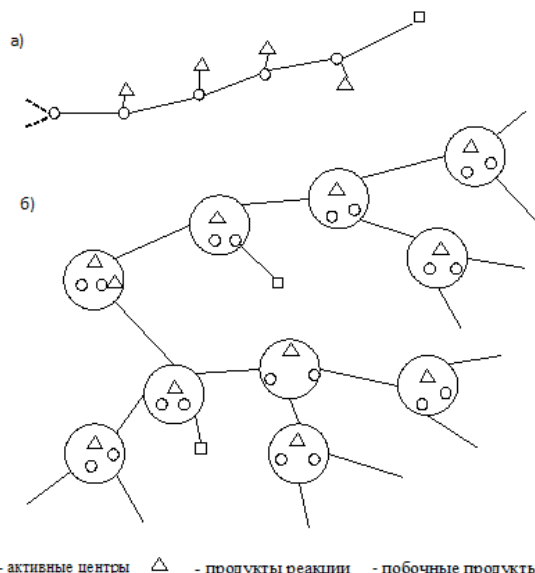


Рисунок 1. Графическая модель (схема) простой (а) и разветвленной (б) цепных реакций
 Figure 1. Graphical model (diagram) of simple (a) and branched (b) chain reactions

странство. При выполнении критических условий самовоспламенения (зажигания) скорость реакции начинает прогрессивно возрастать по экспоненциальной зависимости и может, достигая больших значений.

Для большей достоверности процесса генерируемой теплоты напрямую связанного с самовозгоранием угля можно показать неравномерность протекания процесса по времени по экспоненциальному закону, тогда графики примут вид, на основе формулы В.С. Веселовского [13,С.126] (рис.2).

Экспериментально рекомендованный Н.И. Линденау коэффициент q - количество тепла выделяемого на 1 см³ прореагировавшего кислорода равный для каменных углей $q = 3$ ккал на 1 см³ O₂, вполне соответствует полученному в уравнении коэффициенту 3,774, а согласно пиритной теории выдвигалось, что в развитии процесса самовозгорания выделяется 3,3-4,1 кал на

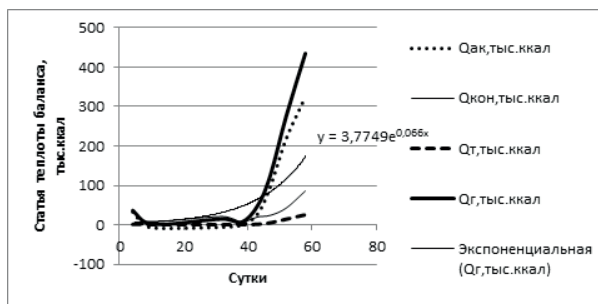


Рисунок 2. Модель формирования генерируемой энергии по статьям теплового баланса процесса самовозгорания угля
 Figure 2. Model of generation of generated energy according to the articles of the heat balance of the process of coal spontaneous combustion

1мл поглощенного кислорода [14], то коэффициент 3,774 находится в пределах данной теории, что подтверждает определенную достоверность расчетов.

Угли опасные по самовозгоранию, с большей вероятностью могут инициировать эндогенные пожар, в современных условиях добычи, с технологиями применяемыми на мощных пластах, с шириной лав 300 м и длиной выемочных столбов 2-3 км, работающих с полным обрушением кровли. Аналитически это подтверждается повышением параметров в формуле расчетной температуры - $t(1)$.

$$t = \frac{q_z - (q_g + q_p)}{4\pi\lambda r}, \quad (1)$$

q_z - генерируемого тепла по количеству поглощенного кислорода за период, кал/м²·ч;

q_g - количество тепла выносимого струей газа в единицу времени кал/м²·ч (около 23% от q_z);

q_p - количество тепла, отдаваемого поверхности (около 6% от q_z);

λ - коэффициент теплопроводности угля 0,12±0,2 ккал/(м·ч·°С).

Варианты, расчетов при различных параметрах в модели (1) приводятся в табл.1. Как видно из табл.1 увеличение параметров

конвекции и теплопередачи поверхности, снижает аккумулированное тепло и тем самым температуру нагревания угля. Повышение коэффициента теплопроводности - λ уменьшает теплоемкость угля, т.е. его температуру. Радиус теплового равновесия температурного поля, при его увеличении, так же снижает температуру нагревания угля. Неоднозначное протекание процессов нагревания угля показывает, что в определенных условиях у опасных пластов по самовозгоранию температура 340,5°С и у неопасных 335,3°С.

Потенциальные параметры выделения тепла при процессе генерации могут находиться в широких пределах 129,6-11664 Мкал /м²·ч, что в принципе обеспечивает самовозгорание угля, т.к. предельная температура согласно расчетам, может быть достигнута, даже у углей малоопасных по степени самовозгорания.

На основе таблицы 2 и рассмотренной теоретической базы и проведенных расчетов по определению молярной массы в современных условиях угледобычи, выведем из формулы предлагаемой Караушом С.А., температуру (T) газодинамического процесса [15,С.20]. Основа упрощения расчетов, в том что они ведутся в **единичных параметрах**, при условной мощно-

Таблица 1. Варианты расчетной температуры по балансовой модели Линденау Н.И. при изменении параметров
Table 1. Options for the calculated temperature on the balance model of Lindenau N.I. when changing parameters

Степень пожаро-опасности	q_z , ккал/м ² ·ч	q_g , ккал/м ² ·ч	q_p , ккал/м ² ·ч	4π	λ , ккал/(м·ч·°С)	r , м	t , °С
опасные	1296000	298080	77760	12,56	2	100	366,3
	2592000	648000	233280	12,56	2	200	340,5
	3888000	894240	233280	12,56	2	150	732,6
	5184000	1399680	518400	12,56	2	200	650,0
	6480000	1944000	648000	12,56	2	200	773,8
	7776000	3110400	777600	12,56	2	150	1031,8
	9072000	2086560	544320	12,56	2	100	2564,1
	10368000	3110400	1036800	12,56	1	200	2476,4
	11664000	2916000	1749600	12,56	2	200	1392,9
малоопасные	777600	233280	46656	12,56	1	150	264,1
	907200	226800	90720	12,56	2	200	117,3
	1036800	311040	155520	12,56	2	150	151,3
неопасные	648000	162000	64800	12,56	1	100	335,3
	388800	89424	23328	12,56	2	150	73,2
	129600	38880	12960	12,56	2	200	15,4

Таблица 2. Расчет диапазона температур при различных состояниях объемов газовой выделении метана в очистной выработке
 Table 2. Calculation of the temperature range under various conditions of methane gas production volumes in a treatment plant

Условная мощность пласта, м	Линейный путь очистного комбайна, м	Средний удельный вес угля, т/м ³	Относительная метанобильность, м ³ /т	Коэффициент десорбции угля из метана, k	Объем выделенного метана, м ³	Молярный объем метана, моль/м ³	Давление взрывной волны, МПа (Pa=N·m ²)	Универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·°K), [нм/(моль·°K)]	Температура °K,	Температура, °C
1	1	1,34	5	0,2	1,34	59,82143	6000	8,314	833,8791	560,8
1	1	1,34	10	0,2	2,68	119,6429	10000	8,314	694,9493	421,9
1	1	1,34	11	0,2	2,948	131,6071	20000	8,314	1263,45726	990,4
1	1	1,34	12	0,2	3,216	143,5714	30000	8,314	1737,25373	1464,2
1	1	1,34	13	0,21	3,6582	163,3125	40000	8,314	2036,34137	1763,3
1	1	1,34	14	0,22	4,1272	184,25	50000	8,314	2256,1	1983,1

сти пласта -1м, и линейного пути очистного комбайна -1м, (2).

$$T = \frac{P}{C \cdot R}, \quad (2)$$

P - давление в метановоздушной смеси, Па
 C - молярная концентрация метана в газовой смеси, моль/м³
 R - универсальная газовая постоянная равная 8314 Дж/кмоль·°K

Ориентируясь на зависимости характеризующих процесс по характеристикам: температуры, давления, скорости распространения пламени и ударной волны, с учетом графического представления данных процессов по вышеприведенным теориям, сформируем укрупненную графическую модель аварии «пожар – взрыв» в горной выработке сечения S = 10 м², по условной длине L = 100м, (в действующих методиках принимают безразмерную длину – 65), времени t = 60 сут, для углей склонных к самовозгоранию, с параметрами газовой выделении и воздушной струи, соответствующих параметрам ведения высокопроизводительных процессов угледобычи, т.е. по всем вышерассмотренным зависимостям ранее. При экспериментах на установках, Линденау Н.И. рекомендует использовать обобщенный критерий подобия - α(3), который объединяет критерии Нуссельта, Пранделя и Рейнольдса (4), и находится в широких пределах в зависимости от конкретных значений процесса теплообмена, например, при объёме (V) - 10000м³, α=3,83, при объёме 100 м³, α = 9,93, при объёме 1 м³, α = 20. Ввиду укрупненного аналитического расчета коэффициент подобия не учитывался.

$$\alpha = 0,022 \frac{V^{0,8} \lambda}{d^{0,22} \nu^{0,8}}, \quad (3)$$

λ - теплопроводность воздуха, ккал/(м·ч·°C)

d - средний диаметр угля по мощности пласта(принят 2,5м), м

ν - кинематическая вязкость воздуха, м²/с

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,4} \quad (4)$$

Графическая модель аварии «пожар – взрыв» в привязке к расчетной температуре табл.1,табл.2, в горной выработке приведена на (рис.3).

Воспламенение метановоздушных смесей в угольных шахтах обусловлены протеканием экзотермических реакций окисления угля с кислородом воздуха. При этом температура продуктов взрыва метана в неограниченном объеме достигает 1875 °C, а внутри замкнутого объема 2150-2650°C, что подтверждено теорией и авторскими расчетами в эмпирических примерах. Давление газа в месте взрыва в среднем на порядок выше начального давления метановоздушной смеси до взрыва. Давление взрывной волны может достигать 3 МПа и выше. Кроме того, взрывы метана могут сопровождаться прямой и обратной ударной волной; прямая волна образуется в результате распространения продуктов взрыва, обладающих высоким давлением и температурой. Обратная возникает от разряжения, образующегося в месте взрыва, вследствие остывания продуктов взрыва и конденсации паров воды. При этом ударная волна является зоной сжатия распространяющаяся по среде со скоростью превышающей скорость звука. Различают: взрывы метана, взрыв угольной пыли, взрыв метана и угольной пыли. Распространение фронта пламени при взрывах метановоздушной и пылеметановоздушной смесей носит нестационарный и пульсационный (скачкообразный) характер.

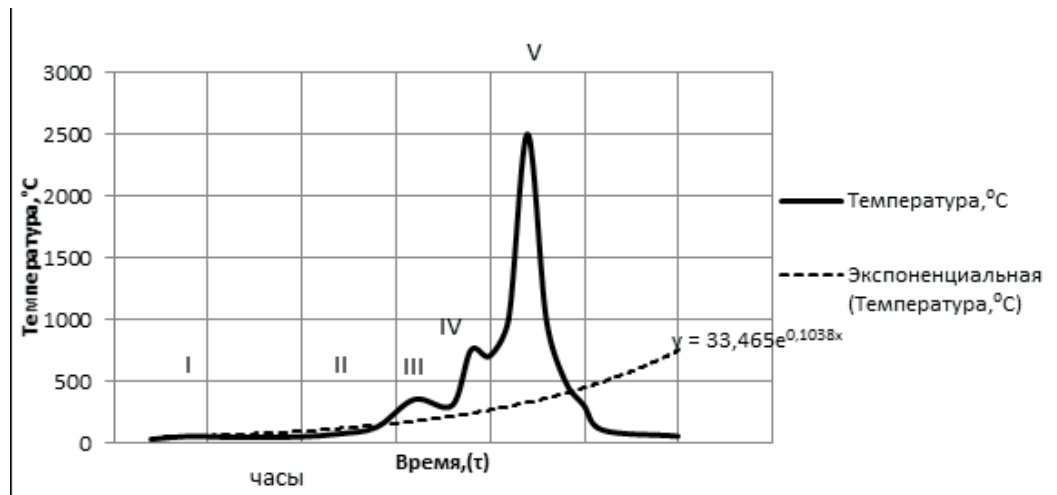


Рисунок 3. Графическая модель аварии «пожар – взрыв» в горной выработке в координатах : температура - время. I – разогревание угля, II – выпаривание влаги из угля, III– интенсивное окисление из угля, IV– возникновение пожара, V– взрыв, VI – детонация

Figure 3. Graphical model of the “fire - explosion” accident in a mine in coordinates: temperature - time. I - heating of coal, II - evaporation of moisture from coal, III– intense oxidation from coal, IV– fire, V– explosion, VI - detonation

Данные аспекты изменения параметров взрыва и пламени(пожара), и их взаимодействия несут один из аспектов математического моделирования совместных процессов : пожар-взрыв, взрыв-пожар, взрыв-взрыв.

На основе вышеприведенного утверждается что, в момент перехода пожара в взрыв, и взрыва в взрыв, происходит скачкообразное увеличение энергии процесса ($E_n \rightarrow E_e$), как по температуре (t_n, t_e), так и по давлению (P_n, P_e), на основе чего выдвигаются следующие **аксиомы энергетических переходов**:

$$1. E_n \rightarrow E_v, \{t_n, P_n\} < \{t_e, P_e\}, \quad (5)$$

$$2. E_v \rightarrow E_n, \{t_e, P_e\} > \{t_n, P_n\}, \quad (6)$$

$$3. E_{v1} \rightarrow E_{v2}, \{t_{e1}, P_{e1}\} \ll \{t_{e2}, P_{e2}\}, \quad (7)$$

Основные характеристики переходного процесса аварии «пожар – взрыв» в горной выработке приведены в таблице 3.

На основе обобщенных данных таблицы 3 можно сделать вывод, что приведенные аналитические, графические, математические модели процесса эндогенного пожара осложненного взрывом метана в угольной шахте доказывают нестационарность протекания процесса самовозгорания угля и взрыва метана в горных выработках, в принципе процесс носит пульсирующий, скачкообразный характер, что подтверждается графиками и широкими диапазонами параметров и характеризуются экспоненциальными зависимостями роста.

Балансовая математическая модель процесса эндогенного пожара осложненного взрывом метана в угольной шахте по энергетическому параметру - выделенная энергия в (ккал), на самовозгорание угля при минимизации пара-

метров статей теплового баланса (по Линдену Н.И.), ведущая к затуханию процесса, и имеет вид (8):

$$Q_z = Q_{ак} + Q_{кон} + Q_m \rightarrow min \quad (8)$$

Тогда по (8), согласно табл.1, при определении единичных параметров аккумуляции тепла (x_1)-360 ккал/с, конвекции (x_2)-83 ккал/с и поверхностной теплопередачи (x_3)-22 ккал/с, имеем целевую функцию (9):

$$f(\bar{X}) = 360x_1 + 83x_2 + 22x_3 \rightarrow min \quad (9)$$

при ограничениях (по авторским расчетам), см. табл.1,(ккал):

$$\begin{cases} x_1 < 3600 \\ x_2 \leq 828 \\ x_3 < 216 \end{cases}$$

При изменении знаков в ограничениях, или самих ограничений , балансовая модель дает различные результаты количества генерируемого тепла, т.е. ориентирует принятие решения для ликвидации (замедления) процесса самовозгорания угля, при различных вариантах полученного тепла, например 68724 ккал, 1671840 ккал, 1442484 ккал, что определяет возможность альтернативного выбора. Решения оптимизационной задачи с помощью надстройки «Поиск решения» в среде Excel, по модели теплового баланса при минимизации, и различных вариантах генерации тепла, приведены в табл.4, табл.5, табл.6.

Увеличение параметров конвекции и теплопередачи поверхности , снижает аккумулированное тепло, и тем самым температуру нагревания угля. Повышение коэффициента теплопроводности, уменьшает теплоемкость угля, т.е. его температуру. Радиус теплового равновесия температурного поля, при его увеличении, так

Таблица 3. Характеристики процесса аварии «эндогенный пожар-взрыв»
Table 3. Characteristics of the process of the accident "endogenous fire-explosion"

Показатель	Стадии, параметры					
	I	II	III	IV	V	
	самовозгорание			взрыв	детонация	
1. Температура эндогенного пожара T, °C	25–44	45–68	69–350			
2. Температура самовозгорания угля t _c , °C			322-392			
3. Потенциальные параметры выделения тепла при процессе генерации (в среднем периоде) q _p , ккал/м ² ·ч	129600-648000	777600-1036800	1296000-11664000			
4. Генерируемого тепло по количеству поглощенного кислорода за период, кал/м ² ·ч;	129600			-	-	
5. Градации расхода воздуха подаваемого на участок, м ³ /мин	1350-2880			-	-	
6. Пределы взрывчатости метана при T, °C- %	17	100	200	300	400	
	6,3-12,9	5,95-13,7	5,5-14,6	5,5-14,6	4,8-16,6	
7. Абсолютный минимум воспламенения метана, МДж	0,280					
8. Температура взрыва метана T, °C				2150-2650		
9. Скорость пламени взрыва метана, м/с				0,3-850		
10. Диапазон избыточного давления взрыва, МПа				0,006- 2,2		
11. Детационная скорость ударной волны, м/с					1818	
12. Скорость медленного взрывного горения, м/с				37		
13. Скорость обычного взрыва, м/с				500-700		
14. Скорость детонационной волны, м/с					1500-5000	
15. Энергетические параметры процесса(в условном объеме), кДж				30934,2-83696,5		
16. Избыточное давления, кПа	10	13	35	65	120	400
вероятность получения травмы по Умнову А.Е. % [8,С.30]	0	5	35	50	75	100
барическое воздействие на человека по Мاستрюкову Б.С.,(кПа) [8,С.26]	<10 безопасно	20-40 общая контузия	60-100 повреждение внутренних органов	250-300 летальный исход в 50%	>300 безусловное смертельное поражение	

Таблица 4. Решение оптимизационной задачи с помощью надстройки «Поиск решения» в среде Excel, по модели теплового баланса при минимальном варианте генерации тепла

Table 4. Solution of the optimization problem using the add-on "Search for a solution" in the Excel environment, according to the heat balance model with a minimum variant of heat generation

X1	X2	X3		
0	828	0		
360	83	22	68724	
1	1	1	828	4644
	1		828	828
		1	0	216

Таблица 5. Решение оптимизационной задачи с помощью надстройки «Поиск решения» в среде Excel, по модели теплового баланса при максимальном варианте генерации тепла

Table 5. Solution of the optimization problem using the add-on "Search for a solution" in Excel, according to the heat balance model with the maximum heat generation option

X1	X2	X3		
4644	0	0		
360	83	22	1671840	
1	1	1	4644	4644
	1		0	828
		1	0	216

Таблица 6. Решение оптимизационной задачи с помощью надстройки «Поиск решения» в среде Excel, по модели теплового баланса при среднем варианте генерации тепла

Table 6. Solution of the optimization problem using the add-on "Search for a solution" in Excel, according to the heat balance model with an average variant of heat generation

X1	X2	X3		
3816	828	0		
360	83	22	1442484	
1	1	1	4644	4644
	1		828	828
		1	0	216

же снижает температуру нагревания угля. Неоднозначное протекание процессов нагревания угля определено как для опасных пластов по самовозгоранию температура 340,5°C, так и у неопасных 335,3°C.

Потенциальные параметры выделения тепла при процессе генерации за средний период (порядка 2х месяцев) могут находиться в широких пределах 129,6-11664 Мкал/м²-ч, что в принципе обеспечивает самовозгорание угля малоопасного по степени самовозгорания. Энергетические параметры процесса взрыва (в нормированном объеме), находятся также в широких пределах 30934,2 - 83696,5 кДж.

Основываясь на теории цепных реакций применительно к процессам горения и взрыва в газовых системах, разработанная графическая модель аварии «пожар – взрыв» в горной

выработке (в нормированных размерах) в координатах: температура (y) – время (x), позволила определить нестационарный характер и экспоненциальную зависимость данного процесса – $y = 33,46e^{0,103x}$.

Для снижения параметров теплогенерации угольных пластов необходимо применять комплекс не всегда однозначных решений: гибко изменять скорость воздушной струи, объем воздуха подаваемого в очистные забои, регулировать утечки воздуха, ограничивать доступ воздуха в выработанное пространство, минимизировать оставление угля в целиках и пачках.

Резюмируя, утверждается, что при рациональном управлении, параметрами газодинамики в условиях выемочного столба, можно в определенных границах, формировать оптимальный тепловой баланс процесса самонагревания угля на основе математического моделирования, для определения способа поддержания температуры угольных пластов ниже пределов самовозгорания, что является одной из функций многофункциональной системы безопасности шахты (МФСБ). При этом, при формировании надежности элементов МФСБ необходимо учитывать результаты моделирования аварии «пожар – взрыв» в горной выработке в координатах: температура – время, теплоэнергия – время, и др. параметры характеризующие потенциал аварии, что необходимо для формирования эффективной МФСБ, так и многофункциональной системы жизнеобеспечения при ликвидации аварии (МФСЖА).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Резниченко С.С., Ашихмин А.А. Математические методы и моделирование в горной промышленности: Учеб. пособие. - 2-е изд., стер. - М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2001. - 404с.
2. С.С. Резниченко, М.П. Подольский, А.А. Ашихмин. Экономико-математические методы и моделирование в планировании и управлении горным производством: Учеб. для вузов. - М.: Недра, 1991. - 429с.
3. Протосеня А.Г., Кулиш С.А., Азбель Е.И. и др. Математические методы и модели в планировании и управлении горным производством. М., Недра 1985.
4. Потапов В.Д., Яризов А.Д. Имитационное моделирование в горной промышленности. М., Высшая школа, 1988.
5. Акулич И.Л. Математическое программирование в примерах и задачах. М., Высшая школа, 1986.
6. Н.П. Бусленко. Моделирование сложных систем. Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука» М., 1968. - 356с.
7. В.П. Тарасик. Математическое моделирование технических систем. Учебник для вузов. Мн. ДизайнПРО, 1997. - 640с.
8. Умнов А.Е., Голик А.С. Палеев Д.Ю. Предупреждение и локализация взрывов в подземных условиях. М.: Недра, 1990. - 286с.
9. Колесниченко И.Е., Артемьев В.Б. Колесниченко Е.А., Черечукин В.Г., Любомищенко Е.И. Теория горения и взрыва метана и угольной пыли // Уголь. - № 6. - 2016. - С. 30 – 35
10. Горбатов В.А., Руденко Ю.Ф., Костаренко В.И., Палеев Д.Ю. и др. Методика газодинамического расчета параметров воздушных ударных волн при взрывах газа и пыли / ФГУП РосНИИГД - Москва. - 2003-16с.
11. Колесниченко И.Е., Артемьев В.Б. Колесниченко Е.А., Любомищенко Е.И. Метанопылевая опасность рудничной атмосферы // Уголь. - № 9. - 2017. - С. 26 – 31
12. Розловский А.И. Научные основы техники взрывобезопасности при работе с горючими газами и парами. М.: Химия, 1972. - 368с.
13. Линеденау Н.И., В.М. Маевская, В.Ф. Крылов. Происхождение, профилактика и тушение эндогенных пожаров в угольных шахтах. М.: «Недра», 1977. - 320с.

14. 14.Травин А.Б.Методика петрографического исследования каменных углей в связи с изучением их склонности к самовозгоранию. Тр. горно-геологического ин-та,1965, №18.25с.
15. 15.Карауш С.А. Расчет параметров процессов горения[текст]: учебное пособие /С.А.Карауш. –Томск. Изд-во Том.гос. архит.-строит. ун-та, 2015.120с.
16. 16.Мастрюков Б.С.Безопасность в чрезвычайных ситуациях: учебник для студентов высш. учеб. заведений/ Б.С.Мастрюков.- 3-е изд., перераб. идоп. –М.: Издательский центр «Академия»,2006.- 336с.

REFERENCES

1. Reznichenko S. S., Ashihmin A. Mathematical methods and modeling in the mining industry: Studies benefit.- 2nd ed., erased.- Moscow: Publishing house of the Moscow state mining University, 2001.- 404p.
- 2.S. S. Reznichenko, M. P. Podolsky, A. A. Ashikhmin. Economic and mathematical methods and modeling in the planning and management of mining: Studies. for universities. - Moscow: Nedra, 1991.- 429p.
- 3.Protosenya, A. G., Kulish, S., Azbel, E. I., etc. Mathematical methods and models in planning and management of mining. M., Nedra, 1985.
- 4.Potapov V. D., A. D. Arsov simulation in the mining industry. M., High school, 1988.
- 5.Akulich I. L. Mathematical programming in examples and problems. M., Higher school, 1986.
- 6.N.P.Buslenko.Modeling of complex systems. The main edition of physico-mathematical literature publishing house "Nauka", M.,1968. – 356p.
- 7.V.P. Tarasik. Mathematical modeling of technical systems. Textbook for universities. Meganewton.Designpro, 1997.- 640p.
- 8.Umnov A. E., Golik A. S. Paleev D. Y. The Prevention and containment of explosions in the underground. M.: Nedra, 1990.- 286p.
- 9.Kolesnichenko I. E., Artemiev V. B., Kolesnichenko E. A., Cherechukin V. G., Lyubimenko, E. I., Theory of combustion and explosion of methane and coal dust/ Coal. - № 6. - 2016. P. 30 – 35
- 10.Gorbatov V. A., Rudenko Yu. f, Kostenko V. I. Paleev, D. Yu. and etc. Methods of gas-dynamic calculation of parameters of air shock waves by explosions of gas and dust/ FGUP. - Moscow.- 2003-16P.
- 11.Kolesnichenko I. E., Artemiev V. B., Kolesnichenko E. A., E. I. Lubimenko Melanophylla the danger of the mine atmosphere // Coal. - № 9. - 2017. – P. 26 – 31
- 12.Rozovskii I. A. Scientific fundamentals of engineering explosion when working with flammable gases and vapors. M.: Chemistry, 1972. – 368p.
- 13.Lindenau, N. And. V. M. Maevskaya, V. F. Krylov. Origin, prevention and suppression of endogenous fires in coal mines. M.: "Nedra", 1977.- 320p.
- 14.The method of the petrographic study of coal deposits in connection with the study of their propensity to spontaneous combustion. Tr. mining and geological Institute, 1965, №18.25 p.
15. Karauch S.A.Calculation of the parameters of the combustion processes [text]: a tutorial. –Томск. Ed is That. state architect.-builds. University, 2015. 120 P.
- 16.Mastryukov B. S. Safety in emergency situations: a textbook for students of higher education. studies' institutions/B. S. Mastryukov.- 3rd ed.] idop. - Moscow: publishing center "Academy", 2006.- 336 p.

СИСТЕМЫ ПНЕВМОГИДРООРОШЕНИЯ ДЛЯ БОРЬБЫ С ПЫЛЬЮ

Система пылеподавления разработана ГК «ВостЭКО и Горный-ЦОТ»

создаёт водовоздушный туман до 3,5 мкм, который поглощает угольную, породную, рудную и др виды пыли и препятствует её дальнейшему распространению

- Снижение расхода воды до 12 раз, рабочее давление 5 атм, расход воды от 0,5 л/мин на 1 форсунку
- Может использоваться со спец добавкой для работы при отрицательных температурах
- Снижение запыленности на 80 %

**Установлена на Кемеровской ТЭЦ, пройдены
испытания на карьере «Борок» и др
промышленных объектах**

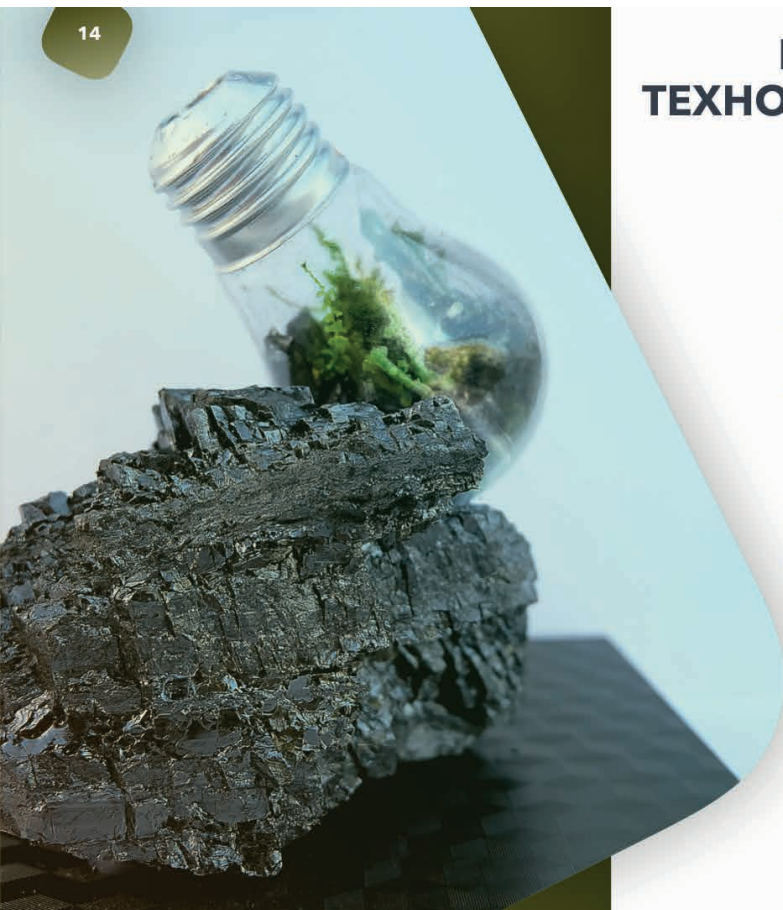


**ВостЭКО
Горный-ЦОТ**



indsafe.ru

14



ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ МОНИТОРИНГА И БОРЬБЫ С ПЫЛЬЮ ПОЗВОЛЯЕТ

- Решить проблему с запыленностью в городах и на промышленных предприятиях
- Улучшить экологическую обстановку
- Оптимизировать процессы обработки угля против пыления и смерзания на предприятии
- Снизить расходы на обработку пылящих грузов
- Создавать карту запыленности в режим онлайн с помощью сигнальных систем экологического мониторинга
- Контролировать уровень запыленности онлайн и применять системы пылеподавления при необходимости по сигналу превышения ПДК





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

аспирант ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева», г. Кемерово
postgraduate of FGBOU VO "Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev", Kemerovo



М.В. Трепачков // M.V. Trepakov
mrtmv99@mail.ru

студент ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева», г. Кемерово
student of FGBOU VO "Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev", Kemerovo



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

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



А.В. Дягилева // A.V. Dygileva

канд.техн.наук., доцент ФГБОУ ВО "КузГТУ", Кемерово, 650026, ул. Весенняя, 28.
candidate of technical sciences, associate professor FGBOU VO "KuzGTU", Kemerovo, 650026, Vesennia, 28

УДК 622.87; 613.6.02; 331.483.7

ОЦЕНКА ЗАВИСИМОСТИ РИСКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ЗАБОЛЕВАНИЯ ОТ СТАЖА КОНТАКТА С ВРЕДНЫМ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМ ФАКТОРОМ

OCCUPATIONAL DISEASE RISK DEPENDENCE ASSESSMENT ON THE HARMFUL PRODUCTION FACTOR CONTACT LENGTH

В статье изложен материал исследования уровня профессиональной заболеваемости работников угольных разрезов с различным уровнем стажа воздействия вредных и опасных производственных факторов, проведен статистический анализ собранных данных, представлены причины значительного уровня профессиональной заболеваемости в угольной промышленности.

The article presents the study material of occupational morbidity level of coal miners with various experience levels of exposure to harmful and hazardous production factors, a statistical analysis of the collected data is carried out, the reasons for a significant level of occupational morbidity in the coal industry are presented.

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

Key words: COAL INDUSTRY, OPEN CAST OF MINERAL DEPOSITS DEVELOPMENT, WORKING CONDITIONS, PRODUCTION-CONDITIONED AND PROFESSIONAL DISEASES

Работники угольных разрезов при выполнении технологических операций сталкиваются с рядом вредных и опасных производственных факторов во время своей профессиональной деятельности. Особенности технологических процессов и горно-геологические условия добычи угля открытым способом в Кузбассе формируют целый спектр неблагоприятных последствий, носящий накопительный характер для функционирования основных систем организма работника. При этом в современных экономических реалиях и условиях высокой конкуренции квалифицированные рабочие и инженерно-технические кадры являются одним из важнейших ресурсов.

Ранее были выявлены основные профессии работников угольных разрезов, подверженные наибольшему риску возникновения профессионального заболевания. К ним относятся машинисты экскаватора, водители технологического транспорта, выполняющие транспортировку горной массы, машинисты бульдозеров и машинисты буровых установок [1].

Исходя из полученных в результате исследования данных о стаже работы под воздействием вредных и опасных производственных факторов и риске возникновения профессионального заболевания у профессий группы риска составлен график зависимости данных величин, представленный на рисунке 1 [2].

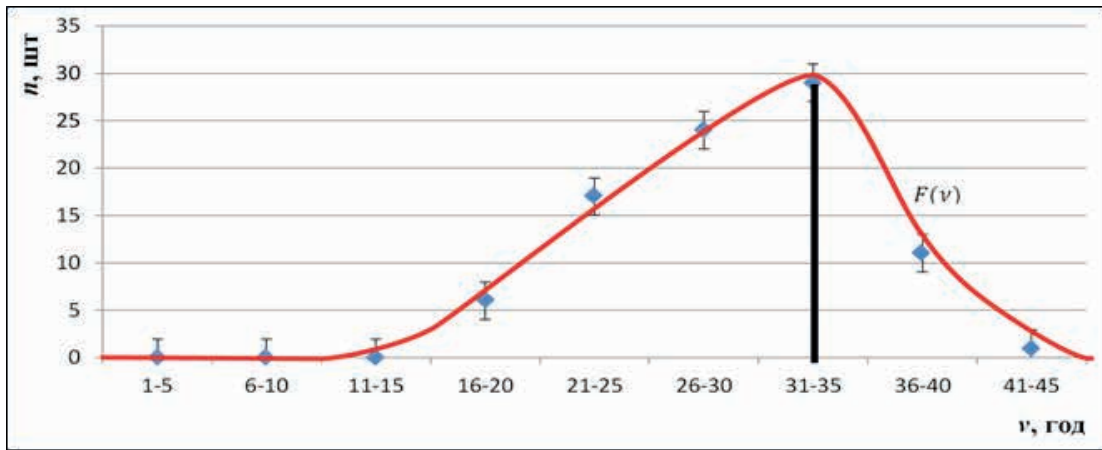


Рисунок 1. Зависимость случаев профессиональных заболеваний к стажу контакта с вредным производственным фактором

Figure 1. Dependence of occupational diseases cases on the experience of contact with a harmful production factor

Из общего объема данных исключены случаи самостоятельного обращения работника, т.к. данные обращения зависят от внешних условий, учесть которые в рамках текущих исследований не представляется возможным. Для подтверждения качества взятой выборки проведен ее статистический анализ. Ниже построена гистограмма и полигон, определен основной закон распределения, проведены проверки различными критериями.

Гистограмма и полигон составлена на основании выполненного разложения всех представленных данных на интервально вариационные ряды и представлена на рисунке 2 [3].

На основании построенного полигона и гистограммы можно выдвинуть гипотезу о том, что данное распределение является нормальным, т.к. соответствует гистограмме нормального распределения.

Далее необходимо рассчитать основные параметры выборки. Выборочная средняя для представленных данных составит – 29,1; мода – 31,7; медиана – 29,8; дисперсия – 30,657; среднее квадратичное отклонение – 5,537 [3]. Изучив основные параметры выборки и полученную гистограмму, можно сделать вывод о незначительной асимметрии выборки.

Для подтверждения представленной теории о нормальном распределении анализируемой выборки проведена проверка по различным критериям (Пирсона, Колмогорова, Вестергарда, Романовского, Пуассона). Данные критерия полностью подтверждают ранее озвученную гипотезу.

Ниже представлены графики эмпирической и теоретической частоты, а также график накормленных частот. Рисунок 3, 4 [4, 5].

Представленные графики подтверждают

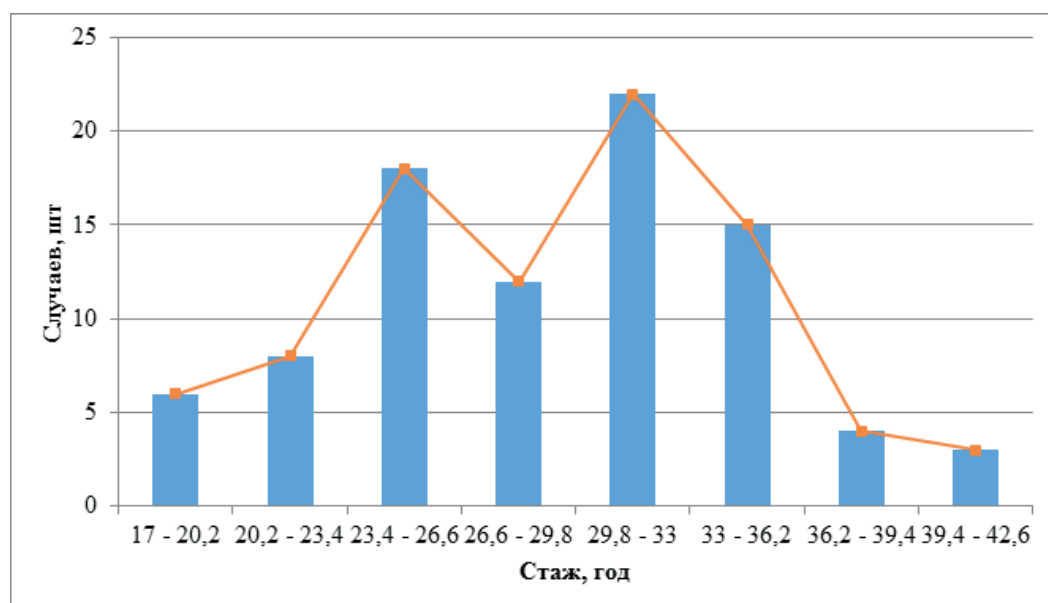


Рисунок 2. Полигон и гистограмма случаев установления профзаболеваний в зависимости от стажа

Figure 2. Polygon and histogram of the occupational diseases establishment cases depending on the length of service

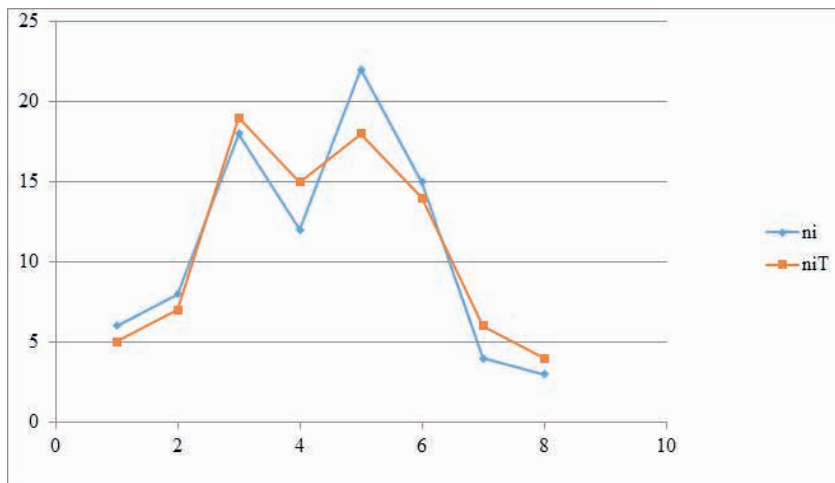


Рисунок 3. График зависимости частот
Figure 3. Graph of frequency dependencies

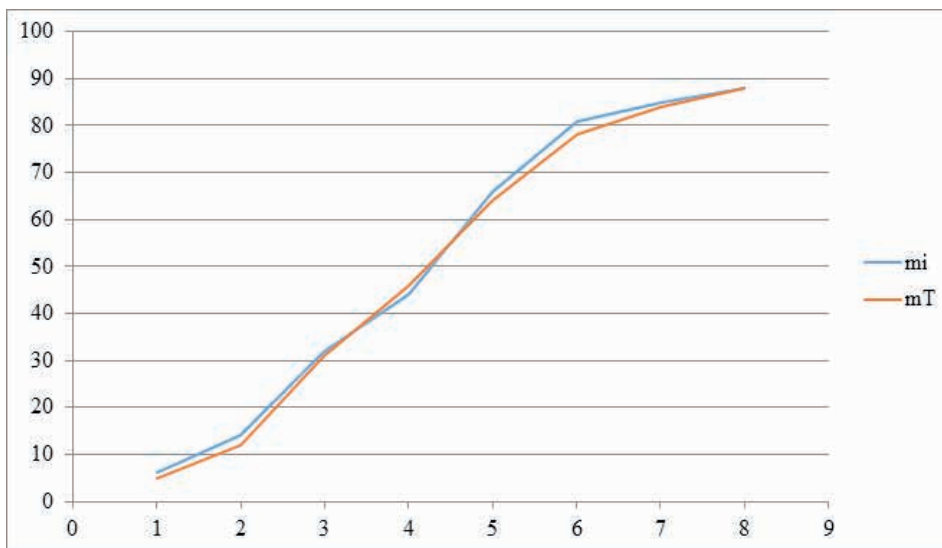


Рисунок 4. График кумулята
Figure 4 - Cumulate Graph

справедливость нормального распределения в исследуемой выборке, т.к. линии частот практически совпадают.

Исходя из проведенного анализа график, представленный на рисунке 1, имеет выраженную асимметрию, которая, в свою очередь, возникла в результате воздействия внешнего фактора, влияющего на распределение. В исследуемом случае данным фактором является возраст выхода на досрочное пенсионное обеспечение. При стаже в 25 лет у работников, занятых на ранее обозначенных профессиях (группа риска), возникает право выхода на досрочное пенсионное обеспечение, но существенная доля та-

ких работников продолжают выполнение работ в аналогичных условиях труда, что приводит к всплеску уровня профессиональной заболеваемости к 31 годам стажа во вредных условиях труда.

В конечном счете, прослеживается серьезная проблема вывода работников, чей стаж достиг возможности выхода на досрочное пенсионное обеспечение из условий выполнения работ под воздействием вредных производственных факторов и на работах в профессиях, подверженных высокому риску возникновения профессионального заболевания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фомин А.И. Риск формирования профессиональных заболеваний при разработке угольных месторождений открытым способом / А.И. Фомин, В.В. Соболев, М.С. Сазонов, И.М. Анисимов, М.Н. Малышева // Безопасность труда в промышленности. – 2017. – № 10. – С. 65–71.

2. Фомин А.И. Исследования этапов формирования профессиональных заболеваний у работников, занятых в технологических процессах при разработке угольных месторождений открытым способом / А.И. Фомин, Ю.А. Фадеев, И.М. Анисимов // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2018. – № 1. – С. 59–66.
3. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: Учебное пособие для бакалавров / В.Е. Гмурман. – М.: Юрайт, 2013. – 479 с.
4. Горлач Б.А. Теория вероятностей и математическая статистика: Учебное пособие / Б.А. Горлач. – СПб.: Лань, 2013. – 320 с.
5. Калинина В.Н. Теория вероятностей и математическая статистика: Учебник для бакалавров / В.Н. Калинина. – М.: Юрайт, 2013. – 472 с.

REFERENCES

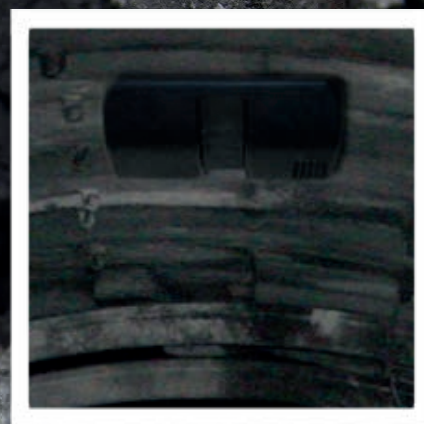
1. Fomin, A.I., Sobolev, V.V., Sazonov, M.S., Anisimov, I.M., & Malysheva, M.N. (2017). Risk formirovaniya professionalnykh zabolevani pri razrabotke ugolnykh mestorozhdenii otkrytym sposobom [The risk of occupational diseases in open cast mining]. *Bezopasnost truda v promyshlennosti – Industrial Labor Safety*, 10, 65-71 [in Russian].

2. Fomin, A.I., Fadeev, Yu.A., & Anisimov, I.M. (2018). Issledovaniya etapov formirovaniya professionalnykh zabolevaniy u rabotnikov, zaniatykh v tekhnologicheskikh processakh pri razrabotke ugolnykh mestorozhdenii otkrytym sposobom [Occupational diseases formation stages studies in workers employed in technological processes in the development of opencast coal deposits]. *Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugolnoi promyshlennosti – Herald of Safety in Mining Industry Scientific Center*, 1, 59-66 [in Russian].

3. Gmurman, V.Ye. (2013). *Teoria veroyatnoy i matematicheskoy statistiki: Uchebnoye posobie dlya bakalavrov* [Probability Theory and Mathematical Statistics: Study Guide for Bachelors]. Moscow: Yurait [in Russian].

4. Gorlach, B.A. (2013). *Teoria veroyatnoy i matematicheskoy statistiki: Uchebnoye posobie* [Probability Theory and Mathematical Statistics: Study Guide]. Saint Petersburg: Lan [in Russian].

5. Kalinina, V.N. (2013). *Teoria veroyatnoy i matematicheskoy statistiki: Uchebnyy dlya bakalavrov* [Probability Theory and Mathematical Statistics: Study Book for Bachelors]. Moscow: Yurait [in Russian].



ИЗСТ-01

ИЗМЕРИТЕЛЬ ЗАПЫЛЕННОСТИ СТАЦИОНАРНЫЙ



indsafe.ru
Горный-ЦОТ



Д.А. Бесперстов // D.A. Besperstov
gpnbesperstov@yandex.ru

доцент, ФГБОУ ВО «КемГУ»,
Россия, 650056 г. Кемерово, бульвар
Строителей, д. 47. FGBOU VO "KemGU",
Kemerovo, Russia, 650056, Kemerovo,
Boulevard Stroiteley, 47



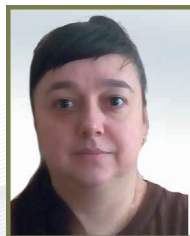
Е.А. Попова // Ye.A. Popova

канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО "Ке-
меровский государственный универси-
тет", 650056, г. Кемерово, б-р Строи-
телей, 47
candidate of technical sciences, associate
professor of FGBOU VO "Kemerovo State
University", 650056, Kemerovo



А.Н. Кроль // A.N. Krol'
anna.krol.79@mail.ru

канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО "Ке-
меровский государственный универси-
тет" 650056, г. Кемерово, б-р Строи-
телей, 47
candidate of technical sciences, associate
professor of FGBOU VO "Kemerovo State
University", 650056, Kemerovo, Boulevard
Stroiteley, 47



В.В. Романова // V.V. Romanova
romvvaer@mail.ru

канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО "Ке-
меровский государственный универси-
тет", 650056, г. Кемерово, б-р Строи-
телей, 47
candidate of technical sciences, associate
professor of FGBOU VO "Kemerovo State
University", 650056, Boulevard Stroiteley,
47

УДК 31+614.841.315

АНАЛИЗ НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКИХ КОЛЛИЗИЙ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ТРЕБОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ: ПРОБЛЕМЫ, РЕШЕНИЯ

ANALYSIS OF NORMATIVE-TECHNICAL COLLISIONS IN MODERN CONDITIONS WHEN FULFILLING THE FIRE SAFETY REQUIREMENTS PROBLEMS, SOLUTIONS

Несмотря на положительную тенденцию в нормативно–техническом регулировании, возник вопрос о необходимости выполнения требований, которые ранее были обязательными, а в настоящее время рекомендательными. В отношении таких объектов законодатель определил, что если техническим регламентом установлены более высокие требования, то возможно выполнение ранее установленных норм. В свою очередь, если проведен капитальный ремонт или реконструкция объекта, то необходимо выполнение современных действующих требований. Таким образом возникли ряд вопросов, решение которых необходимо проводить безотлагательно. Также требования пожарной безопасности в ряде случаев имеют не однозначную интерпретацию. Возникшие вопросы фактически и являются коллизиями, в силу противоречий. Противоречия или неоднозначность требований могут быть неверно истолкованы и являться дополнительными нормативными барьерами при выполнении мероприятий по обеспечению пожарной безопасности людей.

В статье изложены проблемы реализации современных законодательных требований в области пожарной безопасности к объектам защиты предложен порядок устранения нормативно-технических противоречий в области пожарной безопасности.

Despite the positive trend in the normative and technical regulation, the question arose about the need to fulfill the requirements that were previously mandatory, but currently are recommendatory. Regarding such objects, the legislator determined that if higher requirements are established by the technical regulations, then the previously established standards may be fulfilled. In turn, if a major overhaul or reconstruction of an object has been carried out, then it is necessary to fulfill current existing requirements. Thus a number of issues arose, the solution of which must be carried out without delay. Also, fire safety requirements in some cases have an ambiguous interpretation. The questions that have arisen are actually collisions, due to contradictions. The contradictions or ambiguities of the requirements may be misinterpreted and constitute additional regulatory barriers in the implementation of measures to ensure fire safety of people. The article outlines the problems of implementing modern legislative requirements in the field of fire safety for objects of protection, a procedure for eliminating regulatory and technical contradictions in the field of fire safety is proposed.

Ключевые слова: ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ, РИСК ПО БЕЗОПАСНОСТИ ОТ ПОЖАРОВ, НОРМАТИВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ, ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРАВИЛА, НОРМАТИВНЫЕ КОЛЛИЗИИ, ТЕХНИЧЕСКИЕ КОЛЛИЗИИ, ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РОСТ, СОЦИАЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ.

Key words: FIRE SAFETY, FIRE SAFETY RISK, REGULATORY REQUIREMENTS, TECHNICAL RULES, REGULATORY CONFLICTS, TECHNICAL CONFLICTS, ECONOMIC GROWTH, SOCIAL DEVELOPMENT.

Как в прошлом, так и в наши дни проблема обеспечения пожарной безопасности остается открытой. Изменился подход к данной проблеме. Введены критерии по определению применяемого уровня пожаробезопасности. В Российской Федерации наиболее всеохватывающей оценкой соответствия объектов защиты является федеральный государственный пожарный надзор. Данным надзором проводятся соответствующие проверки. Так согласно сведениям, изложенным на сайте со статистическими показателями МЧС России, за 2018 год проведено 39425 проверок в области пожарной безопасности, проведенных инспекторами пожарного надзора. По результатам проверок вручены предписания по 20980 объектам. Фактически на 53 % объектов пожарная безопасность надлежащим образом не обеспечивается [1].

Данная ситуация зачастую возникает по причине ненадлежащей деятельности организаций по обеспечению пожаробезопасности объектов. Вместе с тем ведут свою деятельность и добросовестные руководители, на пути которых возникают нормативно-технические коллизии при выполнении противопожарных норм и правил.

В связи с развитием в нашей стране технического регулирования и возможным выполнением ряда норм на добровольной основе, технические регламенты стали основополагающими требованиями [2, 3]. То есть фактически технические регламенты явились нормативно-правовыми актами с обязательными требованиями, своды правил и национальные стандарты – нормативные документы с добровольными положениями.

Данное обстоятельство позволило производителям и собственникам товаров и объектов быть более конкурентоспособными за счет возможности удовлетворения потребителей большей разнообразностью продукции. Безусловно, должно выполняться одно условие – условие безопасности. Техническое регулирование привело и к разнообразию форм оценок соответствия, и как следствие, к разнообразию критериев. Как правило, данные формы и критерии не взаимозаменяют, не исключают друг друга, а дополняют. Применение различных форм оценок

соответствия объекта защиты позволяет всесторонне рассмотреть и изучить объект, установить альтернативные, более эффективные решения, чем те которые изложены в нормах.

Несмотря на положительную тенденцию в нормативно-техническом регулировании, возник вопрос о необходимости выполнения требований, которые ранее были обязательными, а в настоящее время рекомендательными. В отношении таких объектов законодатель определил, что если техническим регламентом установлены более высокие требования, то возможно выполнение ранее установленных норм. В свою очередь, если проведен капитальный ремонт или реконструкция объекта, то необходимо выполнение современных действующих требований [2].

Так возник ряд вопросов, решение которых необходимо проводить безотлагательно. Возникшие вопросы фактически и являются коллизиями, в силу противоречий. Рассмотрим некоторые из них.

1. Как понять термин: «более высокие требования»?

К примеру, установка противоподымных дверей позволит задержать опасные факторы пожара. Вместе с этим, дополнительные двери будут являться дополнительными препятствиями эвакуации людей при возникновении пожара.

Также, с одной стороны размещение первичных огнетушащих средств является необходимым требованием пожаробезопасности, с другой стороны их применение увеличит время начала эвакуации, т.к. появляется риск самостоятельного применения огнетушителей. То же самое можно сказать про размещение в зданиях и сооружениях пожарных кранов.

2. Почему необходимо выполнение норм, которые применялись до вступления в силу технического регламента? Зачастую данные нормативные акты в настоящее время утратили силу, да и в самих нормах не определено их действие до или после начала деятельности объекта.

В соответствии с Конституцией Российской Федерации, имеющую наивысшую юридическую силу в стране, все граждане имеют право на труд в условиях, отвечающих требованиям безопасности [4]. В данной ситуации уровень обеспечения пожарной безопасности людей, находящихся в зданиях и сооружениях, введенных

в эксплуатацию до и после вступления в силу технического регламента по пожарной безопасности, не одинаков.

3. Особый вопрос возникает в том, что при проведении ремонта, капитального характера, на объекте применяются современные требования, установленные техническим регламентом в объеме работ, проведенного ремонта. Так при проведении капитального ремонта, в настоящее время, например, на 5-м этаже 10-ти этажного здания введенного в эксплуатацию до вступления в силу технического регламента по безопасности в области недопущения пожаров, то на 5-м этаже будут предъявляться требования пожаробезопасности, установленные техническим регламентом, для остальных этажей будут установлены требования, действующие до введения в действие соответствующего регламента.

Вместе с тем отсутствует однозначность к условию соответствия объекта требованиям безопасности в области пожарной безопасности. Так считается, что пожаробезопасность обеспечивается при выполнении одного из следующих двух условий:

1. Должен быть проведен комплекс мероприятий, изложенный в техническом регламенте, а также риски должны соответствовать минимально необходимым значениям.

2. По аналогии с вышеизложенным условием, при выполнении всех требований технического регламента. Вместе с этим должны быть выполнены мероприятия, приведенные в документах, являющихся нормативными по пожаробезопасности [2]. Как мы видим расчет пожарных рисков [5] приравнен к требованиям, изложенным в нормах. То есть речь идет о сопоставлении и приравнивании независимых друг от друга документов. Так в исходные данные по расчетам пожарных рисков входят далеко не все параметры, изложенные в нормативных документах. Для устранения данной коллизии в методику по определению расчетных величин пожарного риска необходимо внесены изменения в части тех фактов, которые позволят получить результаты с учетом проведенных расчетов риска, то есть данные работы необходимо учитывать в части объектов, которые рассматривались [5].

К данным вопросам можно добавить необходимость устранения противоречий, имеющих в нормативных актах, когда требования в одном документе отличаются от требований другого. Так, в соответствии с техническим регламентом о требованиях пожарной безопасности устанавливаются временные рамки прибытия пожарных подразделений в городских окру-

гах 10 минут, в сельских поселениях - 20 минут [3], что противоречит Конституции Российской Федерации, которая дает равное право на жизнь каждому человеку, независимо от места его проживания [4].

Другой пример, правила противопожарного режима в Российской Федерации категорически запрещают хранение баллонов с горючими газами в жилье [6]. Вместе с этим сводами правил по газораспределительным системам, хранение баллонов с газом в квартирах разрешается при определенных условиях [7].

Противоречия имеют место в законодательных актах Российской Федерации в части, касающейся реализации полномочий органами местного самоуправления по обеспечению пожарной безопасности на вверенной им территории. В соответствии с Федеральным законом Российской Федерации о выполнении органами местного самоуправления вопросов городского поселения относится к требованиям по обеспечению пожаробезопасности населения, являющихся первичными [8]. В свою очередь, регламентом, являющегося техническим в области обеспечения пожаробезопасности объектов к первичным мерам отнесено 9 мероприятий. Законодательством же по пожарной безопасности уменьшено количество первичных мер до 3-х [9].

Рассмотрев ряд нормативно-технических коллизий можно предложить следующую схему порядка их устранения (схема 1).

Согласно представленной схеме в целях устранения ранее рассмотренных нормативно-технических коллизий в области пожарной безопасности необходимо, чтобы требования национальных стандартов и сводов правил были сопоставимы с расчетной методикой по оценке пожарного риска. В свою очередь, связующим звеном между современными требованиями и требованиями, действующими до вступления в силу технического регламента о требованиях пожаробезопасности, предлагается проектно-сметная документация на объект защиты. Выполнение данной документации актуально по причине того, что она действует на всех этапах жизненного цикла объекта с учетом действующих норм в области пожарной безопасности, соответствующих текущему периоду времени. Актуальность проблемы устранения нормативно-технических коллизий очевидна и заключается в том, что при наличии противоречий не обеспечивается надлежащим образом безопасность людей, предоставленная им конституционным правом. Также требования пожарной безопасности в ряде случаев имеют не однозначную интерпретацию.



Схема 1 - Порядок устранения нормативно-технических коллизий в области пожарной безопасности
 Scheme 1 - Procedure for resolving regulatory and technical conflicts in the field of fire safety

Противоречия или неоднозначность требований могут быть неверно истолкованы и являться дополнительными нормативными барьерами при выполнении мероприятий по обеспечению пожарной безопасности людей.

Малоэффективные мероприятия приводят к дополнительным финансовым затратам. Особенно остро данная проблема стоит перед добросовестными организациями, которые готовы проводить весь необходимый комплекс противопожарных мероприятий. Они заинтересованы в выполнении всех актуальных для их объектов требований, которые установлены соответствующими нормами по пожарной безопасности, действующие на территории Российской Федерации.

Собственники объектов, которые нарушают противопожарные требования, не заботятся об обеспечении безопасности своих работников. Не добросовестные организации не заинтересованы в актуальности норм, в силу своей неисполнительности и низкой культуры безопасности.

Предприятия, нарушающие нормы в области пожарной безопасности, не заботившиеся о безопасности своих работников, не заинтересованы в актуальности норм в силу их неисполнения.

Сложившаяся ситуация приводит не только к неравным социальным правам граждан, обусловленным различными подходами рабо-

дателей к безопасности своих работников, но и экономически не равным условиям деятельности предприятий. Организации готовы в разной степени выполнять требования по пожарной безопасности в зависимости от социальной грамотности собственников предприятий. Это указывает на неравную конкурентоспособность организаций. Добросовестные предприятия несут дополнительные убытки, затрачиваемые на противопожарные мероприятия, которые при возникновении пожара не дадут необходимый эффект. Препятствия на пути развития отдельных предприятий послужит задержкой развития Российской Федерации в целом.

С учетом того, что Российская Федерация вошла во всемирную торговую организацию (ВТО) и выбрала путь развития малого и среднего предпринимательства, потребность в выполнении международных законов и норм, на основе которых внедрено техническое регулирование, в том числе по выполнению требований в области пожарной безопасности [1]. Техническое регулирование позволяет разработать максимально эффективные, в том числе отсутствующие в нормах, мероприятия по обеспечению пожарной безопасности населения. С учетом развития технического регулирования безусловное выполнение добровольных норм не требуется, то есть нормативные документы, в настоящее время, выполняются на необязательной основе.

На пути развития предпринимательства

в России нормативно-технические коллизии устанавливают дополнительные административные барьеры. Неоднозначность, двоякость и противоречивость норм позволяют их интерпретировать инспекторам по пожарному надзору, осуществляющих контроль за выполнением соответствующих требований в контролируемой области, на свое усмотрение, в зависимости от удобства для себя их применения, что уже при-

водит к коррупционной составляющей.

С учетом вышеизложенного нельзя недооценивать гармонизацию выполнения существующих требований по пожаробезопасности. Устранение нормативно-технических коллизий в современных условиях является основополагающей задачей, решение которой необходимо для дальнейшего развития Российской Федерации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Статистические данные о пожарах (загораниях) и последствиях от них в Российской Федерации за 2018 год [Электронный ресурс]: URL: <http://zvezdny.permarea.ru/Novosti/Novosti/2019/02/01/194648/> (дата обращения: 25.03.2019).
2. Об общих принципах организации законодательных (представительных) и исполнительных органов государственной власти субъектов Российской Федерации [Электронный ресурс]: Федеральный закон Российской Федерации от 06.10.1999 № 184-ФЗ (ред. от 06.02.2019). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_14058/ (дата обращения: 25.03.2019).
3. Российская Федерация. Законы. Федеральный закон РФ от 22.07.08г. (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. Конституция Российской Федерации: Принята всенародным голосованием 12 декабря 1993 г. // Собрание законодательства РФ. — 2014. — № 31. — Ст. 4398.
5. Методика определения расчётных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности (Приложение к Приказу МЧС России от 30.06.2009 № 382)
6. О противопожарном режиме [Электронный ресурс]: Постановление Правительства Российской Федерации от 25.04.2012 № 390 (ред. от 30.12.2017). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_129263/ (дата обращения: 25.03.2019).
7. Газораспределительные системы [Электронный ресурс]: СП 62.13330.2011*. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200084535> (дата обращения: 25.03.2019).
8. Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации [Электронный ресурс]: Федеральный закон Российской Федерации от 06.10.2003 № 131-ФЗ (ред. от 06.02.2019). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_44571/ (дата обращения: 25.03.2019).
9. О пожарной безопасности [Электронный ресурс]: Федеральный закон Российской Федерации от 21.12.1994 № 69-ФЗ (ред. от 29.07.2017). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5438/ (дата обращения: 25.03.2019).

REFERENCES

1. Statisticheskie dannye o pozharakh (zagoraniakh) i posledstviakh ot nikh v Rossiiskoi Federatsii za 2018 god [Statistical data on fires (ignitions) and consequences from them in the Russian Federation for 2018]. Retrieved from: <http://zvezdny.permarea.ru/Novosti/Novosti/> [in Russian].
2. Ob obshchikh printsipakh organizatsii zakonodatelnykh (predstavitelnykh) i ispolnitelnykh organov gosudarstvennoy vlasti subiektov Rossiiskoi Federatsii [On the general principles of the organization of legislative (representative) and executive bodies of state power of the constituent entities of the Russian Federation]. Federalny zakon Rossiiskoi Federatsii ot 06.10.1999 № 184-FZ (red. ot 06.02.2019) [Federal Law of the Russian Federation of 06.10.1999 No. 184-FZ (as amended on 02/06/2019)]. Retrieved from: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_14058/ [in Russian].
3. Rossiiskaia Federatsia. Zakony. Federalnyi zakon RF ot 22.07.08g. (red. ot 23.06.2014) № 123-FZ «Tekhnicheskii reglament o trebovaniakh pozharnoi bezopasnosti» [Russian Federation. Laws. Federal Law of the Russian Federation of July 22, 2008 (as amended on June 23, 2014) No. 123-FZ "Technical regulation on fire safety requirements". Moscow: Sbornie zakonodatelstva RF - The Russian Federation legislation collection, 2008, 30, part 1, 3579 [in Russian].
4. Konstitutsia Rossiiskoi Federatsii: Priziata vsenarodnym golosovaniem 12 dekabria 1993 g. [Constitution of the Russian Federation: Adopted by popular vote on December 12, 1993]. Sbornie zakonodatelstva RF - The Russian Federation legislation collection, 2014, 31, 4398 [in Russian].
5. Metodika opredelenia raschiotnykh velichin pozharnogo riska v zdaniakh, sooruzheniakh i stroeniakh razlichnykh klassov funktsionalnoi pozharnoi opasnosti (Prilozhenie k Prikazu MCHS Rossii ot 30.06.2009 № 382) [Methodology for determining the calculated values of fire risk in buildings and structures of functional fire hazard various classes (Appendix to the Order of the Ministry of Emergencies of Russia dated 30.06.2009 No. 382) [in Russian].
6. O protivopozharnom rezhime [On the fire regime]. Postanovlenie Pravitelstva Rossiiskoi Federatsii ot 25.04.2012 № 390 (red. ot 30.12.2017) - Decree of the Government of the Russian Federation of 04.25.2012 No. 390 (as amended on 12.30.2017). Retrieved from: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_129263/ [in Russian].
7. Gazoraspredeletelnyie sistemy [Gas distribution systems]. SP 62.13330.2011. Retrieved from: <http://docs.cntd.ru/document/1200084535> [in Russian].
8. Ob obshchikh printsipakh organizatsii mestnogo samoupravleniya v Rossiiskoi Federatsii [About the general principles of local self-government organization in the Russian Federation]. Federalnyi zakon Rossiiskoj Federatsii ot 06.10.2003

- № 131-FZ (red. of 06.02.2019) - Federal Law of the Russian Federation dated 06.10.2003 No. 131-FZ (as amended on 02/06/2019). Retrieved from: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_44571/ [in Russian].
9. О пожарной безопасности [On Fire safety]. Federalnyi zakon Rossiiskoj Federatsii ot 21.12.1994 № 69-FZ (red. of 29.07.2017) - Federal Law of the Russian Federation dated 21.12.1994 No. 69-FZ (as amended on 29.07.2017). Retrieved from: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5438/ [in Russian].

GaSense V

Портативный газоанализатор

Датчики
Цифровые оптические и аналоговые датчики с низким энергопотреблением и высокой точностью измерения

Индикация
Высококонтрастный LCD дисплей

Управление
Рельефная силиконовая клавиатура, большие удобные кнопки

Док-станция
Заряд аккумуляторной батареи и передача данных на компьютер

Силиконовый чехол

CardioLight
Интеллектуальная система оповещения о состоянии атмосферы

Время работы без подзарядки
до 150 часов

Запись результатов измерений в энергонезависимую память

Надежное и удобное крепление

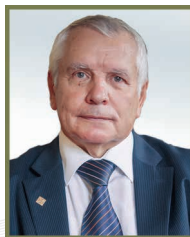
Звуковая сигнализация при превышении ПДК

indsafe.ru



В. М. Тарасов // V. M. Tarasov
rivalsit@yandex.ru

генеральный директор ООО «Ривальс
Современные инновационные
технологии», г. Кемерово
General Director of LLC "Rivals Modern
innovative technologies", Kemerovo



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

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

УДК 622.6;331.461

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ УСТРОЙСТВ В ШАХТЕ

INCREASED RELIABILITY SAFE USE OF LIFTING DEVICES IN THE MINE

Рассматриваются гидроподъемники в шахте на подвесном монорельсовом транспорте во взаимодействии с тяговым устройством-дизелевозом и монорельсовой балкой, их работу включая законы механики для подъемного устройства, сооружения (грузоподъемных машин (устройств)). Гидроподъемники в шахте не должны являться грузовой тележкой, транспортным средством как на автомобильном транспорте, так как груз находится под монорельсовыми каретками и гидроподъемниками.

Доказывается, что в действующей схеме подъема и перемещения груза гидроподъемниками на подвесном монорельсовом транспорте в шахтах отсутствует центр тяжести груза, что не влияет положительно на поступательное динамическое плоскопараллельное движение качения, построение плана мгновенного центра скорости на движение качения, где происходит движение волочение плюс плужение, происходит пробуксовка рабочих колес, вулканов, обретение тяговой установкой угловой скорости до линии центра тяжести груза, присутствие процесса вспахивания основной плоскости, нерациональные эксплуатационные затраты. В предлагаемом инновационном способе наличие мгновенных центров скоростей и положительное влияние центра тяжести груза и его модулей, при предлагаемом способе обвязки, строповки, подъема и перемещении груза более эффективен и безопасен для ведения работ.

Hydraulic lifts in the mine on suspended monorail transport in interaction with the traction device-diesel and monorail beam, their work including the laws of mechanics for lifting devices, structures (lifting machines (devices)) are considered. Hydraulic lifts in the mine should not be a truck, a vehicle as in road transport, as the cargo is under the monorail carriages and hydraulic lifts.

It is proved that in the current scheme of lifting and moving the load by hydro-lifts on suspended monorail transport in the mines there is no center of gravity of the load, which does not positively affect the translational dynamic plane-parallel rolling motion, the construction of the plan of the instantaneous center of speed on the rolling motion, where the movement of dragging plus plowing occurs, there is a slip of the impellers, the acquisition of the traction unit angular velocity to the line of the center of gravity of the load, the presence of the process of plowing the main plane, irrational operating costs. In the proposed innovative method, the presence of instantaneous centers of speed and the positive influence of the center of gravity of the GRU-z and its modules, with the proposed method of strapping, slinging, lifting and moving the load, is more effective and safe for work.

Ключевые слова: ГИДРОПОДЪЕМНИК, СТРОПОВКА, ПОДЪЕМ И ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ГРУЗА, МГНОВЕННЫЙ ЦЕНТР СКОРОСТИ, ЦЕНТР ТЯЖЕСТИ ГРУЗА, ЭФФЕКТИВНОСТЬ, НАДЕЖНОСТЬ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ.

Key words: HYDRAULIC LIFT, SLINGING, LIFTING AND MOVING THE LOAD, THE INSTANTANEOUS CENTRE OF VELOCITY, THE CENTER OF GRAVITY OF THE LOAD, EFFICIENCY, RELIABILITY, SECURITY.

При транспортировке людей и грузов подвесным монорельсовым транспортом в шахтах продолжают происходить аварии, травмы различной

степени тяжести в результате падения дизель-гидравлического локомотива на почву горной выработки.

Исследованием установлено, что причина

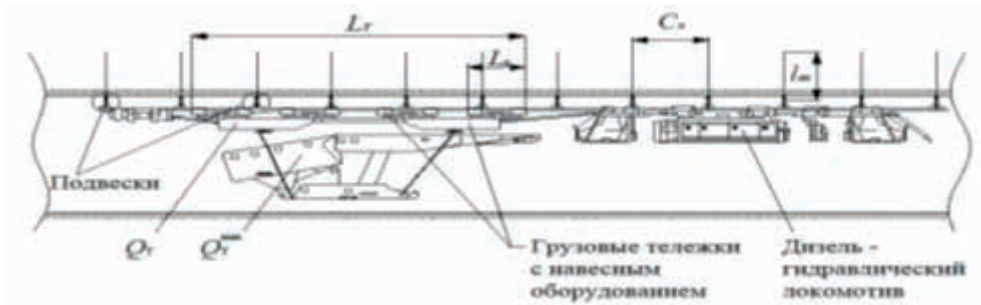


Рисунок 1. Действующая схема (способ) подвески груза грузоподъемным устройством (гидроподъемниками)
 Figure 1. The current scheme (method) of suspension of cargo by a lifting device (hydraulic lifts)

деформирования рамы крепления гидромотора состоит в следующем: груз, подвешенный на две грузовые тележки с подъемным механизмом (на два гидроподъемника), не учитывает центр тяжести поднимаемого груза и расположение грузоподъемной силы гидроподъемника. Центр тяжести располагается между двумя грузовыми тележками (гидроподъемниками), а массу груза распределяют равномерно на четыре, а иногда и на восемь монорельсовых кареток грузовых тележек (гидроподъемников). Угол между тяговыми цепями гидроподъемника и траверсами составляет 180 градусов и более (рис. 1), что категорически запрещено Правилами стропального дела. Критическим считается угол 120 градусов. При организации технологических работ грузоподъемного устройства (гидроподъемников) на подвесном монорельсовом транспорте в шахте Правила стропального дела не учитывают вообще (рис. 1).

Рассматривая движение качения в шахте можно констатировать факт, что мгновенный центр скорости (МЦС) отсутствует. При плоскопараллельном движении качения, обязательным условием является – груз и центр груза находятся на днище платформы тележки сверху на верхней параллельной

плоскости, которая в свою очередь расположена параллельно основной плоскости. Например, это верхняя плоскость дороги, верхние плоскости головок рельс или внутренние нижние полки двутавровой монорельсовой балки.

Платформы тележки кузова опираются на оси, а оси на ступицы, ступицы на колеса. Происходит движение качения во взаимодействии с наружным диаметром колеса и основной плоскопараллельной поверхностью – дорогой.

Плоскопараллельное движение качения – это обязательное условие наличия МЦС в точке Р контакта с дорогой, что характеризует само качение[1]. Составим план МЦС (рис. 2).

Рассмотрим плоскопараллельное движение качения роликоопор, отдельно взятой каретки на подвесном монорельсовом транспорте без груза (рис. 3).

Из рис. 3 видно, что в точке Р происходит качение роликоопор, которое характеризуется наличием МЦС в этой точке по монорельсовой балке с плоскопараллельным движением каретки.

На практике встречается еще такое движение, как плоскопараллельное движение вползание плюс плужение.

Рассмотрим основной вопрос

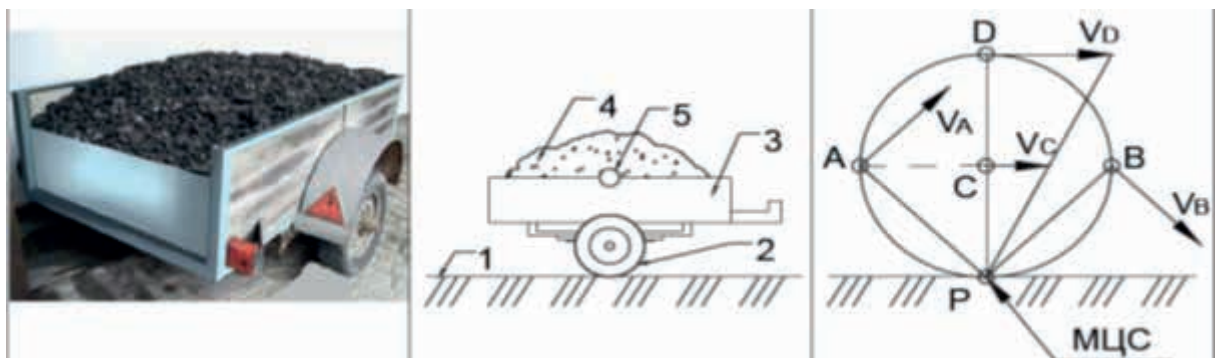


Рисунок 2. Прицеп, груженный углем: 1 - дорога; 2 - колеса; 3 - прицеп; 4 - груз; 5 - центр тяжести груза; план построения МЦС способом 1.
 Figure 2. Trailer loaded with coal: 1 - road; 2 - wheels; 3 - trailer; 4 - cargo; 5 - the center of gravity of the cargo; MDC construction plan by method 1.

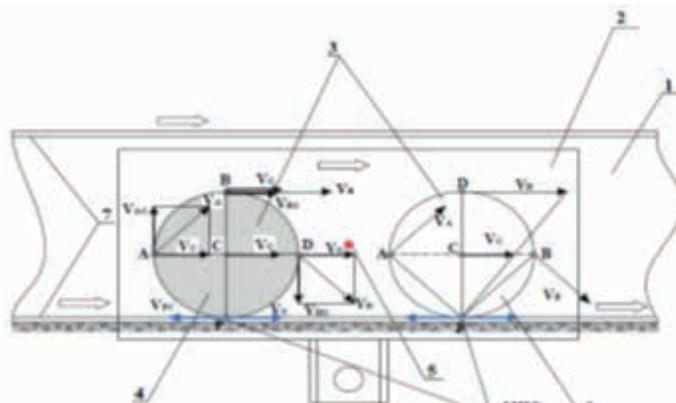


Рисунок 3. Схема монорельсовой каретки на подвешном монорельсовом транспорте без груза: 1 - монорельсовая балка; 2 - монорельсовая каретка; 3 - роликоопоры; 4 – способ 2 нахождения МЦС на левой роликоопоре; 5 – центр тяжести монорельсовой каретки; 6 – способ 1 нахождения МЦС на правой роликоопоре
 Figure 3. Diagram of a monorail carriage on a suspended monorail transport without cargo: 1 - monorail beam; 2 - monorail carriage; 3 - roller bearings; 4 - method 2 of finding the MCC on the left roller support; 5 - the center of gravity of the monorail carriage; 6 - method 1 of finding the MCC on the right roller support

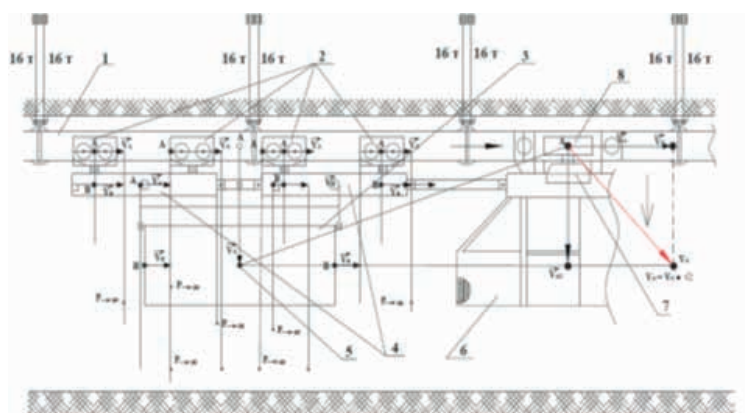


Рисунок 4. План определения мгновенного центра скоростей, где МЦС отсутствует, тяговые силы стремятся попасть на линию центра тяжести перевозимого груза: 1 – трасса подвешной монорельсовой балки; 2 – монорельсовые каретки; 3 – груз; 4 – гидроподъемники; 5 – центр тяжести груза; 6 – дизелевоз; 7 – гидродвигатель; 8 – рабочее колесо, вулкан
 Figure 4. Plan for determining the instantaneous center of speeds, where there is no MTS, traction forces tend to get to the center of gravity line of the transported cargo: 1 - track of the suspended monorail beam; 2 - monorail carriages; 3 - cargo; 4 - hydraulic lifts; 5 - the center of gravity of the cargo; 6 - diesel locomotive; 7 - hydraulic motor; 8 - impeller, volcano

по перемещению груза с помощью гидроподъемников и дизелевоза на подвешном монорельсовом транспорте в шахте.

В действующей конструкции гидроподъемников центр тяжести ниже самой монорельсовой балки и ее основных плоскостей. Тяговая сила дизелевоза находится в вертикальной плоскости к основным плоскостям монорельсовой балки. Равнодействующий перпендикулярный вектор VA от точки A соприкосновения силы тяги E и монорельсовой балки, действующей вдоль балки по направлению движения вектора скорости V с откладыванием вектора VA до линии поступательного движения центра тяжести груза, который находится под монорельсовой дорогой. Параллельно вектору плужения AB , который откладывается от точки соприкосновения роликоопор монорельсовых кареток и внутренней поверхности нижней полки двутавровой моно-

рельсовой балки, где не происходит качение, а происходит движение волочение (рис.4), плане определения МЦС, лежащей в точке P , стремится к бесконечности, что доказывает отсутствие качения.

Проведенными расчетами установлено, что при подъеме груза на наклонной горной выработке теряется до 55% мощности двигателя на плужение и волочение. В схеме работы (рис.4) присутствует поступательное прямолинейное движение – происходит волочение четырех монорельсовых кареток, в которых на роликоопорах отсутствует вращение, и двух гидроподъемников, между которыми снизу подвешенный груз (не поднятый и зафиксированный в пространстве, а подвешенный) в двух точках – это на соединительных пальцах, коромыслах и рабочих траверсах, а траверсы стали одно целое с грузом. Так сегодня подвешивают груз в шахтах.

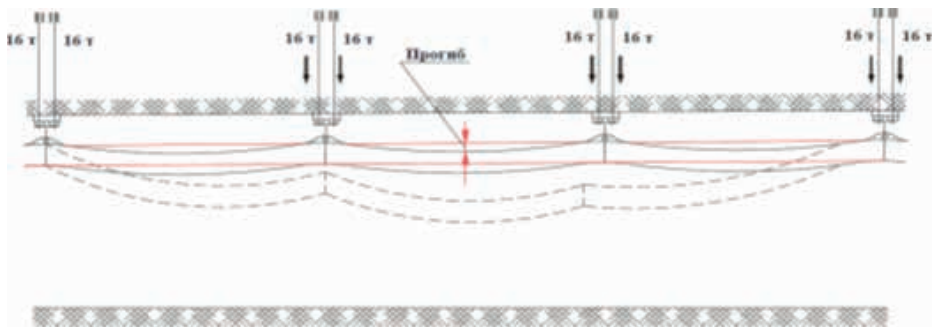


Рисунок 5. Отрыв анкерной крепи подвески монорельсовой балки, прогиб, деформация монорельсовой балки, аварийное положение

Figure 5. Detachment of the anchor support of the monorail suspension, deflection, deformation of the monorail, emergency situation

И к ним же прикладывается тяговая сила дизелевоза, которая приложена в точках соприкосновения рабочих колес (вулканов) гидродвигателей далеко впереди от груза. При этом груз находится внизу, под дорогой, и МЦС в точке Р отсутствует [1].

Таким образом, при волочении присутствует и плужение, где дизелевоз стремится попасть на одну линию нахождения центра тяжести груза, так как будто бы груз волочили по почве с помощью любой тяговой установки, где центр тяжести груза и силы тяговой установки находятся на одной линии в одной плоскости [1]. Или плуг с тяговой установкой в одной плоскости, а сам лемех внизу под этой плоскостью.

Под действием этих сил происходит изгиб балки (рис. 5), отрыв анкерной системы подвеса монорельсовой дороги, поломки стрелочных переводов, колоссальный износ роlikоопор, приводных колес (вулканов), создается ава-

рийная ситуация, увеличивается риск травмирования работников.

Учитывая это предлагается новый инновационный способ строповки и перемещения грузов [2,3,4], где гидродъемники являются грузоподъемным и несущим органом, а дизелевоз – это тяговая установка и только.

Рассмотрим предлагаемый способ перевозки груза на подвесном монорельсовом транспорте с учетом положения центра тяжести груза, а также наличием МЦС и плоскопараллельного движения твердого тела.

Предлагаемый способ строповки груза в горных выработках на подвесном монорельсовом транспорте обуславливает один гидродъемник – одна единица перевозимого груза или два гидродъемника и две единицы перевозимого груза. Построим план МЦС в точках Р и направления мгновенно поступательного плоскопараллельного движения и рассмотрим

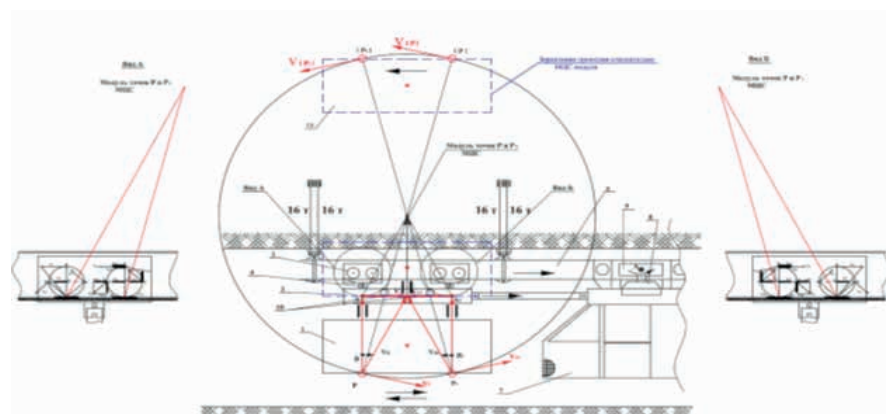


Рисунок 6. Определение плана МЦС предлагаемого инновационного способа перевозки груза на подвесном монорельсовом транспорте в шахте, в роlikоопорах качение присутствует, МЦС схемы существует, где 1 – груз; 2 – гидродъемник; 3 – монорельсовая каретка с роlikоопорами; 4 – спаренный шарнир; 5 – монорельсовая балка; 6 – модуль груза; 7 – дизелевоз; 8 – гидродвигатель; 9 – рабочее колесо, вулкан; 10 – уравнивательные блочки на вспомогательных и рабочей траверсах; 11 – модуль груза; вид А – левая монорельсовая каретка; вид Б – правая монорельсовая каретка

Figure 6. Definition of the MDC plan of the proposed innovative method of cargo transportation by monorail suspended transport in the mine, rolling is present in the roller bearings, the MDC scheme exists, where 1 is the load; 2 - hydraulic lift; 3 - monorail carriage with roller bearings; 4 - twin hinge; 5 - monorail beam; 6 - cargo module; 7 - diesel locomotive; 8 - hydraulic motor; 9 - impeller, volcano; 10 - leveling blocks on auxiliary and working traverses; 11 - cargo module; view A - left monorail carriage; view B - right monorail carriage

воздействие тяговой установки дизелевоза на всю гидроподъемную перемещающую систему, включая сам груз и его центр тяжести (рис. 6).

В предлагаемом способе грузоподъемную силу располагают над центром тяжести груза, стропуют в 4-х местах с помощью уравнивательных блочков и 4-мя спаренными ветвевыми стропами. Груз поднимают одновременно. Как только груз оторвался от почвы, вся силовая составляющая сконцентрируется в одной точке.

При осуществлении подъема на поверхности от этой точки располагали бы четыре стропы одинаковой длины в виде пирамиды и в эту точку приложили подъемную силу подъемного крана, расположенную над центром тяжести, но в шахте невозможно пользоваться подъемным краном.

Благодаря модернизации способа строповки груза гидроподъемников с навесным оборудованием по технологии патента [2] осуществляется подъем и перемещение груза в стесненных условиях горной выработки. Переход на высокие критерии надежности системы безопасности и повышения производительности труда позволяет:

1. Снизить уровень аварийности и травматизма при доставке людей и транспортировке грузов подвесным монорельсовым транспортом в шахтах;

2. За счет снижения нагрузки в три раза на монорельсовую балку возможно избежать прогибов монорельсовой балки, отрыва анкеров, анкерного крепления, разрушение крепления горной выработки и негативных последствий динамических ударов;

3. Монорельсовые грузовые каретки гидроподъемников – основное оборудование подъемного сооружения. Разгрузив в три раза монорельсовые каретки каждого гидроподъемника, исключается интенсивный износ роликотпор;

4. Гидроподъемники при использовании и эксплуатации способа строповки и перемещения груза в горных выработках по патенту [2] с учетом центра тяжести груза и одновременного подъема грузов дают возможность:

- в 12 раз снизить нагрузку на все механизмы и устройства самих гидроподъемников, строп, траверс, коромысел, крюков;

- увеличить в три раза грузоподъемность и в два раза грузопоток.

Использовать гидроподъемники как грузоподъемное гидравлическое устройство, грузоподъемное устройство, а не как транспортную тележку.

5. Технология позволяет избавиться от вектора плужения;

6. Дизель-гидравлический локомотив – тяговый орган, такой же, как лебедка

подъемного сооружения: обеспечивает увеличение мощности дизель-гидравлического локомотива на 41,4 % на горизонтальных выработках по прямолинейному движению горной выработки и на 55,2 % при подъеме по горной выработке 15 град; позволит избежать перегрузок, перегрева и колоссального износа поршневой группы двигателя, динамических ударов, повышенного износа приводных колес (вулканов), всей гидросистемы дизель-гидравлических локомотивов; увеличится эффективность работы монорельсовой балки (дороги) с грузоподъемными устройствами (гидроподъемниками);

7. Технология позволит произвести плавный поворот по радиусу изгиба монорельса, в результате исключается поломка стрелочных переводов;

8. Экономить средства и время. Годовой экономический эффект на один дизель-гидравлический локомотив и два гидроподъемника по эксплуатационным затратам без учета стоимости монтажа/демонтажа комплексов механизированной крепи и забойного оборудования и стоимости дизель-гидравлического локомотива составит 19 млн. 660 тыс. руб. (эксплуатационные затраты, материальные ресурсы, ГСМ, затраты на СИЗ). Для Кузбасских шахт в год 5,5 млрд. руб. – экономия по запчастям, ГСМ. Добавьте к этому экономию финансовых средств от остановок производственных работ, убытки от аварий, травм, простоев, стоимости дизелей, которые приходится закупать гораздо чаще из-за не рационального использования, стоимости монорельсовой балки, которую чаще необходимо ремонтировать, усиливать, а также сумма штрафов, выписываемых контрольно-надзорными органами и т.п.

9. Не требуются дополнительные конструктивные изменения внутренней конструкции гидравлических подъемников (гидроподъемников, грузоподъемных устройств), дизель-гидравлических локомотивов и монорельсовой балки.

Таким образом, необходимо кардинально менять организационно-технологическую систему по подъему и перевозке груза в горных выработках на подвесном монорельсовом транспорте, исходя из уменьшения сопротивления при транспортировке груза, используя законы физики, теоретической механики, стропального дела, законов качения и плоскопараллельного движения, инновационные технологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клебанов Я. М., Черняховская Л. Б., Шабанов Л. А. Плоскопараллельное движение твердого тела. / Самара, – 2008. – 26. – С. 1-10.
2. Тарасов В. М., Тарасова А. В., Тарасов Д. В. Пат. 2333880 РФ. МПК В66С 1/12 (2006.01). Способ строповки грузов в горной выработке. Патентообладатель Тарасов В. М. № 2007130250/11; заявл. 07.08.2007; опубл. 20.09.2008, бюллетень № 26. – 10 с.
3. Тарасов В. М., Тарасова А. В., Тарасов Д. В. Тарасова Н. И. Пат. 2480396 РФ. МПК В66С 1/12 (2006.01). Монтажно-демонтажный способ строповки и транспортировки лавного конвейера в горной выработке. 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.
4. Модернизация гидropодъемников на подвесном монорельсовом транспорте / В. М. Тарасов [и др.] //Биржа интеллектуальной собственности. – 2015. – № 5. – С. 57-64.

REFERENCES

1. Klebanov Ya. M., Chernyakhovskaya L. B., Shabanov L. A. plane-Parallel motion of a solid body. / Samara, – 2008. – 26. – P. 1-10.
2. Tarasov V. M., Tarasova A.V., Tarasov D. V. Pat. 2333880 of the Russian Federation. IASC B66C 1/12 (2006.01). Method of slinging loads in mines. Patent holder Tarasov V. M. № 2007130250/11; application. 07.08.2007; publ. 20.09.2008, Bulletin No. 26. – 10 PP.
3. Tarasov V. M., Tarasov A.V., Tarasov, D. V. Tarasov, N. I. Pat. 2480396 of the Russian Federation. IASC B66C 1/12 (2006.01). Installation and dismantling method of slinging and transportation of lava conveyor in mining. Patent Tarasov V. M., the Society with limited liability "Rivals Modern Innovative Technology" (LLC "Rivulet"). No. 2011148728/11; application. 29.11.2011; publ. 27.04.2013, Bulletin No. 12. – 10 PP.
4. Modernization of hydraulic lifts on suspended monorail transport / V. M. Tarasov [et al.] //intellectual property Exchange. – 2015. – № 5. – P. 57-64.

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



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

канд. техн. наук, старший научный сотрудник, ИУ ФИЦ УУХ СО РАН. Россия, 650065 г Кемерово, пр Ленинградский, 10

candidate of technical sciences, senior researcher, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry Institute of Coal, 10 Leningradsky Prospect, Kemerovo, 650065, Russian Federation



Р.И. Родин //
R.I. Rodin
rodinri@mail.ru

научный сотрудник, Институт угля Федерального исследовательского центра угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук (ИУ ФИЦ УУХ СО РАН); Россия, 650065, г Кемерово, проспект Ленинградский, 10
Researcher, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry Institute of Coal, 10 Leningradsky Prospect, Kemerovo, 650065, Russian Federation

УДК УДК 622.817.4

ГАЗОНОСНОСТЬ ПРИЗАБОЙНОЙ ЧАСТИ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА ПРИ РАБОТЕ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОГО ВЫЕМОЧНОГО УЧАСТКА

GAS CONTENT OF A COAL SEAM FACE AREA DURING THE HIGH-PERFORMANCE EXTRACTION SECTION OPERATION

В статье предлагается определять газоносность пласта в зависимости от нормальных напряжений. Приводятся расчетные данные напряжений в краевой части угольного пласта, отрабатываемого длинным очистным забоем, а также представлены соответствующие значения газоносности призабойной части пласта, что подтверждается отбором проб угля в лаве и их обработкой. Показано, что при движении длинного очистного забоя газоносность отбиваемой полосы угля ниже газоносности пласта в нетронутом горными работами массиве. Снижение напряжений в пласте вызывает его дегазацию. Причем, снижение напряжений начинается на расстоянии равном половине длины лавы, что определено по схеме структуризации подработанного массива горных пород. За счет этого газоносность в отбиваемой полосе угля ниже природной, указанной на планах горных работ, на 10-30 %. Величина снижения газоносности зависит от геолого-технологических условий отработки.

The article proposes to determine the seam gas content depending on normal stresses. Estimated stresses in the edge of the coal seam, which is worked out by long extraction face, as well as the corresponding values of the gas content of the seam face area, which is confirmed by the coal samples' selection in the longwall and their processing. It is shown that during the advance movement of a long working face, the gas content of the beaten coal strip is lower than the gas content of the seam in rock massif untouched by mining operations. The decrease in stress in the seam causes its degassing. Moreover, stress reduction begins at a distance equal to half of the longwall length, which is determined by the structured pattern of the undermined rock mass. Due to this, the gas content in the crushed coal strip is lower than natural, indicated on mining plans by 10-30%. The magnitude of the reduction in gas content depends on the geological and technological conditions of mining.

Ключевые слова: ГАЗОНОСНОСТЬ, ПРОГНОЗ, ГЕОМЕХАНИКА, СДВИЖЕНИЯ, ОСТАТОЧНАЯ ГАЗОНОСНОСТЬ УГЛЯ

Key words: GAS CONTENT, FORECAST, GEOMECHANICS, DISPLACEMENTS, RESIDUAL COAL GAS CONTENT

Введение

В последние десятилетия объёмы добычи угля вышли на новый уровень. Зачастую выемочные участки работают с нагрузкой 25 тыс. тонн в сутки и более. В таких условиях основным источником метановыделения становится отбиваемый и транспортируемый уголь. Если метан выработанного пространства может быть изолированно выведен на поверхность средствами вентиляции и дегазации, то газ отработываемого пласта реализуется непосредственно в забое и транспортных выработках. Его весьма трудно извлечь из пласта способами предварительной дегазации. Эти горнотехнологические особенности предъявляют повышенные требования к методам оценки газокинетических характеристик пласта угля с учетом изменений его свойств и состояний впереди движущегося очистного забоя. Адекватный прогноз газовыделения необходим для дальнейшего принятия точных решений по управлению выделениями газа, что невозможно без комплексной оценки состояния пласта, учитывающей связи газокинетических характеристик с геомеханическими процессами. Изучением всего многообразия процессов, возникающих в массиве при добыче угля, обеспечением безопасности труда на шахтах, занимаются многие ученые как в России, так и за рубежом.

Цели и задачи. Известно, что при скорости продвижения забоя лавы более 6 м/сут практически во всех горно-технологических условиях точка максимума опорного давления расположена почти у плоскости забоя [13]. В таком случае у пласта угля почти полностью отсутствует зона дренирования, где напряжения в пласте менее природной, и метановыделение через плоскость забоя не происходит. При отбойке угля весь содержащийся в нем газ выделяется в призабойное пространство и на конвейерный штрек при транспортировке угля. Поэтому при прогнозе метанообильности выемочного участка важно знать газоносность отбиваемой выемочной машиной полосы угля на текущий момент.

Методы. Из анализа литературных источников выявлено, что при отработке угольных пластов длинными очистными забоями с полным обрушением кровли геомеханический процесс связан не только с величиной отхода от монтажной камеры, но и с длиной лавы [14]. Известно о поднятии пород кровли впереди забоя лавы до 3 см [5]. При этом горным опытом и научными исследованиями установлено [16], что при подходе очистного забоя к пластовой скважине на расстояние, близкое половине длины забоя, де-

бит метана из скважины увеличивается. Без разгрузки пласта от горного давления этот эффект невозможен [17]. Известен и эффект перетока части метана из пласта в выработанное пространство, минуя призабойный объем. Можно сделать вывод, что за зоной опорного давления в пласте угля происходит разгрузка пласта от статического горного давления и формирование значительного давления газа. Это объясняется консольным изгибом слоев кровли при движении длинного очистного забоя, при условии отработки выемочного столба с полным обрушением. Для расчетов использовалось численное моделирование газогомеомеханических процессов на основании уточненных эмпирических зависимостей [18].

Результаты

В качестве экспериментального участка выбран выемочный участок 23-1-4 бис пласта 23 ООО «Шахта им. С.Д. Тихова». Глубина ведения горных работ в выемочном участке 23-1-4 бис – 120-224 м от дневной поверхности. Угольный пласт 23 относительно выдержанный, вынимаемая мощность пласта – 1,62 м. Природная газоносность – 10-17,5 м³/т с.б.м. Основная кровля пласта сложена песчаником мелкозернистым,

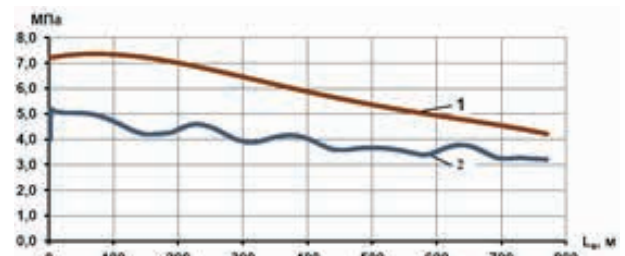


Рисунок 1. Напряжения в угольном пласте 1-природные напряжения в нетронутом массиве, 2 – напряжения в отбиваемой полосе угля.

Figure 1 - stresses in the coal seam in an rock massif untouched by mining operations, 1- natural stresses, 2 - stresses in the crushed coal strip

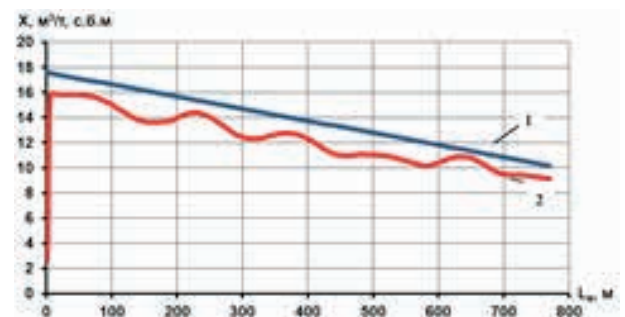


Рисунок 2. Газоносность пласта. 1-природная, указанная на плане горных работ, 2 – расчетная газоносность угля в отбиваемой полосе

Figure 2 – the seam gas content. 1 - natural, indicated on the mining plan, 2 - estimated coal gas content in the crushed strip

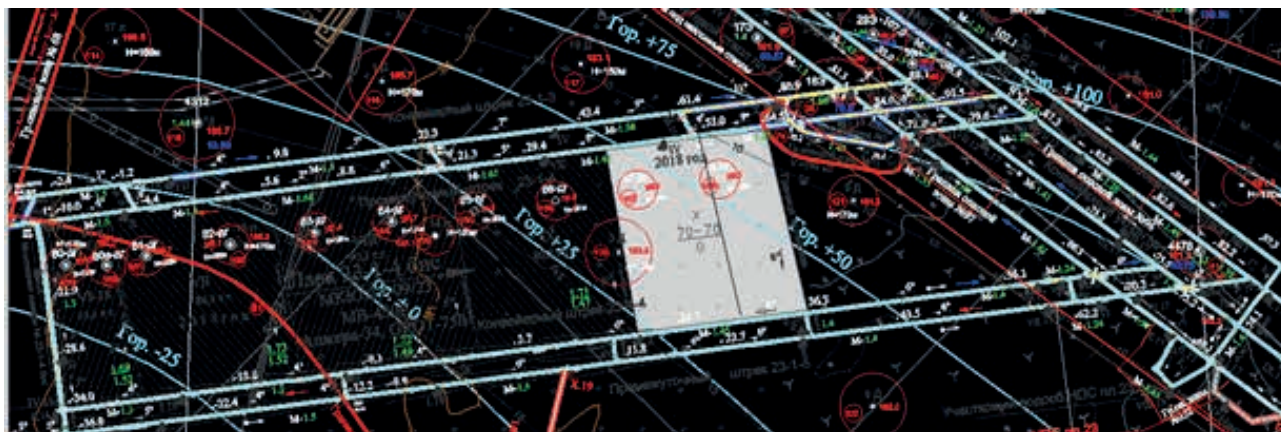


Рисунок 3. Выемочный участок 23-1-4бис на плане горных работ: ● – место отбора проб угля
 Figure 3 – Extraction section 23-1-4bis on the mining plan: ● – place of coal sampling

крепостью $f = 6-7$, и алевролитом крупнозернистым, крепостью до $f = 7$. Мощность основной кровли – до 15,0 м, в основном отнесена к среднеобрушаемой. Первичный шаг обрушения основной кровли – через 78 м подвигания лавы от монтажной камеры. Последующие шаги обрушения – через 31 м подвигания лавы.

С учетом вышеизложенных рассуждений рассчитаем величину действующих напряжений в краевой части пласта угля (рис.1). Видим, что действующие напряжения за точкой максимума опорного давления, а затем и в призабойной части на момент подхода забоя ниже геостатических. При таком снижении напряжений определим газоносность отбиваемой полосы угля (рис.2). Этот эффект и вызывает переток метана через породы кровли и увеличение дебита дегазационных скважин.

Для проверки предложенных зависимостей определения газоносности угля определим газосодержание краевой части пласта по спосо-

бу измерения газокинетических характеристик газоносных углей [19]. Пробы угля отбирались с лавного конвейера в 2 м от добычного комбайна и на расстоянии 550 м от монтажной камеры. Время герметизации проб изменялось от 7 минут до 23 минут. Отбор проб производился на сопряжении очистного забоя 23-1-4бис с конвейерным штреком 23-1-4 (рис.3). Место отбойки угля комбайном 20-25 в метрах от конвейерного штрека 23-1-4. Отбор проб выполнялся во вторую смену при отбойке угля, ширина стружки 0,8 м. Природная газоносность разрабатываемого пласта по плану горных работ в этом месте составляет 12 м³/т.

Природную газоносность пласта $X_{np,p}$ определяют согласно газового баланса

$$X_{np,p} = X_{герм} + X_{о.г} + Q_{уп}, \text{ м}^3/\text{т с.б.м.}, \quad (1)$$

где $X_{герм}$ – газоносность пробы на момент герметизации за вычетом остаточной газоносности, м³/т с.б.м.;

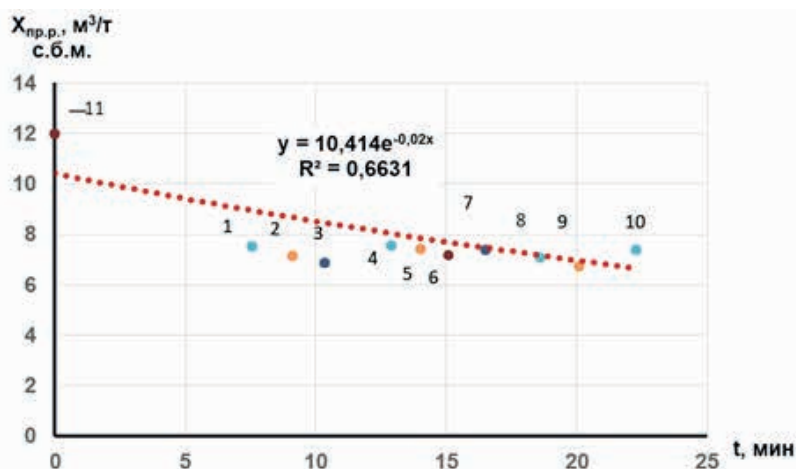


Рисунок 4. Остаточная газоносность проб угля
 1-10 – номера колб с пробами угля, 11- природная газоносность пласта угля
 Figure 4 - Residual gas content of coal samples
 1-10 - numbers of flasks with coal samples, 11- natural coal seam gas content

$X_{o,z}$ – остаточная газоносность угля при атмосферном давлении, м³/т с.б.м.;

$Q_{уп}$ – удельный объем метана, упущенного до момента герметизации пробы, м³/т с.б.м.

Газоносность пробы на момент герметизации определяют по замеренному при выпусках газа полному объему метана

$$X_{герм} = \frac{Q}{m_{с.б.м.}}, \text{ м}^3/\text{т с.б.м.} \quad (2)$$

где Q – объем метана при выпусках газа, м³;
 $m_{с.б.м.}$ – сухая беззольная масса пробы угля, т.

Упущенный газ рассчитывается по формуле (4)

$$Q_{уп} = X_{пр,0} - (X_{герм} + X_{o,z}), \text{ м}^3/\text{т} \quad (4)$$

На рис. 4 представлен результат аппроксимации данных проб по двум фракциям ($d = 5-10$ мм, d меньше 3 мм). Из графика видно, что значение газоносности в пробах угля составляет 10,4 м³/т с.б.м. Таким образом, это значение газоносности в отбиваемой полосе угля можно брать при расчете метановыделения на выемочном участке из пласта угля.

Заключение

Из изложенного можно сказать, что при работе высокопроизводительного выемочного

участка газосодержание угольного пласта в его призабойной части ниже природной газоносности, что обусловлено опережающей разгрузкой пласта за зоной опорного давления. Поскольку при высоких скоростях подвигания очистного забоя метановыделение на выемочный участок состоит преимущественно за счет выделения метана из отбитого и транспортируемого угля, необходимо учитывать эффект разгрузки и снижения газоносности отработываемого пласта при расчетах метанообильности. Это позволит более адекватно прогнозировать метанообильность, повысить производительность выемочного участка, обоснованно принимать решения по газоуправлению, исключить превышение предельно допустимых концентраций метана, вспышки и взрывы метановоздушной смеси.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Кемеровской области в рамках научного проекта № 18-45-420001 p_a

The study was carried out with the financial support of the Russian Federal Property Fund and the Kemerovo Region in the framework of the scientific project No. 18-45-420001 p_a

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шадрин А.В., Клишин В.И. Совершенствование методов автоматизированного прогноза опасности проявления динамических явлений в процессе разупрочнения кровли и профилактической гидрообработки угольных пластов // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. — 2017. — № 3. — С. 31 – 35.
2. Черданцев Н. В., Шадрин А. В. Расчет траектории движения одиночной трещины, расположенной в массиве горных пород, нагруженной давлением жидкости // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. — 2017. — № 4. — С. 18 – 26.
3. 3. Прогноз метановой опасности угольных шахт при интенсивной отработке угольных пластов / Н. М. Качурин, В. И. Клишин, А. М. Борщевич, А. Н. Качурин. Тула — Кемерово. — ТулГУ, 2013. — 220 с.
4. 4. Portola, Vyacheslav Alekseevich. Indirect Negative Influence of Coal Mine Motor Vehicles on the Environment [Electronic resource] / V. A. Portola, E. S. Torosyan, A. S. Kuznetsova // Applied Mechanics and Materials : Scientific Journal. — 2015. — Vol. 770: Urgent Problems of Up-to-Date Mechanical Engineering. — [P. 690-694]
5. 5. Shadrin, Y. Diyuk. Geophysical criterion of pre-outburst coal out squeezing from the face space into the working // International Journal of Mining Science and Technology. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2018.11.001>
6. 6. Полевщиков, Г.Я. Газокинетические особенности распада углеметана на конвейерном штреке выемочного участка / Г.Я. Полевщиков, М.В. Шинкевич, М.С. Плаксин // Горный информационно –аналитический бюллетень. – 2011, № 8. – С. 21 –28.
7. 7. Козырева Е. Н., Шинкевич М. В., Родин Р. И. Газокинетические следствия нелинейных геомеханических процессов в массиве горных пород на шахтах Кузбасса / В сборнике: Нелинейные геомеханико-геодинамические процессы при отработке месторождений полезных ископаемых на больших глубинах 2-я Российско-Китайская научная конференция. Отв. редактор: д.ф.-м.н. А.И.Чанышев. — 2012. — С. 267 – 272.
8. 8. Kormin A.N. Seismological survey of the coal fields based on the applying of the low-power sources of oscillation / Tailakov O.V., Sokolov S.V., Makeev M.P., Kormin A.N. // E3S Web of Conferences Electronic edition, 2018, №01029, pp. 1-5 (DOI: 10.1051/e3sconf/20184101029).
9. 9. Kormin A.N. Determination of geological conditions of gassy coal seams on the basis of seismic acoustic profiling in underground mine workings / Zastrelov D.N., Kormin A.N., Saltymakov E.A., Sokolov S.V., Taylakov

- O.V. // International Scientific Conference «Knowledge-based technologies in development and utilization of mineral resources», 5–8 June 2018, Novokuznetsk, Russian Federation, Volume 206, № 012046, pp. 1-6 (DOI:10.1088/1755-1315/206/1/012046).
10. 10. Water distribution characteristic and effect on methane adsorption capacity in shale clay / Li J., Li X., Wu K., Shi J., Yang L., Feng D., Zhang T., Yu P., Wang X., Li Y. // International Journal of Coal Geology. 2016. Т. 159. С. 135-154.
11. 11. Methane contents and coal-rank variability in the upper silesian coal basin, Poland / Kedzior S. // International Journal of Coal Geology. 2015. Т. 139. № 1. С. 152-164.
12. 12. Numerical modelling of microseismicity associated with longwall coal mining / Cao W., Shi J.-Q., Si G., Durucan S., Korre A. // International Journal of Coal Geology. 2018. Т. 193. С. 30- 45
13. 13. Мурашев, В.И. Разработка научных основ безопасного ведения горных работ в угольных шахтах на основе исследования геомеханических процессов: Автореферат дис. докт.техн.наук. – М., 1980. - 36 с.
14. 14. Шинкевич, М.В. Газовыделение из отработываемого пласта с учётом геомеханических процессов во вмещающем массиве [текст]/ М.В. Шинкевич // Горный информационно –аналитический бюллетень. – 2013, Отд. вып. № 6. – С. 278 –285
15. 15. Канлыбаева, Ж.М. Закономерности сдвижения горных пород в массиве / Ж.М. Канлыбаева. - Изд-во "Наука", 1968. – 108 с.
16. 16. Забурдяев, В. С. Обоснование способов и параметров извлечения метана при высокоинтенсивной отработке газоносных угольных пластов [Текст] : дис. ... докт. техн. наук / Забурдяев Виктор Семёнович. – М., 2007. – 350 с.
17. 17. Малышев, Ю.Н. Трубецкой К.Н., Айруни А.Т. Фундаментально-прикладные методы решения проблемы угольных пластов / Ю.Н. Малышев, К.Н. Трубецкой, А.Т. Айруни. – М.: ИАГН, 2000. – 519 с
18. 18. Шинкевич, М.В. Моделирование техногенной структуризации вмещающего массива горных пород при ведении очистных работ / М.В. Шинкевич, Е.В. Леонтьева // Вестник КузГТУ. – Кемерово, 2015 – № 3. – С. 23 – 31
19. 19. Полевщиков Г.Я., Козырева Е.Н., Рябцев А.А., Родин Р.И., Непейна Е.С., Цуран Е.М. / Оценка влияния напряжений на газоносность приконтурной части пласта // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2016. № 1. С. 16-24.

REFERENCES

1. Shadrin, A.V., & Klishin, V.I. (2017). Sovershenstvovanie metodov avtomatizirovannogo prognoza opasnosti proiavleniya dinamicheskikh yavleniy v processe razuprochneniya krovli i profilakticheskoi gidroobrabotki ugolnykh plastov [Improving the methods for dynamic phenomena danger automated prediction in the roof softening process and preventive hydrotreatment of coal seams]. Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugolnoi promyshlennosti – Herald of Safety in Mining Industry Scientific Center, 3,31-35 [in Russian].
2. Cherdantsev, N.V., & Shadrin, A.V. (2017). Raschet traektorii dvizheniya odinochnoi treshchiny, raspolozhennoi v massive gornykh porod, nagruzhennoi davleniem zhidkosti [Trajectory calculation of a single crack located in a rock mass, loaded with fluid pressure]. Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugolnoi promyshlennosti – Herald of Safety in Mining Industry Scientific Center, 4, 18-26 [in Russian].
3. Kachurin, N.M., Klishin, V.I., Borshchevich, A.M., & Kachurin, A.N. (2013). Prognoz metanovoi opasnosti ugolnykh shakht pri intensivnoi otrabotke ugolnykh plastov [Forecast of coal mines' methane hazard during intensive mining of coal seams]. Tula-Kemerovo: TulGU [in Russian].
4. Portola, Vyacheslav Alekseevich. Indirect Negative Influence of Coal Mine Motor Vehicles on the Environment [Electronic resource] / V. A. Portola, E. S. Torosyan, A. S. Kuznetsova // Applied Mechanics and Materials : Scientific Journal. — 2015. — Vol. 770: Urgent Problems of Up-to-Date Mechanical Engineering. — [P. 690-694]
5. Shadrin, Y. Diyuk. Geophysical criterion of pre-outburst coal pressing out from the face area into the working // International Journal of Mining Science and Technology. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2018.11.001>
6. Polevshchikov, G.Ya., Shinkevich, M.V., & Plaksin, M.S. (2011). Gazokineticheskie osobennosti raspada uglemetana na konveiernom shtreke vyemochnogo uchastka [Gas-kinetic features of coal-methane decomposition at the conveyor gallery of the extraction section]. Gorny informatsionno-analiticheskii bulleten – Mining Informational Analytical Bulletin, 8, 21-28 [in Russian].
7. Kozyreva, Ye.N., Shinkevich, M.V., & Rodin, R.I. (2012). Gazokineticheskie sledstvia nelineinykh geomekhanicheskikh protsessov v massive gornykh porod na shakhtakh Kuzbassa [Gas-kinetic consequences of nonlinear geomechanical processes in a rock mass at the mines of Kuzbass]. From collection: Nonlinear

- geomechanical-geodynamic processes in the development of mineral deposits at great depths. 2nd Russian-Chinese Scientific Conference, 267-272 [in Russian].
8. Kormin A.N. Seismological survey of the coal fields based on the applying of the low-power sources of oscillation / Tailakov O.V., Sokolov S.V., Makeev M.P., Kormin A.N. // E3S Web of Conferences Electronic edition, 2018, №01029, pp. 1-5 (DOI: 10.1051/e3sconf/20184101029).
 9. Kormin A.N. Determination of geological conditions of gassy coal seams on the basis of seismic acoustic profiling in underground mine workings / Zastrelov D.N., Kormin A.N., Saltymakov E.A., Sokolov S.V., Taylakov O.V. // International Scientific Conference «Knowledge-based technologies in development and utilization of mineral resources», 5–8 June 2018, Novokuznetsk, Russian Federation, Volume 206, № 012046, pp. 1-6 (DOI:10.1088/1755-1315/206/1/012046).
 10. Water distribution characteristic and effect on methane adsorption capacity in shale clay / Li J., Li X., Wu K., Shi J., Yang L., Feng D., Zhang T., Yu P., Wang X., Li Y. // International Journal of Coal Geology. 2016. T. 159. C. 135-154.
 11. Methane contents and coal-rank variability in the upper silesian coal basin, Poland / Kedzior S. // International Journal of Coal Geology. 2015. T. 139. № 1. C. 152-164.
 12. Numerical modelling of microseismicity associated with longwall coal mining / Cao W., Shi J.-Q., Si G., Durucan S., Korre A. // International Journal of Coal Geology. 2018. T. 193. C. 30- 45
 13. Murashev, V.I. (1980). Razrabotka nauchnykh osnov bezopasnogo vedeniia gornykh работ v ugolnykh shakhtakh na osnove issledovaniia geomekhanicheskikh protsessov [Safe mining in coal mines scientific basis development based on geomechanical process studies]. Extended abstract of Doctor's thesis. Moscow [in Russian].
 14. Shinkevich, M.V. (2013). Gazovydenie iz otrabatyvaemogo plasta s uchyotom geomeomekhanicheskikh protsessov vo vmeshchayushchem massive [Gas emission from the seam under development, taking into account geomeomechanical processes in the bearing massif]. Gorny informatsionno-analiticheskii biulleten – Mining Informational Analytical Bulletin, 6, 278-285 [in Russian].
 15. Kanlybaeva, Zh.M. (1968). Zakonomernosti sdvizhenia porod v massive [Patterns of rock movement in the massif]. Nauka [in Russian].
 16. Ziburdaev, V.S. (2007). Obosnovanie sposobov i parametrov izvlechenia metana pri vysokointensivnoi otrabotke gazonosnykh ugolnykh plastov [Substantiation of methane extraction methods and parameters during high-intensity mining of gas-bearing coal seams]. Doctor's thesis, Moscow [in Russian].
 17. Malyshev, Yu.N., Trubetskoy, K.N., & Airuni, A.T. (2000). Fundamentalno-prikladnye metody reshenia problemy ugolnykh plastov [Fundamental and applied methods for solving the problem of coal seams]. Moscow: IAGN [in Russian]
 18. Shinkevich, M.V., Leontieva, Ye.V. (2015). Modelirovanie tekhnogennoi strukturizatsii vmeshchayushchego massiva gornykh porod pri vedenii ochistnykh работ [Modeling of the bearing rock massif technogenic structuring during the coal extraction works]. Vestnik KuzGTU – KuzGTU Herald, 3, 23-31 [in Russian].
 19. Polevshchikov, G.Ya., Kozyreva, Ye.N., Riabtsev, A.A., Rodin, P.I., Nepeina, Ye.S., & Tsuran, Ye.M. (2016). Otsenka vliania napriazhenii na gazonosnost prikonturnoi chasti plasta [Assessment of the stresses' effect on the seam contour part gas content]. Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti работ v ugolnoi promyshlennosti – Herald of Safety in Mining Industry Scientific Center, 1, 16-24 [in Russian].



■ **А.Е. Майоров //**
A.Ye. Majorov
majorov-ae@mail.ru

д-р. техн. наук, профессор РАН. ФИЦ
УУХ СО РАН, г. Кемерово
Doctor of technical sciences, professor of
RAS. FIC UUKh SB RAS, Kemerovo



■ **Д.Ю. Палеев // D.Yu. Paleev**
pal07@rambler.ru

д-р. техн. наук, академик АГН, МАНЭБ.
ГИ УрО РАН, г. Пермь

Doctor of technical sciences, academician
AGN, MANEB. GI UrB RAS, Perm

УДК 622.868.42

СОСТОЯНИЕ ИЗОЛЯЦИИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ШАХТ КУЗБАССА

KUZBASS MINES' WORKINGS INSULATION CONDITION

Дано описание современных технологий гидромеханического способа возведения изоляционных сооружений, сделан анализ их недостатков, не позволяющих отнести их классу взрывоустойчивых. На примере аварии на «Шахте Северная» в г. Воркута 25 февраля 2016 года показана актуальность поддержания изоляционных сооружений в работоспособном состоянии, для чего необходима организация комплексного неразрушающего контроля технического состояния конструкций перемычек и приконтурной зоны, вмещающей выработки в процессе их возведения и эксплуатации. Необходимо создание специализированного полномасштабного стенда для воссоздания условий и режимов формирования взрывной ударной волны и анализа ее воздействия на систему «перемычка-приконтурный массив».

A description of modern technologies of the hydromechanical method of erecting insulating structures is given, and an analysis of their shortcomings that do not allow them to be classified as explosion proof is made. On the accident at the Severnaya Mine in Vorkuta on February 25, 2016 example, the relevance of maintaining the insulation structures in working condition is shown, which requires the organization of a comprehensive non-destructive control of the technical condition of stopping structures and the contour zone of the enclosing opening in the process of their construction and operation. It is necessary to create a specialized full-scale stand to recreate the conditions and regimes of an explosive shock wave formation and analyze its impact on the "stopping-contour massif" system.

Ключевые слова: ГОРНАЯ ВЫРАБОТКА, ВЗРЫВ, ПЕРЕМЫЧКА, УДАРНАЯ ВОЛНА, ЦЕМЕНТНАЯ СМЕСЬ, ПРИКОНТУРНАЯ ЗОНА

Key words: MINE OPENING, EXPLOSION, STOPPING, SHOCK WAVE, CEMENT MIX, CONTOUR ZONE

Изоляционные сооружения – перемычки, играют важную роль в организации проветривания горных выработок, в повышении общей безопасности и эффективности ведения горных работ. Они регулируют вентиляционные потоки, непосредственно влияют на состояние общешахтной атмосферы, на концентрацию кислорода, СО и метана в выработанном пространстве, осуществляют изоляцию неиспользуемых горных выработок и защиту действующих от газов, воды и пожаров, служат для задержания закладочных и заилочных материалов, а также предупреждения разрушающего воздействия воздушной ударной волны взрыва. От технического состояния и герметичности изоляционных перемычек зависят устойчивость проветривания, глубина регулирования количества воздуха, безопасность работ, а в аварийных ситуациях и сама жизнь горно-

рабочих. Только на угольных шахтах Кузбасса ежегодно возводят и эксплуатируют более 1 тыс. указанных изоляционных сооружений. Причем, современные условия ведения горных работ в газовых шахтах и на пластах угля, склонных к самовозгоранию, и новая «Инструкция по изоляции неиспользуемых горных выработок и выработанных пространств в угольных шахтах» [1] требуют значительного увеличения числа возводимых взрывоустойчивых изоляционных сооружений.

Ранее применявшийся немеханизированный процесс возведения заливных бетонных перемычек всегда был очень трудоемким, а возведение взрывоустойчивых при потенциальной угрозе взрыва еще и небезопасным, т.к. горнорабочим приходилось работать в непосредственной близости от возводимой перемычки в условиях сокращения проветривания изоли-

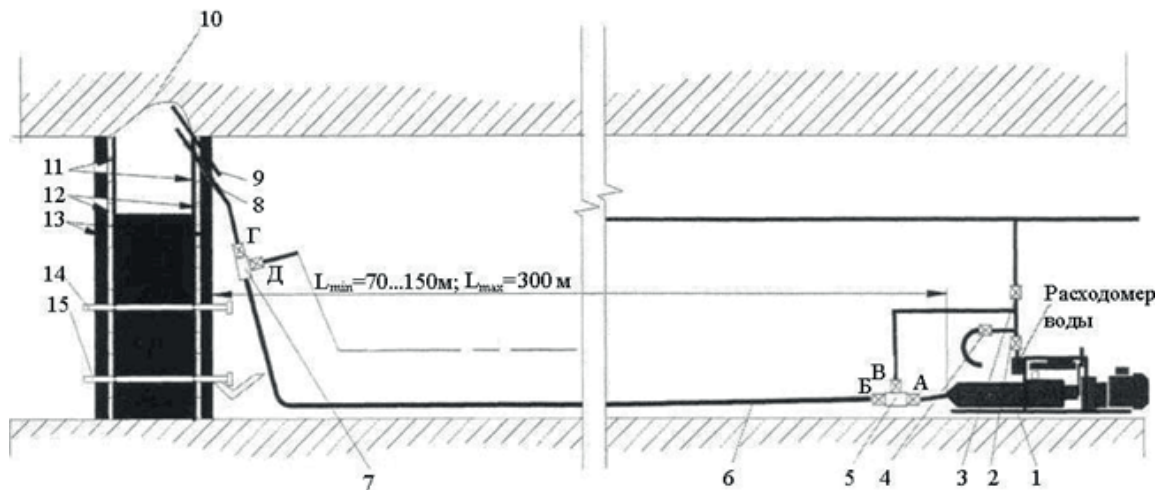


Рисунок 1. Технологическая схема возведения безрубцовых взрывоустойчивых перемычек:
 1 – насосный агрегат; 2 – кран регулирования подачи воды; 3 – кран для подачи воды; 4 – кран для промывания камеры насосного агрегата; 5 – тройник с кранами для аварийного промывания системы; 6 – растворопровод; 7 – тройник с кранами для промывания растворопровода; 8 – труба Ду 50; 9 – труба контрольная; 10 – локальный вруб; 11 – внутренняя обшивка опалубки (полиэтилен, полипропилен, мешковина, брезент); 12 – отшив из обрезных плах (доска к доске); 13 – распорные стойки; 14 – труба пробоотборная; 15 – труба водоотводная с гидрозатвором

Figure 1. Technological scheme for the construction of not-cut-in, explosion-proof stoppings:
 1 - pump unit; 2 - tap regulating the water supply; 3 - tap for water supply; 4 - tap for flushing the chamber of the pump unit; 5 - tee with taps for emergency flushing of the system; 6 - mortar line; 7 - tee with taps for flushing the mortar line; 8 - pipe Du 50; 9 - control pipe; 10 - local cut-in; 11 - inner lining of the formwork (polyethylene, polypropylene, burlap, tarpaulin); 12 - dunnump from edged blocks (board to board); 13 - spacers; 14 - sampling pipe; 15 - drain pipe with a water lock

руемого аварийного участка. Поэтому в конце 60-х годах прошлого столетия в Европе, США и Японии были проведены успешные исследования по гидромеханическому способу возведения изоляционных сооружений, в том числе и взрывоустойчивых, из различных строительных материалов. Было разработано специальное оборудование непрерывного приготовления быстротвердеющих строительных растворов и перекачивания их по напорным шлангам с безопасного расстояния. Классическая технологическая схема представлена на рис. 1. Новое оборудование позволило регулировать параметры приготавливаемых растворов и быстро возводить изолирующие сооружения с необходимыми физико-механическими характеристиками [2-5].

В НИИГД (г. Донецк) было разработано аналогичное оборудование типа «Монолит» и «Темп» для изоляции пожаров гипсовыми взрывоустойчивыми перемычками. Широкому применению гипса содействовали высокая скорость его твердения и простота технологии приготовления раствора. Однако гипсовые вяжущие имеют недостатки: быстрое схватывание раствора ограничивает дальность транспортирования его по напорным шлангам и затрудняет эксплуатацию оборудования, а слабая водостойкость материала снижает надежность работы конструкции и исключает возможность его применения в обводненных выработках и при затоплении

изолированного участка. Поэтому НИИГД были разработаны также технологии и оборудование для возведения шахтных взрывоустойчивых сооружений из быстротвердеющих смесей на основе цементных вяжущих [6].

В России гипсовые смеси для изоляции горных выработок уже практически не применяются. Современные специализированные смеси на основе цемента обладают необходимой прочностью, термо- и теплостойкостью, негорючестью, они универсальны для создания тела монолитных безрубцовых изоляционных перемычек.

«Текбленд» - цементная смесь в виде порошка серого цвета, после смешивания с водой на месте применения образует лёгкий бетон. Подача водоцементной смеси к месту возведения перемычек производится при помощи насосного агрегата MONO WT 820. Является негорючим, невзрывоопасным, нетоксичным веществом. Область применения:

- возведение взрывоустойчивых и водопорных изолирующих перемычек;
- возведение искусственных целиков, бутовых полос;
- заполнение закрепного пространства и куполов в горных выработках;
- тампонаж затрубного пространства и ликвидируемых скважин.

Основные преимущества этого состава

перед гипсом:

- резкое снижение расхода материала на возведение взрывоустойчивой перемычки (в 4 раза по сравнению с гипсом марки Г-6);
- возможность работы в обводненных условиях;
- высокая скорость возведения сооружений;
- аварийный запас 60 т «Текбленда» позволяет возвести в выработках сечением 15 м² четыре взрывоустойчивые перемычки вместо одной гипсовой.

Длина напорного шланга – до 250 м по горизонтали. Отношение вода/цементная смесь от 1:1 до 1,5:1. Время схватывания при температуре 20°С 3-7 мин. Предел прочности на сжатие через 1 сутки 7,0 МПа. Адгезионная прочность на контакте с углём 0,5 МПа. Время возведения одной перемычки составляет 3-4 часа. Утечки воздуха через перемычку снижаются до нуля.

«Барьер» - цементная смесь для возведения взрывоустойчивых подземных перемычек. Разработка специалистов «Кузбасспромсервиса» по своим показателям не уступает германскому «Текбленду» и является российской альтернативой импортному материалу. Область его применения та же. После смешивания с водой (1:1) в процессе гидратации образует минеральный материал значительной прочности. Не горюч, не взрывоопасен, не токсичен.

Основными преимуществами материала «Барьер» являются:

- значительная прочность (до 10 МПа);
- высокая скорость отверждения (предел прочности на сжатие через 2 часа составляет 2 МПа);
- температурное воздействие до 700°С;
- водостойкость (показатель 0,82);
- воздухопроницаемость (0,7 кг/см²);
- возможность произвести снятие и повторное использование опалубки.

Для непрерывной подачи используется пенобетонный насос «ПБН-15КПС» производства компании «Кузбасспромсервис». Длина напорного шланга до 300 м по горизонтали, и до 70 м по вертикали. Производительность насоса - до 15 м³/ч.

«УГМ-П» является однокомпонентным порошкообразным продуктом, сухой смесью на основе цементного вяжущего с минеральными и полифункциональными добавками (разработка ООО «УГМ-Сервис»). Относится к классу легких бетонов, имеет высокие показатели набора прочности, долговечности и адгезии, отличается высокой технологичностью применения,

термостойкостью, водонепроницаемостью, безвредностью для здоровья. Уникальные физические характеристики смеси превышают известные аналоги, обеспечивают высокую устойчивость, прочность и герметичность изоляционного сооружения. В процессе заполнения опалубки смесью УГМ-П происходит пропиточный тампонаж нарушенной приконтурной зоны, обеспечивая эффективную консолидацию тела перемычки с вмещающим массивом пород. Смесительно-нагнетательное оборудование применимо стандартное, типа MONO WT 820 или ПБН-15.

В угольных шахтах основной объем изоляционных перемычек возводится именно в пластовых выработках (штреки, квершлагги, сбойки, и т.д.) с осложненными условиями эксплуатации, наличием угольного пласта и сильно нарушенной приконтурной зоной, что предъявляет особые требования к используемым технологиям изоляции, конструкциям и материалам. При этом, главной выявленной и не решенной до настоящего времени проблемой, является отсутствие полноценной герметичности и управляемой консолидации тела перемычки с трещиноватым вмещающим массивом пород пластовых выработок. Известные решения по технологии изоляции выработок и тампонажу приконтурной зоны реализованы обособленно, а используемые материалы не унифицированы, что в общем, снижает качество изоляционных сооружений, повышает трудоемкость и стоимость работ.

Институтом угля (ФИЦ УУХ СО РАН) и ООО «УГМ-Сервис» ведется совместная уникальная работа по управлению физическим состоянием углепородных массивов, разработке эффективных технологий скоростного возведения взрывоустойчивых перемычек в нарушенных трещиноватых горных породах, где необходимо дополнительное упрочнение и уплотнение приконтурной зоны горной выработки с изоляцией прилегающей поверхности для исключения нежелательных утечек и повышения ее прочности [7-14]. В том числе, для инъекционной цементации нарушенного массива пород, обеспечения качественного уплотнения и упрочнения приконтурной зоны разработана сухая смесь УГМ. Практическое значение работы заключается в совершенствовании и расширении области применения способов качественной и эффективной изоляции безврубовыми монолитными перемычками из импортозамещающих минеральных смесей пластовых выработок с сильно трещиноватой приконтурной зоной. Разработанная технология является частью комплекса мероприятий по пластовой дегазации, проветрива-

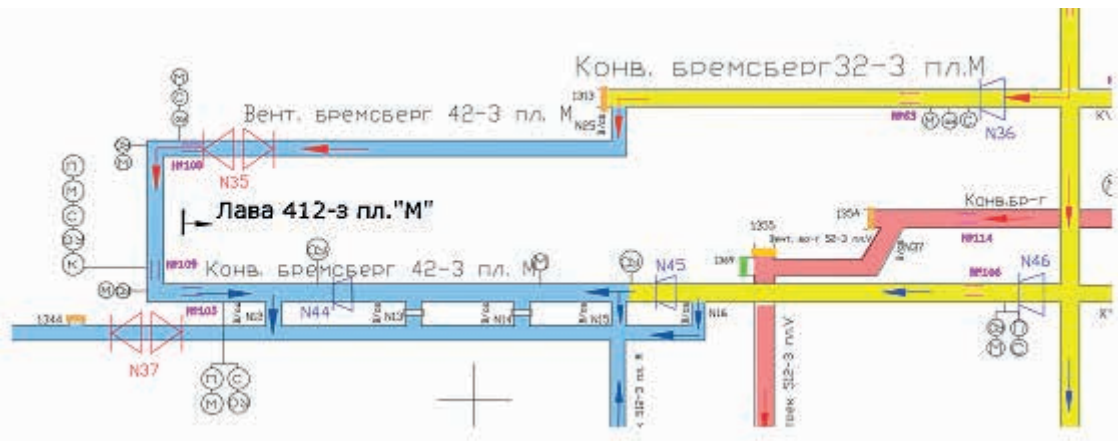


Рисунок 2. Схема проветривания лавы 412-з на 20.02.2016
Figure 2. Longwall 412-z ventilation scheme on 02/20/2016

нию горных выработок, обеспечению снижения уровня метана в общешахтной атмосфере и кислорода в отработанном пространстве, профилактике и тушению эндогенных пожаров при ресурсосберегающем строительстве и безопасной эксплуатации угольных шахт. Разработанные методические указания [15], инструкции и инструментальное обеспечение, специализированные смеси и оборудование, рациональные технологические режимы, являются элементами комплексной системы изоляции пластовых выработок с контролем качества работ.

Однако, несмотря на значительный прогресс в развитии современных технологий гидромеханического способа возведения изоляционных сооружений, накопился ряд нерешенных проблем, требующих корректировки существующей нормативной базы.

1. Вновь возводимые и эксплуатируемые в угольных шахтах взрывоустойчивые изоляционные сооружения практически не соответствуют понятию «взрывоустойчивая». Их материалы и конструкции не прошли соответствующих натурных испытаний, а используемые в «Инструкции...» [1] расчетные модели весьма условны, не учитывают массу перемычки и работу несущей системы «перемычка-приконтурный массив». Физическое состояние приконтурной зоны практически не учитывается как перед возведением, так и в процессе эксплуатации перемычек.

2. Отсутствует полноценный регламент к физическим характеристикам применяемых специализированных смесей и технологии возведения перемычек, диагностике и контролю их технического состояния, оценке остаточного ресурса эксплуатируемого сооружения.

3. При расчете минимальной толщины перемычки фактически используют пределы прочности материала на одноосное сжатие, из-

гиб, прямой сдвиг. Адгезионная прочность – к каким горным породам или материалам? Все это по каким ГОСТам и какими методами контроля необходимо определять?

4. Не оговорены требования к пористости смеси, срокам потери подвижности, схватывания и набора прочности, химической (коррозионной) стойкости и стабильности физико-механических характеристик смеси в агрессивной газо-водной среде шахт и при контакте с металлом.

5. Не учтена необходимость инъекционного уплотнения и упрочнения приконтурной зоны как перед возведением, так и в процессе эксплуатации, при ремонте и восстановлении несущей способности и герметичности сооружения. Сложная ситуация возникает при изоляции пластовых выработок за счет наличия приконтурной зоны из нарушенного угольного пласта с зоной отжима, периодически находящегося в зоне влияния очистных работ. Не оговорены требования к проникающей способности смеси в трещины прилегающей приконтурной зоны.

6. В попытке снижения стоимости сухих смесей при участии в тендерах производители пошли по пути снижения их расхода на единицу объема, что приводит к повышению пористости раствора, снижению периода эксплуатации и прочности сооружения. При этом снижается общий вес сооружения, который особо важен, но не отражен в расчетных формулах «Инструкции...» [1]. Опалубка после заливки перемычки не снимается в большинстве случаев, скрывая реальную ситуацию.

7. Контроль за техническим состоянием перемычек проводится заинтересованным кругом лиц и/или разделен между собственником (шахта), производителем материалов, производителем работ, ВГСЧ, Ростехнадзором.

Ситуация, сложившаяся с изоляционными

сооружениями, не способствует повышению надежности и долговечности их работы, негативно сказывается на обеспечении безопасной эксплуатации угольных шахт и рудников.

Ярким примером нарушения технологии и снижения контроля за их состоянием может служить авария на «Шахте Северная» в г. Воркута 25 февраля 2016 года. Кроме прочего отметим, что в шахте до настоящего времени применяется технология возведения чураковых изоляционных перемычек.

Согласно схеме проветривания (Рис. 2) с центрального откаточного штрека по конвейерному бремсбергу 32-з и далее по вентиляционному бремсбергу 42-з в лаву поступало количество воздуха, которое по мере движения по её длине сокращалось за счет утечек в выработанное пространство, откуда поступало через перемычки в вентиляционных сбоях на исходящую струю участка - вентиляционный бремсберг 52-з. Часть утечек возвращалась в нижнюю часть лавы, смешиваясь с проходящим по ней воздухом, и поступало на конвейерный бремсберг 42-з на переднюю сбойку, где смешивалась с подсвежающей струей воздуха, двигающегося навстречу по конвейерному бремсбергу 42-з. Величина безвозвратных утечек из лавы в зону обрушения составляла 140 м³/с (около 26 % от количества воздуха, поступающего в лаву).

В результате схема проветривания лавы фактически являлась комбинированной, так как часть воздуха утечек не возвращалась в лаву и выходила на ряд задних сбоек через нарушения в перемычках (трещины массива, несмыкание тела с контуром выработки), откуда поступала на вентиляционный бремсберг 52-з. Такая схема проветривания является плохо управляемой и недостаточно надёжной. По заключению экспертной комиссии нарушение герметичности перемычек в вентиляционных сбоях, изменивших схему проветривания лавы, и явилось одной

из причин возникновения аварии. Нарушение технологии возведения перемычек в вентиляционных сбоях привело к существенной потере их прочности. В результате при первом взрыве часть их была разрушена, что при всасывающем способе проветривания шахты привело к неконтролируемому выносу больших объемов метана из отработанных ранее участков в действующие выработки. Это осложнило газовую обстановку на аварийном участке и привело к ошибкам в задании зоны загазования при расчете взрывобезопасных расстояний.

Учитывая важность поддержания изоляционных сооружений в работоспособном состоянии, необходима организация комплексного неразрушающего контроля технического состояния конструкций перемычек и приконтурной зоны вмещающей выработки в процессе их возведения и эксплуатации. Следующим шагом должно быть создание интегрированных в конструкцию перемычек автоматизированных систем мониторинга и разработка соответствующей нормативной базы. Также не менее важно создание единого регламента, описывающего требования к материалам, конструкциям и технологическим схемам возведения изоляционных сооружений, правилам контроля их технического состояния, сделать его дополнением к действующей «Инструкции...» [1]. Безусловно необходима организация на территории Кузбасса специализированного полномасштабного центра для воссоздания условий и режимов формирования взрывной ударной волны и анализа ее воздействия на систему «перемычка-приконтурный массив». К сожалению, до сих пор взрывоустойчивость конструкций перемычек рассчитывается на основе непроверенных в шахтных условиях теоретических соотношений, использование которых вызывает много вопросов из-за неопределенности задания исходных данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструкция по изоляции неиспользуемых горных выработок и выработанных пространств в угольных шахтах. [фед. н. и п. в обл. пром. без. приказ № 530 от 28.11.14 г.]. - М.: ЗАО «НТЦИПБ». - 2015. - 56 с.
2. Каледин, Н.В. Оборудование для приготовления и перекачивания быстротвердеющих растворов / Н.В. Каледин, Е.В. Курбацкий, А.С. Омельченко // Пути развития горноспасательного дела: тр. науч.-практ. конф. – Донецк: НПО «Респиратор», 1997. – С. 52–53.
3. Кондаков, В.М. Оборудование для возведения шахтных гипсовых перемычек / В.М. Кондаков // Безопасность угольных предприятий: сб. науч. тр. / Науч. центр по безопас. работ в угол. пром.-сти. – Кемерово: Изд-во ВостНИИ, 2001. – С. 60–64.
4. Крупин, Н.Н. Комплект оборудования для доставки, приготовления и подачи твердеющей смеси ОДПФ / Н.Н. Крупин, В.М. Роменский, Г.П. Тищенко // Уголь Украины. – 1994. – № 2. – С. 18–21.
5. Соломахин, А.Н. Шахтные испытания оборудования для возведения бетонных перемычек / А.Н. Соломахин, А.С. Омельченко, А.И. Христофоров // Уголь. – 1993. – № 2. – С. 17–18.
6. Доценко, В.Ф. Оборудование для возведения шахтных взрывоустойчивых перемычек из быстротвердеющих смесей / В.Ф. Доценко, А.С. Омельченко, А.Н. Соломахин // Уголь Украины. – 1989. – № 1. – С. 36–37.
7. Нурғалиев, Е.И. Технология скоростного возведения высокопрочных безврубных перемычек с использованием

- специализированных цементных смесей / Е.И. Нурғалиев, А.Е. Майоров, Г.Н. Роут // Журнал Уголь. – 2014. – №6. – С. 20-23.
8. Нурғалиев, Е.И. Технологические схемы возведения изоляционных сооружений горных выработок угольных шахт / Е.И. Нурғалиев, А.Е. Майоров // Журнал Уголь. – 2018. – № 11. – С. 10-17. DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2018-11-00-00>.
9. Нурғалиев, Е.И. Физико-механические характеристики специализированных цементных смесей для комплексной изоляции горных выработок // Е.И. Нурғалиев, А.Е. Майоров. Вестн. Кузбас. гос. техн. ун-та. – 2018. – № 4. – С. 50–55. DOI: [10.26730/1999-4125-2018-4-50-55](https://doi.org/10.26730/1999-4125-2018-4-50-55).
10. Нурғалиев, Е.И. Реологические характеристики специализированных цементных смесей для комплексной изоляции горных выработок // Е.И. Нурғалиев, А.Е. Майоров. Вестн. Кузбас. гос. техн. ун-та. – 2018. – № 4. – С. 56–64. DOI: [10.26730/1999-4125-2018-4-56-64](https://doi.org/10.26730/1999-4125-2018-4-56-64) (РИНЦ).
11. Нурғалиев, Е.И. Опыт комплексной изоляции горных выработок шахт Распадской угольной компании. Шахта «Распадская-Коксовая» – часть I / Е.И. Нурғалиев, А.Е. Майоров, А.А. Черепов // Журнал Уголь. – 2019. – №2. – С. 25-30. DOI: [http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2019-2-25-30](https://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2019-2-25-30) (Scopus).
12. Патент РФ на изобретение 2677186, МПК E21F 15/04. Способ возведения шахтных перемычек / Е.И. Нурғалиев, А.Е. Майоров; заявитель и патентообладатель Е.И. Нурғалиев, А.Е. Майоров. – №2017139715/03; заявл. 14.11.2017; приоритет от 14.11.2017; опубл. 15.01.2019 бюл. № 2. – 8 с.
13. Патент РФ на изобретение 2677722, МПК E21D 11/38, E21F 17/103. Способ тампонажа приконтурного массива пород шахтных перемычек / Е.И. Нурғалиев; заявитель и патентообладатель Е.И. Нурғалиев. – №2018107023/03; заявл. 26.02.2018; приоритет от 26.02.2018; опубл. 21.01.2019 бюл. № 3. – 8 с.: ил.
14. Патент РФ на изобретение 2679212, МПК E21D 11/10. Способ возведения консолидирующей изоляционной системы «перемычка-тампонажная завеса» / Е.И. Нурғалиев; заявитель и патентообладатель Е.И. Нурғалиев. – №2018114618/03(022875); заявл. 19.04.2018; приоритет от 19.04.2018; опубл. 06.02.2019 бюл. № 4. – 10 с.: ил.
15. Методические указания по неразрушающему контролю состояния перемычек в шахтах и рудниках / ООО НПК «УГМ». – Кемерово, 2014. – 14 с.

REFERENCES

1. Instruksia po izoliatsii neispolzuemykh gornykh vyrabotok i vyrabotannykh prostranstv v ugolnykh shakhtakh [Instructions for the isolation of unused mine workings and gob areas in coal mines]. Moscow: ZAO "NTCIPPB" [in Russian].
2. Kaledin, N.V., Kurbatsky, Ye.V., & Omelchenko, A.S. (1997). Oborudovanie dlia prigotovleniia i perekachivania bystroverdeishchikh rastvorov [Equipment for the preparation and pumping of quick-hardening mortars]. Proceedings from Ways of mine rescue development. Scientific and practical conference (pp. 52-53). Donetsk: NPO Respirator [in Russian].
3. Kondakov, V.M. (2001). Oborudovanie dlia vozvedeniia shakhtnykh gipsovykh peremychek [Equipment for the construction of shaft gypsum stoppings]. Safety of coal mining enterprises: collection of scientific works (pp. 60-64). Kemerovo: VostNII [in Russian].
4. Krupin, N.N., Romensky, V.M., & Tishchenko, G.P. (1994). Komplekt oborudovaniia dlia dostavki, prigotovleniia i podachi tverdeishchei smesi ODPF [Set of equipment for the delivery, preparation and supply of hardening mixture ODPF]. Ugol Ukrainy - Coal of Ukraine, 2, 18-21 [in Russian].
5. Solomakhin, A.N., Omelchenko, A.S., & Khristoforov, A.I. (1993). Shakhtnye ispytaniia oborudovaniia dlia vozvedeniia betonnykh peremychek [Mine testing of equipment for concrete stopping construction]. Ugol – Coal, 2, 17-18 [in Russian].
6. Dotsenko, V.F., Omelchenko, A.S., & Solomakhin, A.N. (1989). Oborudovanie dlia vozvedeniia shakhtnykh vzryvostoichivykh peremychek iz bystroverdeishchikh smesei [Equipment for the construction of mine explosion-proof stoppings from quick-hardening mixtures]. Ugol Ukrainy – Coal of Ukraine, 1, 36-37 [in Russian].
7. Nurgaliev, Ye.I., Majorov, A.Ye., & Rout, G.N. (2014). Tekhnologia skorostnogo vozvedeniia vysokoprochnykh bezvrubovykh peremychek s ispolzovaniem spetsializirovannykh tsementnykh smesei [Strong not-cut-in stoppings high-speed constructing technology with specialized cement mixtures use]. Ugol – Coal, 6, 20-23 [in Russian].
8. Nurgaliev, Ye.I., Majorov, A.Ye., & Rout, G.N. (2014). Tekhnologicheskie skhemy vozvedeniia izolyatsionnykh sooruzhenii gornykh vyrabotok ugolnykh shakht [Technological schemes for the construction of coal mine opening insulating structures]. Ugol – Coal, 11, 10-17 [in Russian].
9. Nurgaliev, Ye.I., & Majorov, A.Ye. (2018). Fiziko-mekhanicheskie harakteristiki spetsializirovannykh cementnykh smesei dlia kompleksnoi izolyatsii gornykh vyrabotok [Physico-mechanical characteristics of specialized cement mixtures for complex isolation of mine openings]. Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Herald of Kuzbass State Technical University, 4, 50-55 [in Russian].
10. Nurgaliev, Ye.I., & Majorov, A.Ye. (2018). Reologicheskie kharakteristiki spetsializirovannykh cementnykh smesei dlia kompleksnoi izolyatsii gornykh vyrabotok [Rheological characteristics of specialized cement mixtures for complex isolation of mine openings]. Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Herald of Kuzbass State Technical University, 4, 56-64 [in Russian].
11. Nurgaliev, Ye.I., Majorov, A.Ye., & Cherepov, A.A. (2019). Opyt kompleksnoi izolyatsii gornykh vyrabotok shakht Raspadskoj ugolnoi kompanii. Shakhta «Raspadskaia-Koksovaia» – chast I [Experience in integrated insulation of mine openings of the Raspadskaia Coal Company mines. Raspadskaia-Koksovaya Mine - Part I]. Ugol – Coal, 2, 25-30 [in Russian].
12. RF patent for the invention 2677186, IPC E21F 15/04. The method of construction of mine stoppings / Ye.I. Nurgaliev, A.Ye. Majorov Applicant and patent holder Ye.I. Nurgaliev, A.Ye. Majorov. - No. 2017139715/03; declared 11/14/2017; priority from 11/14/2017; publ. 01/15/2019 bull. No. 2. - 8 p [in Russian].
13. RF patent for the invention 2677722, IPC E21D 11/38, E21F 17/103. The method of tamping the contour area mass of rocks of the mine stoppings / Ye.I. Nurgaliev; Applicant and patent holder Ye.I. Nurgaliev. - No. 2018107023/03; declared 02/26/2018; priority from 02.26.2018; publ. 01/21/2019 bull. No. 3. - 8 pp., Ill.[in Russian].



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

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

УДК 614.8:622:658.3

ПРОБЛЕМА ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ И ПОТЕНЦИАЛА ЗАЩИТЫ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ ПРИ НОРМАЛЬНОМ ФУНКЦИОНИРОВАНИИ И АВАРИИ «ПОЖАР-ВЗРЫВ» МЕТАНОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ

THE PROBLEM OF ASSESSING THE RELIABILITY AND PROTECTION POTENTIAL OF A MULTIFUNCTIONAL SAFETY SYSTEM OF A COAL MINE DURING NORMAL OPERATION AND A FIRE-EXPLOSION ACCIDENT OF A METHANE-AIR MIXTURE

В статье показана актуальность проблемы количественной оценки потенциала защиты многофункциональной системы безопасности угольной шахты при аварии «пожар-взрыв» метановоздушной смеси. Приведен состав основных подсистем мониторинга противопожарной и аэрологической защиты локализирующих аварию «пожар-взрыв» метановоздушной смеси. Проведена количественная оценка предела разрушения подземных сооружений и силы ударной воздушной волны. Математически определен коэффициент потенциала защиты многофункциональных систем безопасности. Доказывается основополагающим принцип превентивности.

The article shows the relevance of the problem of quantitative assessment of the protection potential of a multifunctional safety system of a coal mine in the event of a fire-explosion accident of a methane-air mixture. Given the composition of the main subsystems of monitoring of upper-air fire-prevention and protection accident localization "fire-explosion" of a methane-air mixture. A quantitative assessment of the limit of destruction of underground structures and the force of the shock air wave was carried out. Mathematically determined the ratio of protection capacity multifunction systems security. The basic principle of prevention is proved.

Ключевые слова: ПРЕДЕЛ РАЗРУШЕНИЯ, КОЭФФИЦИЕНТ ТЕХНИЧЕСКОЙ ГОТОВНОСТИ ПОДСИСТЕМ, КОЭФФИЦИЕНТ ПОТЕНЦИАЛА ЗАЩИТЫ, ПРИНЦИП ПРЕВЕНТИВНОСТИ.

Key words: LIMIT OF DESTRUCTION, COEFFICIENT OF TECHNICAL READINESS OF SUBSYSTEMS, COEFFICIENT OF PROTECTION POTENTIAL, THE PRINCIPLE OF PREVENTION.

Элементарный состав автоматизированной многофункциональной системы безопасности (МФСБ) на каждой конкретной шахте и количество ее подсистем имеют свою специфику в зависимости от категории шахты по газу и конкретным горно-геологическим условиям, масштабов шахты, поэтому в практике нет двух одинаковых МФСБ. При авариях эндогенный пожар - взрыв метановоздушной смеси в угольной шахте в поле исследования попадают два основных элемента МФСБ: подсистема противопожарной защиты и подсистема аэрологической защиты, см. рис.1.

Конкретный состав функциональных подсистем МФСБ определяют при разработке в соответствии с ТЗ в зависимости от этапа внедрения на шахте. Фактическое противодействие аварии эндогенный пожар - взрыв метановоздушной смеси на объекты защиты и элементы МФСБ приведено на (рис.2).

Рассмотрим, какой потенциал противодействия аварии эндогенный пожар - взрыв метановоздушной смеси может иметь типичная МФСБ, что отражено на рисунке 3. При сравнении таблицы 1 видно, что фактического давления УВВ не выдерживает ни один объект в шахте, за ис-



Рисунок 1. Состав подсистем мониторинга противопожарной защиты и аэрологической защиты
 Figure 1. Composition of fire protection and aerological protection monitoring subsystems

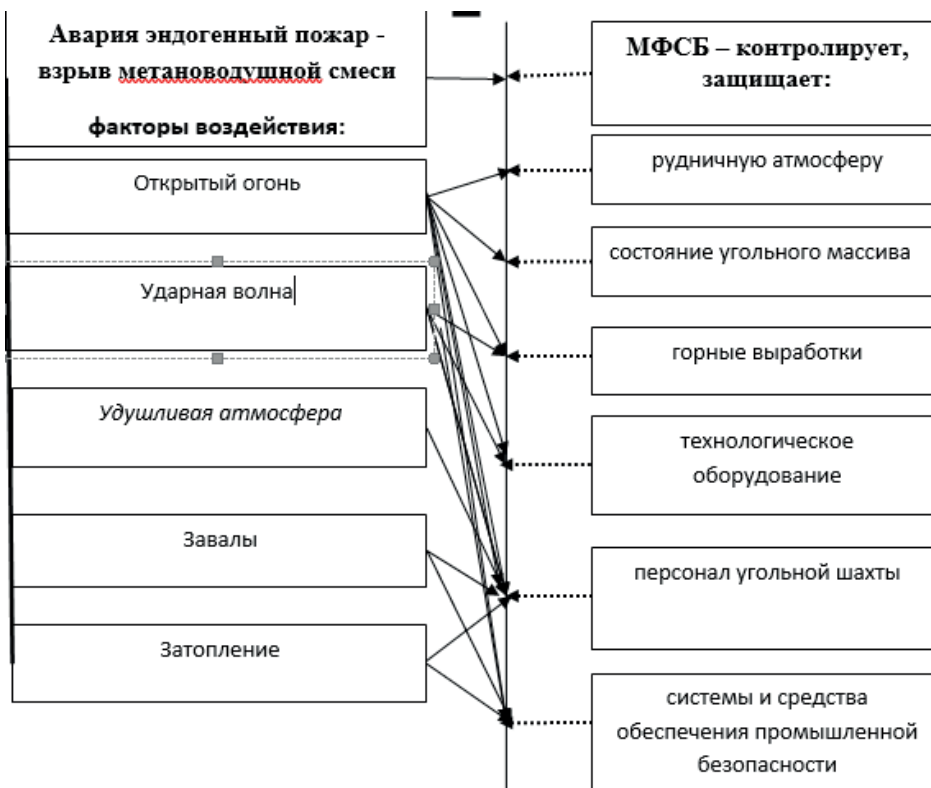


Рисунок 2. Воздействие поражающих факторов аварии эндогенный пожар - взрыв метановоздушной смеси на объекты защиты и элементы МФСБ
 Figure 2. The impact of the damaging factors of the accident endogenous fire - explosion of methane-air mixture on the objects of protection and elements of the MFSS



Рисунок 3. Противодействие МФСБ шахты факторам аварии эндогенный пожар - взрыв метановоздушной смеси

Figure 3. Counteraction of the IASF mine to accident factors endogenous fire - methane-air mixture explosion

Таблица 1. Характеристика разрушающего воздействия УВВ при взрыве метана

Table 1. Table 1. Characterization of the destructive effect of air-blast during methane explosion

Объект	Разрушающее давление УВВ, МПа	Характер разрушения	Оценка предела разрушения и силы УВВ в 1,935 МПа (среднее) ,разы
Бетонная перемишка толщиной 4,1м	5	Трещины и смещение перемишки на 0,4м	
Бетонная противопожарная перемишка толщиной 0,25 м	0,080-0,1	Полное разрушение	25
Кирпичная (шлакоблочная) перемишка толщиной 0,24-0,36м	0,04-0,05	Полное разрушение	48
Оборудование массой до тонны (лебедки, вентиляторы)	0,04-0,06	Смещение с фундамента, опрокидывание, поломка	48
Вагонетки расположенные торцевой стороной к направлению действия УВВ	0,14-0,25	Сбрасывание с рельсов. Общая деформация кузова и рамы	14
Проходческие машины	0,125-0,14	Опрокидывание деформация и повреждение деталей	16
Водо- и воздухопроводы , подвешенные к стенке выработки	0,030-0,05	Деформация и поломка в результате обрыва крепления	64
Электросети	0,035-0,042	Деформация в результате обрыва крепления	55
Арочная крепь	0,15-0,2	Деформация арок, поломка забутовки	12
Вентиляционный трубопровод	0,03-0,04	Обрыв деформация	64
Деревянные вентиляционные перемишки и двери	0,02-0,04	Поломка досок и стоек	97
Электрооборудование	0,015-0,02	Деформация , поломка	129

ключением бетонной перемычки толщиной 4,1 м при давлении 5МПа, которые не возводятся, нет смысла возводить, т.к. такое препятствие УВВ может породить вторичный взрыв. Хотя определенное гашение УВВ происходит, но незначительное, т.к. предел разрушения и сила УВВ соотносятся у электрооборудования – 1:129, а у бетонной противопожарной перемычки толщиной 0,25 м – 1:25, кроме того сила УВВ может достигать 3–5 МПа, т.е. если сравнивать с бетонной перемычкой (25 см), то при максимальной силе УВВ соотношение 1:50.

Относительно сланцевых и водяных можно отметить, что они гасят частично силу ударной волны, но незначительно, в пределах 0,04 – 0,2 МПа, согласно графиков в ряде научных исследований Руденко Ю.Ф., Палеева Д.Ю., Крайнова А.Ю. Лукашова О.Ю., Васенина И.М., Шрагера Э.Р., Костеренко В.Н. [2, С.46], [3, С.377], [4, С.381], [5, С.385], но полностью ликвидировать последствия барического воздействия, даже в определенных сочетаниях системы заслонов и перемычек невозможно, т.к. один водяной заслон обеспечивает снижение ударной волны в 0,04МПа, что составляет соотношение давлений 1: 125.

Оценка эксплуатационной готовности в нормальном режиме функционирования по нормативным требованиям [6], производится по коэффициенту технической готовности подсистем (K_t) формула (1):

$$K_t = \frac{T_o}{T_0 - T_b}, \quad (1)$$

где T_o - наработка на отказ, ч
 T_b - время восстановления работоспособности подсистемы, ч

При этом расчетные значения должны быть $K_t \geq 0,93$.

В принципе K_t не характеризует безопасность опасного объекта, а характеризует техническое состояние МФСБ. Анализ состояния и развития современных МФСБ раскрыт в ряде публикаций [7], [8] и др. с позиций технических параметров систем. Однако, пользователей МФСБ (обслуживающий персонал, собственников и подземных работников) больше интересует производная от технического состояния – способность не допустить аварии, что в первом плане выполняется функциями систем мониторинга и контроля, а второе противодействие аварии функциями защиты, см. (рис.3). Функция защиты МФСБ способна на начальной стадии ликвидировать пожар и взрыв малого потенциала.

На основе вышеприведенного и табл.1, утверждается что, потенциал современных МФСБ

шахта ($P_{\text{МФСБ}}$) в аспекте противостояния аварии «эндогенный пожар – взрыв метана» (P_a) по поражающему фактору УВВ на порядки ниже. Предлагается защитный потенциал МФСБ оценивать **коэффициентом потенциала защиты МФСБ**, и стремиться его повышать (2).

$$K_{\text{МФСБ}} = \frac{P_a}{P_{\text{МФСБ}}} \rightarrow \max, \quad (2)$$

Следовательно, основа стратегии безопасности шахты – предупреждение аварийных ситуаций (**принцип превентивности**).

Ввиду того, что саморегулирующимся процессом аварии «пожар-взрыв» метана в угольной шахте управлять невозможно, а средние параметры поражающих факторов воздействия достигают катастрофических значений: температуры при взрыве метана – 1475°K и более, давления взрывной волны – 1,935 МПа и более, скорости взрывной волны – 648,9 м/с и более, то современные системы МФСБ не могут на 100% (**в абсолют**) устранить вероятность возникновения данного типа аварий. Соотношение потенциалов защитных устройств по барическому противодействию (заслонов, перемычек и т.п.) слабее до 2-х и более порядков потенциала избыточного давления при взрыве, следовательно, **основным принципом функционирования МФСБ шахты является – превентивность мероприятий обеспечивающих безопасность**.

Для повышения защитной функции МФСБ шахты, необходимо усиливать контроль и мониторинг опасных объектов, что обеспечивается, при $K_t \rightarrow 1$. При оптимизации структуры и потенциала МФСБ по принципу синергетического взаимодействия элементов подсистем, повышается противодействие поражающим факторам аварии, что характеризуется:

$$K_{\text{МФСБ}} = \frac{P_a}{P_{\text{МФСБ}}} \rightarrow \max$$

Вышеприведенное позволяет выдвинуть следующий вывод: **эффективность МФСБ шахты характеризуется коэффициентом потенциала защиты (2), что в математической форме имеет интегрированный вид:**

$$K_{\text{МФСБ}} = \frac{\sum P_a}{\sum P_{\text{МФСБ}}} \rightarrow \max, (2)».$$

$\sum P_a$ суммарный потенциал аварии (в энергетических единицах);

$\sum P_{\text{МФСБ}}$ суммарный потенциал МФСБ(в энергетических единицах).

В случае аварии «пожар-взрыв» функция МФСБ шахты становится второстепенной, т.к. ей не был обеспечен принцип превентивности

безопасности (по существу это базовый принцип всей теории безопасности), и в этот момент вводится план ликвидации аварии и система МФСЖА (многофункциональная система жизнеобеспечения при аварии) во взаимодействии МФСБ.

Формализованные методы определения параметров защитного потенциала МФСЖА в нормативном плане практически не разработаны, за исключением предлагаемого коэффи-

циента потенциала защиты $K_{МФСБ}$, который ни нормативно, ни количественно не определен, ввиду отсутствия систематизированных данных и исследований по данной тематике. Также не определен эталон сравнения, единица измерения защиты системы, что предопределяет дальнейшие исследования по данной тематике, с привлечением ведущих институтов и лабораторий по безопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

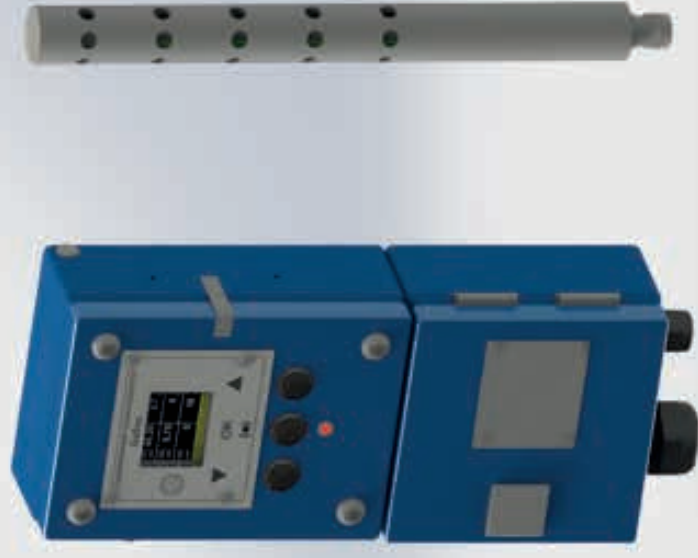
1. Умнов А.Е., Голик А.С. Палеев Д.Ю. Предупреждение и локализация взрывов в подземных условиях. М.: Недра, 1990.- 286с.
2. Руденко Ю.Ф., Палеев Д.Ю., Крайнов А.Ю. Взаимодействие ударной волны с водяным заслоном и взрывостойчивой перемычкой// Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности: Труды X международной научно-практической конференции – Кемерово: ИУУ СО РАН, 2008-306с.
3. Палеев Д.Ю., Лукашов О.Ю., Васенин И.М., Шрагер Э.Р., Крайнов А.Ю., Костеренко В.Н. Взаимодействие ударной волны метана с облаком порошкового ингибитора// Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов : научн. журнал / Сиб. гос. индустр. ун-т; под общей ред. В.Н. Фрянова.- Новокузнецк, 2017.- №3, С.377-381
4. Палеев Д.Ю., Лукашов О.Ю., Васенин И.М., Шрагер Э.Р., Крайнов А.Ю., Костеренко В.Н. Взаимодействие ударной волны метана с водяным заслоном// Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов : научн. журнал / Сиб. гос. индустр. ун-т; под общей ред. В.Н. Фрянова.- Новокузнецк, 2017.- №3, С.381-384
5. Палеев Д.Ю., Лукашов О.Ю., Васенин И.М., Шрагер Э.Р., Крайнов А.Ю., Костеренко В.Н. Гашение энергии ударной волны водяным заслоном при взрыве слоевого скопления метана// Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов : научн. журнал / Сиб. гос. индустр. ун-т; под общей ред. В.Н. Фрянова.- Новокузнецк, 2017.- №3, С.385-389
6. ГОСТ Р 55154-2012 Оборудование горно-шахтное. Системы безопасности угольных шахт многофункциональные. Общие технические требования. Национальный стандарт Российской Федерации. Дата введения 2014-01-01
7. Сайт: dprom.onlin .Безопасность. Развитие многофункциональных систем безопасности. Ваганов В.С.[текст] Дата обращения: 07.01.19. 18-24
8. Михайлов О.В., Полосухин А.С. Анализ современного состояния многофункциональных систем безопасности шахты // Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности: Труды XIII международной научно-практической конференции – Кемерово: СО РАН, КемНЦ СО РАН, ИУУ СО РАН, Кузбасский государственный технический университет, ООО КВК «Экспо - Сибирь», 2011-429с. с. 36-39

REFERENCES

1. Umnov, A. E., Golik A. S. Paleev, D. Yu., the Prevention and containment of explosions in the underground. M.: Nedra, 1990.- 286p.
2. Rudenko Yu. f., Paleev, D. Yu., Krainov A. Yu, Interaction of shock wave with a water barrier and shatter-resistant jumper// Energy security of Russia. New approaches to the development of the coal industry: Proceedings of the X international scientific-practical conference – Kemerovo: IUU SB RAS, 2008-306p.
3. Paleev, D. Yu., Lukashov O. Yu., Vasenin I. M., Schragger E. R., Krainov A. Yu., Kosarenko V. N. The interaction of shock wave with a cloud of methane inhibitor powder// high technologies of development and utilization of mineral resources : scientific. journal / Sib.state industry. University; under the General editorship of V. N. Franova.- Novokuznetsk, 2017.- No. 3, P. 377-381
4. Paleev, D. Yu., Lukashov O. Yu., Vasenin I. M., Schragger E. R., Krainov A. Yu., Kosarenko V. N. The interaction of shock waves of methane with water barrier// high technologies of development and utilization of mineral resources : scientific. journal / Sib.state industry. University; under the General editorship of V. N. Franova.- Novokuznetsk, 2017.- No. 3, P. 381-384
5. Paleev, D. Yu., Lukashov O. Yu., Vasenin I. M., Schragger E. R., Krainov A. Yu., Kosarenko V. N. The energy dissipation of a shock wave with a water barrier in the explosion of a layered accumulation of methane// high technologies of development and utilization of mineral resources : scientific. journal / Sib.state industry. University; under the General editorship of V. N. Franova.- Novokuznetsk, 2017.- No. 3, P. 385-389
6. GOST R 55154-2012 mining Equipment. Coal mine safety systems are multifunctional. General technical requirements. National standard of the Russian Federation. Date of introduction 2014-01-01
7. Website: dprom.onlin .Security. The development of multi-security systems. Vaganov V. S.
8. [text] date accessed: 07.01.19. 18-24
9. Mikhailov, O. V., Polosukhin, A. S. analysis of the current state of multifunctional mine safety systems. Energy security of Russia. New approaches to the development of the coal industry: Proceedings of the XIII international scientific and practical conference - Kemerovo: SB RAS, Kemnts SB RAS, IU SB RAS, Kuzbass state technical University, LLC KVK Expo – Siberia, 2011 - 429s. C. 36-39

СПЕЦИАЛИСТАМИ ООО «ГОРНЫЙ-ЦОТ» РАЗРАБОТАН,
ПРОШЕЛ ПРОМЫШЛЕННОЕ ИСПЫТАНИЕ И ПОЛУЧИЛ
СЕРТИФИКАТ СООТВЕТСТВИЯ ТАМОЖЕННОГО СОЮЗА -
СТАЦИОНАРНЫЙ ГАЗОАНАЛИЗАТОР ПАРАМЕТРОВ АТМОСФЕРЫ
В ЗОНЕ ОТРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА — **GASOS**.

Газоанализатор позволяет
производить одновременно до **6**
измерений различных газов, а также
температуры, относительной
влажности и абсолютного давления
одним блоком диффузионным
методом без пробоотборного
насоса.



indsafe.ru



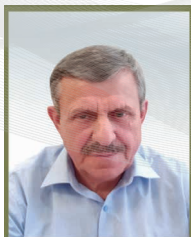
Б.Л. Герике/ B.L. Gerike
gbl_42@mail.ru

д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, 650056 г. Кемерово, проспект Ленинградский, 10
Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher, Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry, SB RAS, Kemerovo, Leningradsky Prospekt, 10, 650056, Kemerovo



Д.В. Копытин/ D.V. Kopytin
kopytin.denis@mail.ru

соискатель, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева», 650099 г. Кемерово, ул. Весенняя, 28
Applicant, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev", 650099 Kemerovo, st. Spring, 28



В.П. Тащиенко/ V.P. Tatsienko
v.tatsienko@gmail.com

д-р техн. наук, профессор кафедры «Горные машины и комплексы» Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева», 650099 г. Кемерово, ул. Весенняя, 28
Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Mining Machines and Complexes, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev, 650099 Kemerovo, st. Spring, 28

УДК 622.23:681.518.43

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОЦЕНКЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОМПЛЕКСОВ ГЛУБОКОЙ РАЗРАБОТКИ ПЛАСТОВ

THE EXPERIENCE OF USING DIGITAL TECHNOLOGIES IN ASSESSING THE TECHNICAL CONDITION OF DEEP FORMATION DEVELOPMENT COMPLEXES

Применение принципиально новых комплексов типа SHM для открыто-подземной разработке угольных пластов остро ставит проблему перехода от системы планово-предупредительных ремонтов к системе профилактического обслуживания по фактическому техническому состоянию узлов и агрегатов комплексов, которое определяется на основе использования диагностических методов. Наиболее приемлемым методом функциональной диагностики является метод, базирующийся на основе анализа механических колебаний, поскольку при изменении технического состояния машины вибрационная сигнатура также изменится, и изменение вибрационной сигнатуры может быть использовано для обнаружения зарождающихся дефектов до того, как они станут критическими.

На основе результатов диагностического обследования комплекса SHM-29 построены опорные спектральные маски для каждого из узлов и агрегатов, нормирующие уровень интенсивности вибрации в различных частотных областях спектров, которые были использованы для оценки их технического состояния. По результатам проведенного анализа были выявлены дефектные агрегаты, для которых были предложены мероприятия по их техническому обслуживанию.

The use of fundamentally new SHM-type complexes for open-underground mining of coal seams poses an acute problem of the transition from a scheduled preventive maintenance system to a preventive maintenance system based on the actual technical condition of the components and assemblies of the complexes, which is determined using diagnostic methods. The most acceptable method of functional diagnostics is a method based on the analysis of mechanical vibrations, because when the technical condition of the machine changes,

the vibration signature will also change, and the change in the vibration signature can be used to detect incipient defects before they become critical.

Based on the results of a diagnostic examination of the SHM-29 complex, reference spectral masks were constructed for each of the units and assemblies, normalizing the level of vibration intensity in various frequency spectral regions, which were used to assess their technical condition. According to the results of the analysis, defective units were identified for which measures for their maintenance were proposed.

Ключевые слова: ОТКРЫТО-ПОДЗЕМНАЯ РАЗРАБОТКА, КОМПЛЕКС ТИПА SHM, ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ, ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ПО ФАКТИЧЕСКОМУ СОСТОЯНИЮ, ВИБРОДИАГНОСТИКА.

Key words: OPEN-UNDERGROUND MINING, SHM TYPE COMPLEX, TECHNICAL CONDITION ASSESSMENT, ACTUAL CONDITION MAINTENANCE, VIBRATION DIAGNOSTICS.

Введение. Анализ использования основного технологического оборудования при добычи угля открытым и подземным способами свидетельствует об усиливающейся зависимости шахт и разрезов от поставок импортного оборудования и запасных частей к нему [1, 2]. Особенно это заметно при ведении открытых горных работ, где доля импортного оборудования достигает величины 84%, а при комбинированном открыто-подземном способе – 100%.

В этих условиях особо остро становятся вопросы технического обслуживания и ремонта этого оборудования [3]. Это связано с тем, что изменяются подходы к эксплуатации горношахтного и горнотранспортного оборудования, усложняется сама техника и технологические процессы её эксплуатации, ужесточаются требования промышленной и экологической безопасности. Большое количество разнообразных узлов и агрегатов, входящих в состав этого оборудования, имеют скрытый характер зарождения и развития неисправностей, что нередко становится причинами аварийных ситуаций, которые могут сопровождаться значительным экономическим и социальным ущербом, а также загрязнением окружающей среды [4]. Ряд аварий и техногенных катастроф различного масштаба последних лет заставляют по-новому переосмысливать требования к достоверности оценки текущего состояния оборудования и определению его остаточного ресурса с учетом последних достижений науки в области технической диагностики [5, 6].

На сегодняшний день на угольных предприятиях Кузбасса за основу принята система планово-предупредительных ремонтов оборудования, основной задачей которой является обеспечение работоспособности оборудования в течение заданного времени при минимальных затратах труда и материальных ценностей. Независимо от условий работы деталей и сбороч-

ных единиц горной техники ремонты планируются по одному из критериев:

- календарному (или машинному) времени работы;

- объему переработанной горной массы.

Все это приводит [7...10]:

- к недоиспользованию ресурса отдельных деталей, агрегатов и сборочных единиц горного оборудования;

- к выполнению увеличенного объема разборочно-сборочных работ, не соответствующих техническому состоянию механизмов и устройств, и в то же время, увеличению вероятности быстрого изнашивания деталей, вызываемой приработкой из-за частой разборки и сборки;

- к значительному времени нахождения горного оборудования в ремонте.

Система планово-предупредительных ремонтов во многих случаях может быть принята за основу при обслуживании несложных машин и механизмов, но для основного безрезервного оборудования ее применение нецелесообразно. Поэтому дальнейшее развитие системы ремонтов должно предусматривать:

- установление дифференцированных критериев оценки ресурса деталей, сборочных единиц и агрегатов горного оборудования, учитывающих конкретные условия их эксплуатации;

- назначение конкретных сроков и объемов работ при ремонтах горного оборудования в зависимости от фактического технического состояния его деталей, сборочных узлов и агрегатов.

Для решения всего спектра задач, связанных с повышением надежности работы оборудования и сокращением затрат на его обслуживание и ремонт, одной диагностической информации недостаточно [5, 6, 11]. Необходима реализация целого комплекса мероприятий, объединенных в рамках общей стратегии эффективной эксплуатации, обслуживания и ремонта оборудо-

дования. К таким мероприятиям относятся:

- достоверная оценка технического состояния всего парка технологического оборудования;

- своевременное выявление неисправностей и прогноз остаточного ресурса с использованием всего арсенала методов и средств технического диагностирования в рамках распределенного мониторинга;

- контроль агрегатов на всех этапах жизненного цикла (входной контроль в процессе монтажа, приемосдаточные испытания, эксплуатация, предремонтный контроль, ремонт, послеремонтный контроль).

Постановка задачи. В мировой практике уже несколько десятилетий успешно применяется система разработки «Superior Highwaal Miners» для добычи каменного угля открыто-подземным способом [12, 13]. Модели SHM-28 и SHM-29, произведенные фирмой SHM (г. Беркли, штат Вирджиния, США) являются первыми машинами такого рода, работающими в России. Эти системы являются идентичными и позволяют разрабатывать уголь из борта карьера на глубину до 270 м. Регулируемая высота качания исполнительного органа от 1,2 м до 3 м позволяет производить эффективную выемку угля из пластов мощностью от 1,3 до 3,0 м.

Опыт эксплуатации двух комплексов SHM-28 и SHM-29 на разрезе «Распадский» в начале 21 века [14, 15] показал хорошие результаты по добыче угля комбинированным открыто-подземным способом, но и показал некоторые недостатки, присущие этому комплексу. Так, отсутствие сервисной службы требовало повышенного внимания к техническому состоянию узлов и агрегатов комплексов, выход из строя которых приводил к продолжительным простоям и значительным затратам времени и валютных средств для восстановления их работоспособности. Это, в свою очередь, потребовало создания и внедре-



Рисунок 1. Общий вид комплекса Superior Highwaal Miners

Figure 1. General view of the Superior Highwaal Miners complex

ния системы профилактического обслуживания комплексов SHM на базе результатов диагностического обследования технического состояния и прогнозирования его изменения.

Методика проведения исследований. Для контроля технического состояния механического оборудования хорошо зарекомендовал себя метод вибрационного контроля [7, 10, 16], который позволяет обнаруживать до 77% возможных износных отказов. Вибрационная диагностика применяется:

- для контроля текущего состояния оборудования;

- для разделения множества возможных технических состояний агрегата на два подмножества – исправных и неисправных;

- для обнаружения возможного дефекта на ранней стадии и прогнозирование его развития во времени;

- для снижения риска возникновения аварийной ситуации;

- для оценки остаточного ресурса, сроков и объемов ремонтных работ.

Ряд методов вибродиагностики основан на том, что определенные механические дефекты по мере развития генерируют вибрацию в определенных частотных полосах с определенным соотношением величин параметров. Таким образом, производя разбиение частотного диапазона измерений на сравнительно узкие, возможно перекрывающиеся, частотные полосы и применяя индивидуальные для каждой полосы допустимые значения и критерии, можно распознавать появление ряда зарождающихся дефектов.

Определение технического состояния по спектральным опорным маскам позволяет определять дефекты в различных частотных диапазонах:

- $(0,5...2,5) \times f_r$ – для обнаружения дисбаланса и расцентровки;

- $(7,5...15,5) \times f_r$ – для обнаружения дефектов в подшипниках качения;

- $(2,5...10,5) \times f_r$ – для предупреждения о нарушениях жесткости;

- $(0,1...0,9) \times f_r$ – для обнаружения дефектов масляного клина подшипников скольжения;

- $(z \pm 1) \times f_r$ – для распознавания дефектов зубчатых муфт и зубчатых передач.

Здесь f_r – частота вращения приводного двигателя, z – число зубьев.

Для определения «нормального» состояния оборудования комплексов горных типа SHM был использован метод «средненормального» состояния – когда в качестве критериев «нор-

Таблица 1. Опорные спектральные маски
Table 1. Reference spectral masks

Частотная полоса	Тревога	Предупреждение
	Коэффициенты к среднеквадратическому значению виброскорости $V_{скз}$	
10... 1000 Гц	1	0,63
2 (10) Гц ... $1,5 \times f_r$	0,75	0,50
$2 \times f_r$	0,50	0,32
$(3...4) \times f_r$	0,32	0,20
$(5...20) \times f_r$	0,40	0,25
$(21...50) \times f_r$	0,25	0,20
Пиковое значение виброускорения, $m \cdot c^{-2}$		
1 ... 10 кГц	40	20

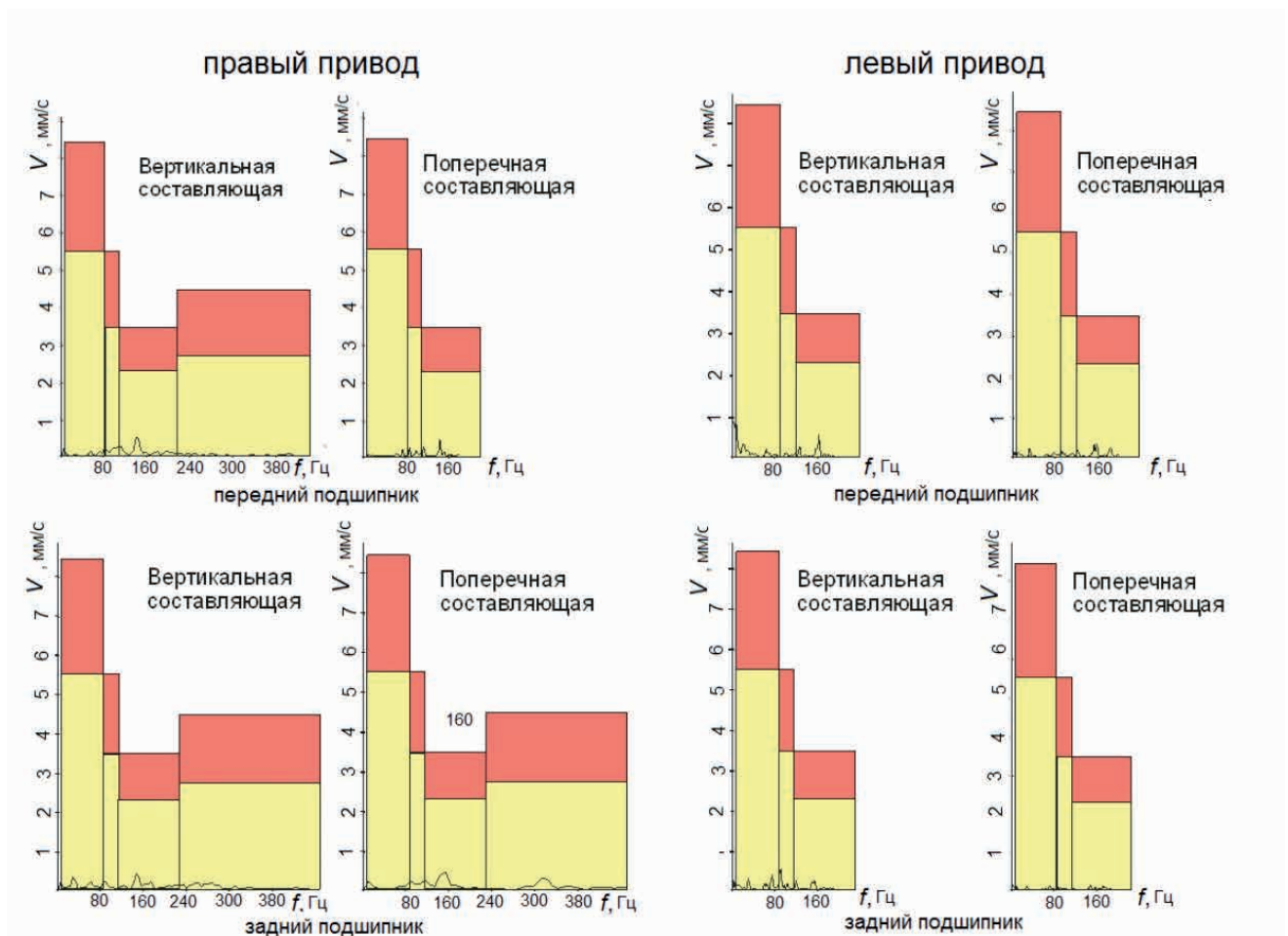


Рисунок 2. Обобщенные спектральные маски для приводов режущей части комплекса Superior Highwaal Miners
Figure 2. Generalized spectral masks for the drives of the cutting part of the Superior Highwaal Miners complex

мального» состояния принимались среднестатистические величины контролируемых параметров заведомо работоспособного агрегата, полученные при обработке результатов нескольких периодических измерений.

Выбор того или иного типа определения границы «хорошего» состояния зависит от статистического разброса данных замеров.

В первую очередь из данных, предназначенных для анализа, были исключены вызывающие сомнение в их достоверности. Для проверки однородности выборки, характеризующей достоверность статистических выводов, и исключения из дальнейшей обработки резко отклоняющихся значений, связанных с ненормальной работой агрегатов, целесообразно использовать критерий грубых ошибок наблюдений при допущении, что полученный экспериментальный ряд значений вибрации (выборка) подчиняется нормальному закону распределения

$$X_{np} = X_m + S q_{q,n}, \quad (1)$$

где X_m – среднее арифметическое результатов измерений; S – оценка среднеквадратического отклонения результатов измерений; $q_{q,n}$ – квантиль распределения величины, взятый из таблиц для уровня значимости $\alpha = 99\%$ ($q_{q,n} = 3$)

В соответствии с требованиями таблицы 1 были построены опорные спектральные маски, характеризующие каждый тип агрегатов, используемых на комплексах типа SHM.

На рисунке 2 в качестве примера приведены опорные спектральные маски левого и правого приводов рабочего органа (рис. 1), на которых желтым цветом выделена граница «предупреждение», а оранжевым – граница «тревога». Превышение границы «предупреждение» свидетельствует о переходе из удовлетворительного технического состояния в предельно допустимое, а превышение границы «тревога» – о переходе их предельно допустимого технического состояния в недопустимое.

Аналогичным образом были построены опорные спектральные маски для всех агрегатов, используемых на комплексах типа SHM (привода рабочего органа, привода погрузчика, приводов шнековых конвейеров, приводов маслостанции и насоса системы охлаждения, приводов скребкового конвейера и ленточного перегружателя).

Результаты исследований. Работа по проведению вибродиагностического обследования была проведена в соответствии с требованиями стандарта ГОСТ ISO 10816-1-97 «Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях»

и ГОСТ 12.1.012-2004 «Вибрационная безопасность. Общие требования».

Измерения и анализ параметров вибрации произведены с использованием коллектора/анализатора данных Кварц CU-060 №15 и программного обеспечения Диамант 2.04.

На первом этапе работы классификация технического состояния механического оборудования произведена в соответствии со следующей шкалой оценок:

хорошо – сборка узлов машинного агрегата оптимальна, вероятность появления дефектов на протяжении длительной эксплуатации минимальна ($V_{СКЗ} \leq 1,8$ мм/с);

удовлетворительно – сборка узлов обеспечивает минимальную вероятность появления эксплуатационных дефектов на протяжении межремонтного пробега ($1,8 < V_{СКЗ} \leq 4,5$ мм/с);

допустимо – повышенная вероятность преждевременного выхода узла из строя, машинный агрегат требует ремонта, повышенный уровень механических колебаний должен быть устранен ($4,5 < V_{СКЗ} \leq 11,2$ мм/с);

недопустимо – дальнейшая эксплуатация может привести к аварийному отказу машинного агрегата ($V_{СКЗ} > 11,2$ мм/с).



Рисунок 3. Привода скребкового конвейера (а) и ленточного перегружателя (б) комплекса Superior Highwaal Miners
Figure 3. Scraper conveyor drive (a) and belt conveyor (b) of Superior Highwaal Miners

Таблица 2. Интенсивность вибрации в приводе ленточного перегружателя
Table 2. Intensity of vibration in the drive of a tape loader

ПРИВОД ЛЕНТОЧНОГО ПЕРЕГРУЖАТЕЛЯ		$V_{СКЗ}$, мм/с	Оценка технического состояния
Контрольная точка			
ИД	Описание		
1Вер	Двигатель, задний подшипник	10,5	Предельно допустимо
1Поп	Двигатель, задний подшипник	6,5	Допустимо
2Вер	Редуктор, передний подшипник выходного вала	20,7	Недопустимо
2Поп	Редуктор, передний подшипник выходного вала	16,6	Недопустимо

Применение опорных спектральных масок ускорило процесс анализа полученных данных, поскольку из анализа были исключены те результаты, в которых уровень вибрационного сигнала не превышал уровня «предупреждение». Для анализа были выбраны 2 агрегата, привод скребкового конвейера и привод ленточного перегружателя (рис. 3), у которых были обнаружены дефекты, возникшие при их эксплуатации.

По общему уровню интенсивности вибрации техническое состояние привода ленточного перегружателя оценивается как недопустимое. Максимальная величина интенсивности вибрации зафиксирована на переднем подшипнике выходного вала редуктора (таблица 2).

На рисунке 4 приведены спектры вибрации на заднем подшипнике приводного гидродвигателя гидродвигателя ленточного перегружателя, а на рисунке 5 – на выходном валу редуктора.

Спектральный анализ механических колебаний указывает на недопустимый дисбаланс выходного вала редуктора (а, следовательно, приводного барабана перегружателя), причем амплитуды спектральных компонент на частоте ≈ 5 Гц достигают недопустимых величин (например, в вертикальной составляющей виброскорости, измеренной во 2 контрольной точке,

амплитуда этой компоненты равна 17,03 мм/с). Кроме того, в спектре отмечаются зубцовые частоты (вторичные признаки проявления недопустимого дисбаланса). Результаты анализа позволяют утверждать о необходимости балансировки выходного вала редуктора и приводного барабана.

По общему уровню интенсивности вибрации техническое состояние привода скребкового конвейера также оценивается как **недопустимое**.

Максимальная величина интенсивности вибрации зафиксирована на заднем подшипнике двигателя (таблица 3).

Максимальная зафиксированная величина $V_{СКЗ} = 13,7$ мм/с свидетельствует о недопустимом уровне вибрации приводного электродвигателя (см. рис. 6).

Спектральный анализ механических колебаний указывает на недопустимый дисбаланс ротора электродвигателя. Техническое состояние редуктора – допустимое (в спектре механических колебаний отмечаются зубцовые частоты). В качестве рекомендаций можно сделать вывод о необходимости двухплоскостной балансировки ротора электродвигателя и ревизии редуктора.

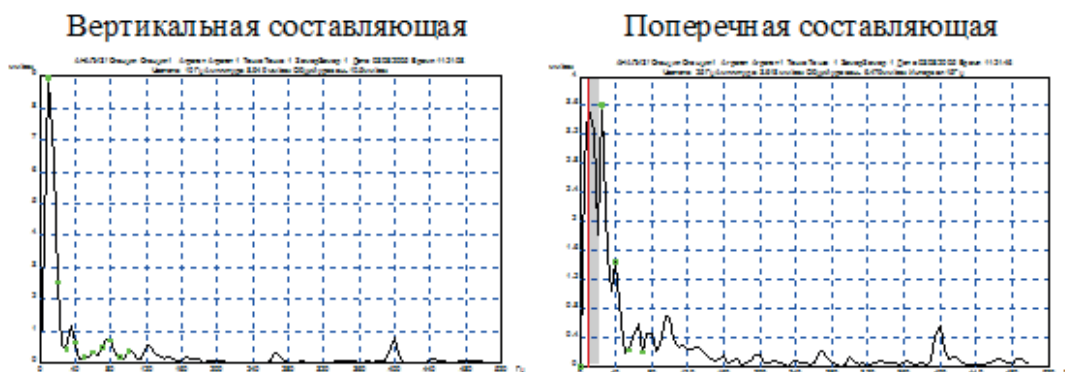


Рисунок 4. Интенсивность вибрации на заднем подшипнике гидродвигателя ленточного перегружателя
Figure 4. Vibration intensity on the rear bearing of the belt conveyor hydraulic motor

Таблица 3. Интенсивность вибрации в приводе скребкового конвейера
 Table 3. Vibration intensity in the drive of the scraper conveyor

ПРИВОД СКРЕБКОВОГО КОНВЕЙЕРА		$V_{СКЗ}$, мм/с	Оценка технического состояния
Контрольная точка			
ИД	Описание		
1Вер	Двигатель, задний подшипник	13,7	Недопустимо
1Поп	Двигатель, задний подшипник	10,2	Предельно допустимо
2Вер	Двигатель, передний подшипник	10,3	Предельно допустимо
2Поп	Двигатель, передний подшипник	9,7	Предельно допустимо
3Вер	Двигатель, корпус переднего подшипника	9,9	Предельно допустимо
3Поп	Двигатель, корпус переднего подшипника	11,2	Недопустимо
4Вер	Редуктор, передний подшипник входного вала	2,6	Удовлетворительно
4Поп	Редуктор, передний подшипник входного вала	4,3	Удовлетворительно
5Вер	Редуктор, задний подшипник входного вала	6,4	Допустимо
5Поп	Редуктор, задний подшипник входного вала	5,0	Допустимо

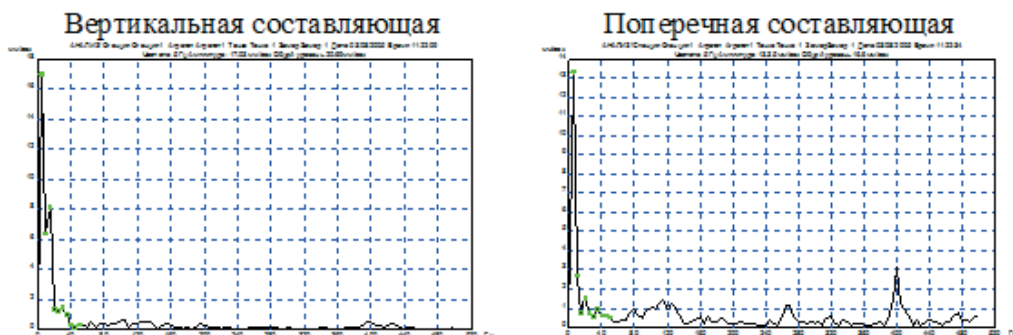


Рисунок 5. Интенсивность вибрации на редукторе ленточного перегружателя
 Figure 5. Vibration intensity on the belt conveyor gearbox

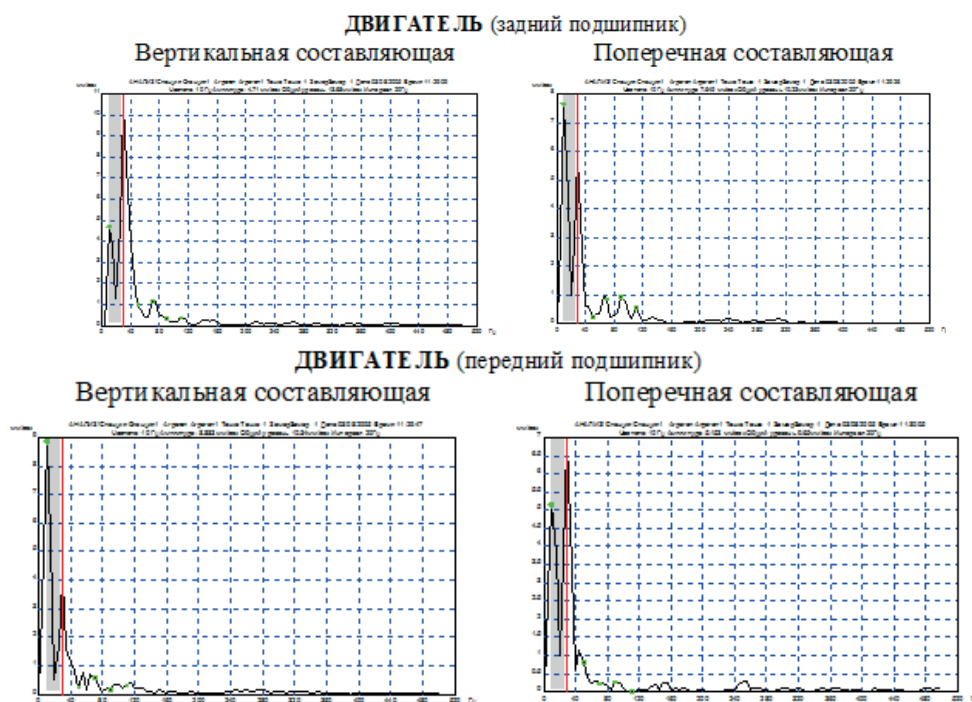


Рисунок 6. Интенсивность вибрации на двигателе скребкового конвейера
 Figure 6. Vibration intensity on the scraper conveyor motor

Обсуждение результатов. Выполнение вышеуказанных требований и рекомендаций позволит существенно повысить срок службы отдельных узлов и агрегатов комплекса SHM-29 и избежать выхода оборудования из строя, что в конечном счете положительным образом скажется на производительности комплекса в целом и позволит минимизировать издержки, связанные с внезапными отказами.

Как известно, наиболее эффективным из методов вибродиагностики является постоянный (не реже двух раз в месяц) мониторинг, позволяющий своевременно получать точную и достоверную информацию о состоянии оборудования. Особенно актуальной представляется эта

задача для комплексов типа SHM, не имеющих в России сервисной службы технического обслуживания. Мониторинг технического состояния комплексов типа SHM позволит создать нормативно-методическую базу оценки и прогнозирования технического состояния по параметрам механических колебаний (для чего потребуется значительный объем статистической информации, необходимой для построения прогностических моделей). Кроме того, мониторинг вибрационных параметров позволит не только своевременно выявлять зарождающиеся дефекты и оценивать степень их опасности, но и явится основой для разработки экспертной системы диагностики подобных комплексов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рожков А.А., Карпенко Н.В. Анализ использования отечественного и зарубежного технологического оборудования на угледобывающих предприятиях России. // Уголь. 2019, №7. – С.58-64.
2. К вопросу импортозамещения и локализации производства основного технологического оборудования в угольной промышленности России. /А.А. Рожков, Л.И. Кантович, А.А. Грабский, Е.П. Грабская. // Горное оборудование и электромеханика. 2018. № 2. – С. 50-57.
3. Герике Б.Л., Сушко А.Е., Герике П.Б. Внедрение цифровых технологий в области диагностики, обслуживания и ремонта горных машин и оборудования. // Техника и технология горного дела. 2018. № 3. – С. 19-28.
4. Указ Президента Российской Федерации от 31 декабря 2015 г. № 683 «Стратегия национальной безопасности Российской Федерации».
5. Предложения по внедрению на предприятии концепции технического обслуживания и ремонта горнотранспортной техники и оборудования. / И.М. Щадов, В.Ю. Конюхов, А.В. Чемезов, Т.С. Беляевская// ГИАБ – № 12. – 2015. – С. 134-143.
6. Клишин В.И., Писаренко М.В. Научное обеспечение инновационного развития угольной отрасли.// Уголь, № 9. – 2014. – С. 42-46.
7. Kelly, S. Graham. Advanced vibration analysis. 2013. – 637 p. — (Dekker mechanical engineering).
8. Anil Rana, (2016). Optimal maintenance level of equipment with multiple components, Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol. 22 Iss: 2, pp.180 – 187.
9. Ierace S., Cavalieri S. An analytic hierarchy process based model for the selection of decision categories in maintenance systems // Management and Production Engineering Review. 2013. Vol. 4. No. 2. P. 37–49.
10. Построение системы интеллектуального обслуживания редукторов горношахтного оборудования. / Б.Л. Герике, В.И. Клишин, Е.Ю. Пудов, Е.Г. Кузин// Горный журнал. № 12, 2017. – С. 68 – 73.
11. Травин А.А. Контроль вибрации машин при производстве.// ГИАБ – № 6. – 2017. – С. 172-176.
12. Kelly M. and other. (1998). Investigation in Highwaal Mining Instability, Pit 16BL South, Moura Mine, QLD. CSIRO Exploration and Mining Report # 467C (Confidential).
13. Shen Baotang. Highwaal Mining Stability – Taishan Academic Forum – Project on Mine Disaster Prevention and Control. – October, 17-20 Qingdao, China. – Atlantis Press. Amsterdam, Paris, Beijing. 2014. P. 184-189.
14. Нецветаев А. Г. Технология добычи угля с применением комплексов глубокой разработки пластов. / А.Г. Нецветаев, Л. П. Репин, А. В. Соколовский.//Уголь. – № 11. – 2004. – С. 41-43.
15. Опыт вибродиагностического обследования горнодобывающего комплекса «SUPERION HIGHWELL MINERS». / Б. Л. Герике, П. Б. Герике, И. Л. Абрамов, Д. В. Копытин.// Вибрация машин: измерение, снижение, защита, №3. – Донецк. – 2005. – С. 19-22.
16. Краковский Ю. М. Математические и программные средства оценки технического состояния оборудования. Новосибирск: Наука, СО, 2005. – 200 с.

REFERENCES

1. Rozhkov, A. A., & Karpenko, N. V. (2019). Analysis of the use of domestic and foreign technological equipment at coal mining enterprises of Russia. Ugol -Coal, (7), 58–64. [In Russian]
2. Rozhkov, A. A., Kantovich, L. I., Grabskiy, A., & Grabskaya, Y. P. (2018). On the issue of import substitution and localization of production of basic technological equipment in the Russian coal industry. Gornoye Oborudovaniye i Elektromekhanika -Mining Equipment and Electromechanics, (2), 50–57. [In Russian]
3. Gerike, B.L., Sushko A.E., Gerike P.B. (2018). Introduction of digital technologies in the field of diagnostics, maintenance and repair of mining machinery and equipment. Technique and technology of mining, 3, 19-28 [In Russian]
4. (2015). Decree of the President of the Russian Federation dated December 31, 2015 No. 683 “Strategy for the National Security of the Russian Federation”. [In Russian]
5. Shchadov, I.M., Konyukhov, V.Yu., Chemezov, A.V., & Belyaevskaya, T.S.. (2015) Proposals for the implementation of the concept of maintenance and repair of mining transportation machinery and equipment at the enterprise. GIAB, 12, 134-143. [In Russian]

6. Klishin, V.I., Pisarenko, M.V. (2014). Scientific support for the innovative development of the coal industry. Ugol - Coal, 9, 42-46. [In Russian]
7. Kelly, S. (2013). Graham. Advanced vibration analysis. Dekker mechanical engineering.
8. Anil Rana, (2016). Optimal maintenance level of equipment with multiple components, Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol. 22 Iss: 2, pp. 180 - 187.
9. Ierace, S., Cavalieri, S. (2013) An analytic hierarchy process based model for the selection of decision categories in maintenance systems. Management and Production Engineering Review, 4 (2), 37-49.
10. Guericke, B.L., Klishin, V.I., Pudov, E.Yu., Cousin, E.G. (2017) Construction of a system of intelligent maintenance of mining gearboxes. Mountain Journal, 12, 68 - 73. [In Russian]
11. Travin, A.A. (2017). Vibration control of machines in production. GIAB, 6, 172-176. [In Russian]
12. Kelly, M. etc. (1998). Investigation in Highwaal Mining Instability, Pit 16BL South, Moura Mine, QLD. CSIRO Exploration and Mining Report # 467C (Confidential).
13. Baotang, S. (2014) Highwaal Mining Stability - Taishan Academic Forum - Project on Mine Disaster Prevention and Control. - October, 17-20 Qingdao, China. - Atlantis Press. Amsterdam, Paris, Beijing, 184-189.
14. Netsvetaev, A. G, Repin, L.P., Sokolovsky, A.V. (2004) Coal mining technology using deep seam mining complexes. Ugol - Coal, 11, 41-43. [In Russian]
15. Gerike, B. L., Gerike, P. B., Abramov, I. L., Kopytin, D. V. (2005). Experience in vibrodiagnostic inspection of the mining complex "SUPERION HIGHWELL MINERS". Machine vibration: measurement, reduction, protection, 3, 19-22. [In Russian]
16. Krakovsky, Yu. M. (2005). Mathematical and software tools for assessing the technical condition of equipment. Novosibirsk: Nauka, SB. [In Russian].



ДАТЧИКИ КОНТРОЛЯ ЗАПЫЛЕННОСТИ (ДЛЯ ВСЕХ ВИДОВ ПЫЛИ)

Уникальные запатентованные разработки
ООО «Горный-ЦОТ»

- Датчик **ИЗСТ-01** для контроля рабочей зоны
- Датчик **ИЗСТ-mini** для контроля СЗЗ, городов и объектов с низкой запыленностью (2,5PM, 10PM)
- Система контроля пылеотложения, запыленности и дисперсного состава **СКИП** с использованием элементов нейросети
- Переносной прибор контроля запыленности **ПКА-01**

Применяются на всех угольных предприятиях
Кузбасса, РФ и зарубежом



■ М.В. Баланова // M.V. Balanova

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС), 344038, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д.2, Научный сотрудник НПЦ «Охрана труда», аспирант
Rostov State Transport University (RSTU), 344038, Rostov-on-Don, square Rostov Rifle Regiment of the national Militia, d. 2, Researcher NPTS "labour Protection", post-graduate student

УДК656.2 + 06

ВЫВОД ЗАВИСИМОСТЕЙ АКУСТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ВНУТРЕННИХ ИСТОЧНИКОВ В КАБИНЕ КРАНА НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ХОДУ

THE OUTPUT OF THE DEPENDENCY OF ACOUSTIC IMPACT OF DOMESTIC SOURCES IN THE CRANE CABIN ON RAILWAY TO THE COURSE

Кабины кранов на железнодорожном ходу, как и основное большинство кабин транспортных средств, представляют собой тонкостенные коробчатые оболочки прямоугольного профиля, внутри которых располагается рабочее место крановщика. Исследование процесса шумообразования в кабине на рабочем месте машиниста крана проводится при условиях, когда основные источники шума являются широкополосными излучателями, звуковое давление и звуковая мощность от различных источников определяются по принципу энергетического суммирования, замкнутый объем характеризуется средним значением коэффициента звукопоглощения. Шумовые характеристики внутри кабины формируются за счет одновременного воздействия источников воздушного шума (внутренних и внешних) и структурного шума, передаваемого через раму на элементы ограждения кабины.

Crane cabins on the railway track, as well as the majority of the cabins of vehicles, are thin-walled box shell rectangular profile, inside which is the workplace of the crane operator. The study of the process of noise formation in the cockpit at the workplace of the crane operator is carried out under conditions when the main sources of noise are broadband emitters, sound pressure and sound power from various sources are determined by the principle of energy summation, the closed volume is characterized by an average sound absorption coefficient. Noise characteristics inside the cabin are formed due to the simultaneous impact of air noise sources (internal and external) and structural noise transmitted through the frame to the elements of the cabin fence.

Ключевые слова: ИСТОЧНИКИ ШУМА, РАБОЧЕЕ МЕСТО, АКУСТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА, ЗВУКОВОЕ ПОЛЕ

Key words: NOISE SOURCE, WORKSTATION, SPEAKER SYSTEM, SOUND BOX

Введение. Шум, воздействующий на машиниста крана на железнодорожном ходу, можно разделить на несколько групп.

К первой относится шум при движении крана, когда возникают динамические силы взаимодействия подвижного состава и железнодорожного пути, завихрения воздушных потоков при высоких скоростях. Уровни такого шума меняются в зависимости от профиля и участка железнодорожного пути, графика движения и др. Во время движения крана на

железнодорожном ходу происходят соударения на неровностях поверхности колеса и рельса, взаимные удары автосцепных устройств. Шум в данном случае представляет собой нестационарные случайные импульсные процессы.

Ко второй группе можно отнести шум от основного (дизель-генераторная установка, тяговые электродвигатели и редукторы) и вспомогательного (выпрямительные установки, вентиляторы охлаждения, электрические машины и вентиляционно-отопительная система кабины)

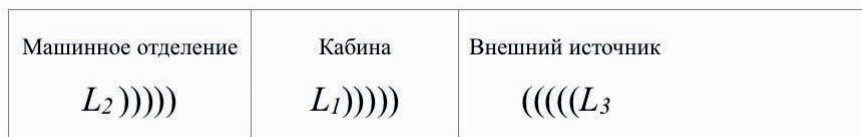


Рисунок 1 Расчетная схема воздушной составляющей шума
Figure 1 Design diagram of the air component of noise

оборудования крана. Так, например, уровень звуковой мощности вентилятора тесно связан с его параметрами, так как шум происходит в замкнутом пространстве кабины. У правильно спроектированного вентилятора преобладает шум аэродинамического происхождения, так как при увеличении скорости вращения колеса шум, создаваемый лопастями вентилятора, растет быстрее, чем его механическая составляющая.

Основная часть. Кабины кранов на железнодорожном ходу, как и большинство кабин транспортных средств, представляют собой тонкостенные коробчатые оболочки прямоугольного профиля, внутри которых располагается рабочее место крановщика. Исследование процесса шумообразования в кабине на рабочем месте машиниста крана проводится при следующих условиях:

- основные источники шума являются широкополосными излучателями;
- звуковое давление и звуковая мощность от различных источников определяются по принципу энергетического суммирования;
- замкнутый объем характеризуется средним значением коэффициента звукопоглощения;
- шумовые характеристики внутри кабины формируются за счет одновременного воздействия источников воздушного шума (внутренних и внешних) и структурного шума, передаваемого через раму на элементы ограждения кабины.

Для акустической системы объекта исследования характерными особенностями формирования воздушной составляющей шума являются следующие: звуковое поле в кабине машиниста крана формируется одновременным вкладом звука, излучаемого внутренними источниками L_1 , звука, пройденного из машинного отделения, который определяется звуковым излучением силовой установки L_2 , и звука, пройденного в кабину от внешних источников L_3 .

Расчетная схема воздушной составляющей шума приведена на рис.1. Источниками внутреннего шума в кабинах являются вентиляторы, кондиционеры, двигатели внутреннего сгорания. Их излучение происходит в замкнутое внутреннее пространство, и уровни воздушного

шума в кабине и моторном отделении определяются на основе данных работы [1] по формуле (1), которая применительно к рассматриваемым в статье кабинам примет следующий вид:

$$L = L_{wi} + 10 \lg \left(\frac{0.04}{r^2} + \frac{S_i - \sum_1^{k*} \alpha_i S_i}{S \sum_1^{k*} \alpha_i S_i} \right) + 6, \quad (1)$$

где L_{wi} - уровни звуковой мощности источников, дБ;

r - расстояние от источника шума до расчетной точки, м;

S - площадь внутренней поверхности, м²;

$S_i - \alpha_i$ - площадь и коэффициент звукопоглощения соответствующего элемента кабины или машинного отделения.

Для моторного отделения L_{wi} уровни звуковой мощности силовой установки формула имеет вид:

$$L_w = 10 \lg (10^{0.1L_1} + 10^{0.1L_2} + 10^{0.1L_3}), \quad (2)$$

Зависимость уровней звуковой мощности в кабине машиниста крана, создаваемой акустическим излучением силовой установки, на основе данных работ Иванова Н.И. [2] приведено к следующему виду:

$$L_2 = L_w + 10 \lg \left(\frac{0.04}{r^2} + \frac{S_n - \sum \alpha_{in} S_{in}}{S_n \sum \alpha_{in} S_{in}} \right) \left(\frac{0.04}{r^2} + \frac{S_n - \sum \alpha_{in} S_{in}}{S_n \sum \alpha_{in} S_{in}} \right) - 3U_{nep} + 10 \lg \frac{S_k - 1.3 \sum_1 \alpha_{ik} S_{ik}}{S_k (S_k - \sum_1 \alpha_{ik} S_{ik})} + 10 \lg S_{nep} + 6, \quad (3)$$

где $3U_{nep}$ - звукоизоляция перегородки между кабиной и машинным отделением, дБ;

индексы n и k относятся к машинному отделению и кабине.

Для практических расчетов удобнее пользоваться уровнями звукового давления, а не звуковой мощностью, используя соотношения [2] между звуковым давлением, интенсивностью звука, звуковой мощностью, скоростью звука и плотностью воздуха. В этом случае зависимость уровней звукового давления примет вид:

$$L_p = L_w - 10 \lg S_u, \quad (4)$$

где L_p - уровни звукового давления, дБ;

S_u - площадь источника звука, м².

К внешним источникам шума следует отнести доли выпуска шума двигателя внутреннего сгорания и доли шума системы «рельс-колесо». Вывод зависимостей уровней шума в кабине машиниста крана основан

на следующих допущениях: шум двигателя внутреннего сгорания проникает в кабину через боковые стенки и потолок.

Шум от системы «колесо-рельса» проникает в кабину через пол. На основе данных работ [2-4] зависимость для расчета воздействия внешних источников приведена к виду:

$$L = L_p - 20 \lg r + 10 \lg(1 - \alpha_3) (14 + S_k B_k) - 3I_0 + 2,$$

где L_p – уровни звукового давления, излучаемые рельсом, дБ;

$3I_0$ – звукоизоляция остекления, дБ;

α_3 – коэффициент звукопоглощения верхнего строения пути, составляющий по данным работы [2].

Уровни звукового давления, создаваемые в кабине звуковым излучением выпуска двигателя внутреннего сгорания, то есть уровни шума, пройденные через несущие элементы кабины, определяются по формуле:

$$L_1^* = L_w^* + 10 \lg \left(\frac{0.04}{r^2} + \frac{S_k - \sum_1^3 \alpha_i S_{ki}}{S_k \sum_1^3 \alpha_i S_{ki}} \right) - 10 \lg \frac{\sum_1^3 S_{ki}}{\sum_1^3 10 S_{ki} 10^{-0.1(3u_{ki} + t_{oi})}} + 6, \quad (5)$$

Уровни звукового давления, пройденные в кабину через элементы остекления, определяются по формуле:

$$L_2 = L_w + 10 \lg \left(\frac{0.04}{r^2} + \frac{S_k - \sum_1^3 \alpha_i S_{ki}}{S_k \sum_1^3 \alpha_i S_{ki}} \right) - 10 \lg \frac{\sum_1^2 S_{oi}}{\sum_1^2 S_{oi} 10^{-0.1(3u_{oi} + t_{oi})}} + 6, \quad (6)$$

где u_{ki} и u_{oi} – звукоизоляция элементов несущей части кабины и остекления, дБ;

S_{oi} – площадь соответствующего элемента остекления, м²;

t_{oi} – добавка к звукоизоляции соответствующего элемента ограждения кабины (таблица 1) [2].

Уровни шума, пройденные в кабину от системы «колесо-рельс», определяются как:

$$L_{kn} = L_{w_{kn}} - 20 \lg R_{kn} + 10 \lg(1 - \chi_c) - 3u_{пол} + 10 \lg \left(\frac{0.04}{r^2} + 1 \right) - 2, \quad (7)$$

где R_{kn} – расстояние от колеса до расчетной точки, м;

$u_{пол}$ – звукоизоляция пола, дБ;

χ_c – коэффициент звукопоглощения отражающей поверхности (балластного слоя) приведен в таблице 2.

Уровни звукового давления в кабине от воздействия акустического излучения внешних источников определяются как:

$$L_3 = 10 \lg(10^{0.1L_1} + 10^{0.1L_2} + 10^{0.1L_3}), \quad (8)$$

Таблица 1. Дифференциальные поправки к звукоизоляции кабины
Table 1. Differential corrections to cab sound insulation

Расположение элементов ограждения к источнику	Элементы ограждения	Усредненные значения поправок, дБ в октавных полосах частот, Гц						
		125	250	500	1000	2000	4000	8000
0,1 < r < 2.0	Боковые стенки потолок	7	7	7	7	7	9	9
		7	7	7	7	7	9	9
		8	8	8	8	8	10	10
r < 2.0	Боковые стенки потолок	9	9	9	9	9	13	17
		9	9	9	9	9	13	17
		9	9	9	9	9	15	18

Таблица 2. Коэффициент звукопоглощения отражающей поверхности
Table 2. The sound absorption coefficient of the reflecting surface

Отражающая поверхность	Коэффициент χ_c в октавных полосах частот, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
бетон	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05	0,06	0,06
гравий	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05	0,06	0,06
песок	0,1	0,33	0,1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7

Выводы. Изучены закономерности формирования виброакустических характеристик в кабинах железнодорожных кранов на рабочих местах машинистов, учитывающие одновременное воздействие

воздушной составляющей, создаваемой внутренними и внешними источниками, а также компоновкой кузова и расположением источников относительно расчетной точки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисов Л.П., Гужас Д.Р. Звукоизоляция в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1990. – 250 с.
2. Иванов Н.И. Борьба с шумом и вибрациями на путевых и строительных машинах. – М.: Транспорт, 1987. – 223 с.
3. Колесников И.В. Способы снижения шума и вибраций при проектировании, производстве и эксплуатации железнодорожного подвижного состава / И.В. Колесников, С.Ф. Подуст, С.С. Подуст, А.Н. Чукарин // Монография. – М.: ВИНТИ РАН, 2015. – 216 с.
4. Месхи, Б.Ч. Улучшение условий труда операторов кранов путем снижения шума в кабинах (теория и практика) // Месхи Б.Ч., Вилинов И.Е., Чукарин А.Н., Богуславский И.В. // монография. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2010. – 200 с.
5. Финоченко Т.А., Переверзев И.Г., Баланова М.В. Физические факторы, воздействующие на надежность работы машинистов кранов на железнодорожном ходу // Надежность. 2019. №1. С. 36-39. DOI: 10.21683/1729-2646-2019-19-1-36-39
6. Идентификация производственных факторов, влияющих на условия труда работников локомотивных бригад тепловозов и мотовозов / Финоченко Т.А., Яицков И.А., Чукарин А.Н. // Инженерный вестник Дона, 2017, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4438

REFERENCES

1. Borisov, L.P., Guzhas, D.R. (1990). Sound insulation in mechanical engineering. Moscow: Mechanical Engineering. [In Russian].
2. Ivanov, N.I. (1987). The fight against noise and vibration on track and construction machines. Moscow: Transport. [in Russian]
3. Kolesnikov, I.V., & etc. (2015). Ways to reduce noise and vibration in the design, manufacture and operation of railway rolling stock. Monograph. Moscow: VINITI RAS. [In Russian]
4. Meskhi, B.Ch., Vilinov, I.E., Chukarin, A.N., & Boguslavsky, I.V. (). Improving the working conditions of crane operators by reducing noise in cabs (theory and practice). Monograph. Rostov-na-Donu: Publishing center DGTU. [In Russian].
5. Finochenko, T.A., Pereverzev, I.G., Balanova, M.V. (2019). Physical factors affecting the reliability of crane operators on the railway. Reliability, 1, 36-39. DOI: 10.21683 / 1729-2646-2019-19-1-36-39
6. Finochenko, T.A., Yaitzkov, I.A., Chukarin, A. N. (2017). Identification of production factors affecting the working conditions of workers of locomotive crews of diesel locomotives and motor vehicles. Engineering Bulletin of the Don., 4 Recived from: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4438

ООО "ГОРНЫЙ-ЦОТ"

серийно производит приборы контроля параметров безопасности атмосферы для промпредприятий и экологического мониторинга, которые успешно эксплуатируются на предприятиях РФ и зарубежом. Сегодня благодаря их успешному применению компания стала надежным звеном в решении проблем промышленной и экологической безопасности как в России, так и за ее пределами.

ВЫПУСКАЕМЫЕ ПРИБОРЫ



Прибор контроля запыленности воздуха ПКА-01



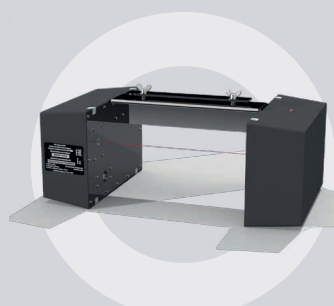
Прибор контроля пылевзрывобезопасности горных выработок ПКП



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



Измеритель запыленности стационарный ИЗСТ-01



Система контроля запыленности, интенсивности пылеотложений и дисперсного анализа СКИП-01 с использованием нейросети



Стационарный анализатор контроля параметров атмосферы Gasos заперемычного пространства

INDSAFE.RU

а так же оказывает услуги следующих направлений:

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

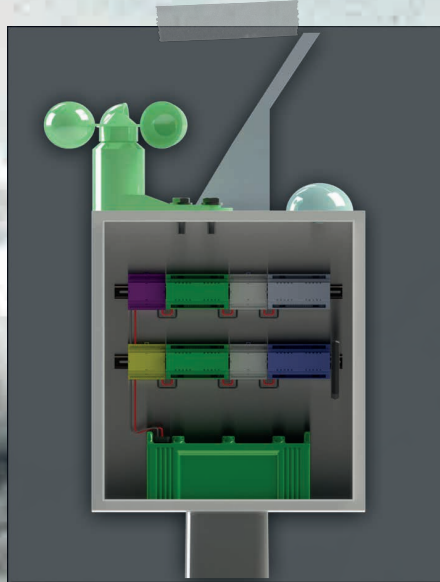
Горный-ЦОТ является резидентом Кузбасского Технопарка.

Трубицына Дарья Анатольевна dtrubitsyna@gmail.com +7-903-943-9759

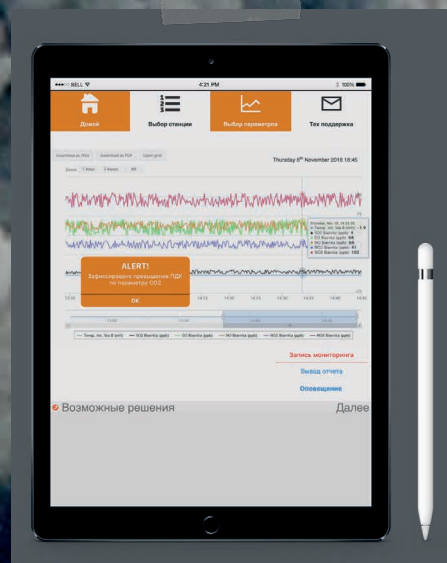
СИСТЕМА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

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

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



INDSAFE.RU



Горный-ЦОТ

Более 10 лет мы разрабатываем
и производим приборы контроля
параметров безопасности

ТРЕБОВАНИЯ К РАЗМЕЩЕНИЮ РЕКЛАМНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Научно-технический журнал «Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности» приглашает научные институты, организации и промышленные предприятия разместить информацию о конференциях, выставках, разрабатываемой и выпускаемой продукции в области охраны труда, безопасности в чрезвычайных ситуациях, пожарной и промышленной безопасности в угольной промышленности, контроля природной среды, веществ, материалов и изделий, а также приборостроения.

РАЗМЕРЫ РЕКЛАМНЫХ МОДУЛЕЙ:

- размер для 1 полосы: 216*303 мм, включая по 3 мм на обрезку с каждой стороны внешнего периметра, на корешок допуск ставить не нужно.
- 1/2 полосы вертикальная: 103*303 мм,
- 1/2 полосы горизонтальная: 216*151 мм
- 1/3 полосы горизонтальная: 216*92 мм
- 1/4 полосы горизонтальная: 216*67 мм
- 1/4 полосы вертикальная в верхнем или нижнем внешнем углу страницы: 103*151 мм

ТРЕБОВАНИЯ К РЕКЛАМНЫМ СТАТЬЯМ

1. Текст для статьи предоставляется только в текстовом редакторе Word.
2. Объем статьи: не более 4500 печатных знаков с пробелами (без изображений). При использовании фотографий объем текста пропорционально уменьшается.
3. Требования к фотографиям: формат .eps или .tiff с разрешением 300 dpi.
4. Логотип – в форматах .cdr, .eps, при этом шрифты должны быть переведены в кривые.
5. Текст рекламной статьи должен включать заголовок (подзаголовок), выходные данные заказчика: название, адрес, телефон, электронный адрес компании.

ТРЕБОВАНИЯ К РЕКЛАМНЫМ МАКЕТАМ

1. Размер электронного макета должен соответствовать размерам рекламного модуля.
2. Растровые файлы должны быть в форматах .tif, .psd, .eps с разрешением 300 dpi, векторные – .ai, .eps и .cdr.
3. Оригинал-макеты передаются в цветовой модели CMYK без компрессии.
4. Верстка может быть в форматах Adobe Illustrator, Corel Draw, Adobe InDesign (в этом случае должны предоставляться все связанные элементы, а также все используемые шрифты, обязательно макет должен так же прилагаться в pdf).
5. В макете, подготовленном в пакете Corel Draw не допускается наличие следующих эффектов: shadow, transparency, gradient fill, lens, texture fill и postscript fill. Все вышеперечисленные эффекты Corel Draw должны быть конвертированы в bitmap 300 dpi.
6. Черный цвет текста должен состоять только из черного канала – C:0, M:0, Y:0, K:100 или 100 Black в одноцветной шкале Grayscale.
7. Все текстовые элементы оригинал-макета должны быть переведены в кривые.
8. Текст и важные изображения (логотип и т. п.) не должны располагаться ближе 5 мм к обрезному краю.

Информация о расценках на размещение рекламы размещена на сайте www.ind-saf.ru.

Редакция журнала оставляет за собой право отбора поступивших рекламных материалов.

ТРЕБОВАНИЯ, УСЛОВИЯ И ПОРЯДОК ПРЕДСТАВЛЕНИЯ РУКОПИСЕЙ В НТЖ «Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности»

I. Порядок представления материалов в редакцию

1. В журнал принимаются статьи, соответствующие его тематике – охрана труда, безопасность в чрезвычайных ситуациях, пожарная и промышленная безопасность в угольной промышленности, приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий.

2. Статья должна быть оригинальной, не представленной в других изданиях.

3. На основании положений части четвертой Гражданского кодекса Российской Федерации (раздел VII «Права на результаты интеллектуальной деятельности и средства индивидуализации») представляемые в журнал статьи должны сопровождаться лицензионным договором о передаче ООО «ВостЭКО» (издатель журнала) простой (неисключительной) лицензии. Договор заполняется на бланках по образцам лицензионных договоров с одним или коллективом авторов (при написании статьи несколькими авторами). Лицензионный договор является договором присоединения. Необходимо заполнить и подписать договор, отсканированный вариант отправить по e-mail: yarosh_mv@mail.ru, два первых экземпляра оформленного договора отправить в редакцию по почте: 650002, Кемерово, Сосновый бульвар, д. 1, ООО «ВостЭКО». Договор, подписанный автором/авторами и направленный по электронной почте, признается равнозначным документу на бумажном носителе, подписанному собственноручной подписью, порождающим права и обязанности сторон. Скачать бланки договора можно на сайте www.indsafe.ru.

II. Форма представления рукописи

1. Рукопись представляется отпечатанной в текстовом редакторе Word через 1,5 интервала на одной стороне стандартного листа белой бумаги формата А4 и в электронном виде (передается по электронной почте yarosh_mv@mail.ru 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 Times New Roman, размер шрифта 12, для заголовка 16, полуторный интервал, абзацный отступ 1,25 см, формат листа А4. Поля с левой стороны 3 см, сверху и снизу и справа 2 см;

2. Электронная версия должна быть идентична распечатанному тексту. В случае расхождения за основу берется печатный вариант.

Структура статьи

1. Индекс УДК.

2. Фотографии всех авторов (форматы: TIF, Jpeg, Png, не сканированные, не ретушированные, не обрезанные, разрешение 300 dpi).

3. Инициалы и фамилия автора (ов).

4. Место работы.

5. Название статьи.

6. Реферат. *Реферат должен быть информативным, отражать основное содержание статьи и результаты исследований, следовать логике описания результатов в статье, укладываться в объем от 100 до 250 слов. Возможно краткое повторение структуры статьи, включающей введение, цели и задачи, методы, результаты, заключение.*

7. Ключевые слова.

8. Текст статьи с таблицами, иллюстрациями, формулами.

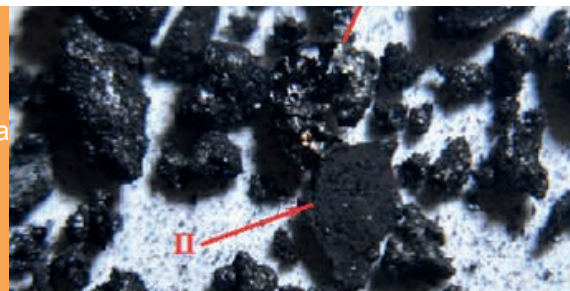
9. Список литературы (оформленный в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5 - 2008 «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления»).

На отдельном листе или в конце статьи размещается «Список авторов», который должен содержать:

- публикуемые сведения об авторах (название организации указывается в соответствии с учредительными документами);
- служебные или домашние адреса с указанием почтового индекса;
- адрес электронной почты (e-mail).

Обращаем ваше внимание, что представление оригинальной статьи к публикации в НТЖ означает согласие авторов на передачу права на воспроизведение, распространение и доведение произведения до всеобщего сведения любым способом.

Редколлегия

СЛОВО РЕДАКТОРА // EDITORIAL**5** Трубицына Н. Trubitsyna N.**5** Трубицына Н. Trubitsyna N.**АКТУАЛЬНО // IMPORTANT****6** С.Б. Романченко, А.А. Трубицын. Микроскопический метод анализа степени участия пыли во взрывах**S.B. Romanchenko, A.A. Trubitsyn.** Analysis microscopic method of dust participation degree in explosions**I. ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ГЕОМЕХАНИКА // INDUSTRIAL SAFETY AND GEOMECHANICS****16** А.В. Шадрин, Ю.А. Диук. Критерий предвыбросного отжима угля из устья полости выброса для спектрально-акустического метода прогноза**A.V. Shadrin, Yu.A. Diiuk.** Coal pre-outburst press-out criteria from the outburst cavity mouth for spectral-acoustic forecast method**II. ПОЖАРНАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ // FIRE AND INDUSTRIAL SAFETY****29** А.С. Ярош. Моделирование процесса эндогенного пожара осложненного взрывом метана в нормированных параметрах горной выработки**A.S. Yarosh.** Modeling of endogenous fire process complicated by methane explosion in normalized parameters of mining**38** И.М. Анисимов, М.В. Трепаков, А.И. Фомин, А.В. Дягилева. Оценка зависимости риска возникновения профессионального заболевания от стажа контакта с вредным производственным фактором**I.M. Anisimov, M.V. Trepakov, A.I. Fomin, A.V. Dyagileva.** Occupational disease risk dependence assessment on the harmful production factor contact length**42** Д.А. Бесперстов, Е.А. Попова, А.Н. Кроль, В.В. Романова. Бальная оценка профессионального риска работников нефтяных шахт ярегского месторождения**D.A. Besperstov, Ye.A. Popova, A.N. Krol', V.V. Romanova.** Point method risk evaluation of yarega deposit oil mines workers**48** В. М. Тарасов, А.И. Фомин. Повышение надежности безопасной эксплуатации грузоподъемных устройств в шахте**V. M. Tarasov, A.I. Fomin.** Increased reliability safe use of lifting devices in the mine**III. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ БЕЗОПАСНОСТИ ГОРНЫХ РАБОТ // TECHNOLOGICAL QUESTIONS OF MINING WORK SAFETY****54** М.В. Шинкевич, Р.И. Родин. Газоносность призабойной части угольного пласта при работе высокопроизводительного выемочного участка**M.V. Shinkevich, R.I. Rodin.** Tgas content of a coal seam face area during the high-performance extraction section operation**60** А.Е. Майоров, Д.Ю. Палеев. Состояние изоляции горных выработок шахт Кузбасса

A.Ye. Mayorov, D.Yu. Paleyev. Kuzbass mines' workings insulation condition

66 А.С. Ярош. Проблема оценки надежности и потенциала защиты многофункциональной системы безопасности угольной шахты при нормальном функционировании и аварии «пожар-взрыв» метановоздушной смеси

A.S. Yarosh. The problem of assessing the reliability and protection potential of a multifunctional safety system of a coal mine during normal operation and a fire-explosion accident of a methane-air mixture

72 Б.Л. Герике, Д.В. Копытин, В.П. Тащиенко. Опыт использования цифровых технологий в оценке технического состояния комплексов глубокой разработки пластов

B.L. Guericke, D.V. Kopytin, V.P. Tatsienko. The experience of using digital technologies in assessing the technical condition of deep formation development complexes

81 М.В. Баланова. Вывод зависимостей акустического воздействия внутренних источников в кабине крана на железнодорожном ходу

M.V. Balanova. The output of the dependency of acoustic impact of domestic sources in the crane cabin on railway to the course

87 ТРЕБОВАНИЯ К РЕКЛАМНЫМ МАТЕРИАЛАМ // ADVERTISING MATERIALS REQUIREMENTS

88 ТРЕБОВАНИЯ К СТАТЬЯМ // DEMANDS TO ARTICLES

90 СОДЕРЖАНИЕ // CONTENT

Подписано в печать 19.03.2018. Тираж 1000 экз. Формат 60x90 1/8.
Выпуск 3-2019, дата выхода в свет 25.09.2019
Объем 9 п. л. Заказ № 3-2019 г. Цена свободная.
Типография ООО «ИНТ».
650065, Россия, Кемеровская область, г. Кемерово, пр-т Октябрьский, 28 офис 215
Тел. 8 (3842) 657889.