

# ВЕСТНИК

Научного центра по безопасности работ  
в угольной промышленности

Научно-технический журнал

ISSN 2072-6554



9 772072 655426 >

Кемерово

1-2015

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

**№ 1-2015**

**Выходит 4 раза в год**

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

**ЖУРНАЛ ЗАРЕГИСТРИРОВАН**

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

**ЖУРНАЛ ВКЛЮЧЕН**

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

**Учредитель и издатель**

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

Адрес издателя и редакции:  
650002, г. Кемерово, Сосновый бульвар, 1

Редакторы: *М.В. Ярош, Е.В. Володина*  
Компьютерная верстка *М.В. Ярош*

тел. 77-86-62, 64-26-51.  
e-mail: yarosh\_mv@mail.ru  
lee@nc-vostnii.ru

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

---

Позиция редакции не всегда совпадает  
с точкой зрения авторов публикуемых материалов

---

---

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

---

---

© ООО «ВостЭКО», 2015

---

Адрес типографии:  
650065, г. Кемерово, пр-т Октябрьский, 28 офис 215  
тел. 8 (3842) 657889.  
ООО «ИНТ».

**Редакционная коллегия:**

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

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

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

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

**А.В. Шадрин** – начальник Научного управления  
ФГБОУ ВПО «КемГУ», д-р техн. наук,  
чл.-корр. РАЕН

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

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

**В.С. Зыков** – заместитель директора  
по научной работе ФГБУН Институт угля СО РАН,  
д-р техн. наук, проф.

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

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

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

# **VESTNIK**

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

---

**Scientific-technical magazine**

**Kemerovo**

**1 - 2015**

© Co Ltd «VostEKO», 2015  
[www.minesafety.ru](http://www.minesafety.ru) [www.indsafe.ru](http://www.indsafe.ru)

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

---

**№ 1-2015**

**Is issued 4 times a year**

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

---

**MAGAZINE IS REGISTERED**

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

**THE MAGAZINE IS INCLUDED**

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

**Promoter and publisher of «Vestnik...»  
scientific-technical magazine:  
Co Ltd «VostEKO»**

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

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

Tel. 77-86-62, 64-26-51.  
e-mail: yarosh\_mv@mail.ru  
lee@nc-vostnii.ru

www.minesafety.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 и www.graphicriver.net are used**

---

---

**© Co Ltd «VostEKO», 2015**

---

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

**Editorial board:**

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

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

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

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

**A.V. Shadrin** – scientific management head of FGBOU VPO «KemGU», doctor of technical sciences, correspondent member Russian Academy of Natural Sciences

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

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

**V.S. Zykov** – deputy director for scientific work of FGBUN Institute of Coal, Siberian Branch of RAcSc, doctor of technical sciences, professor

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

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

**A.S. Yarosh** – deputy director for scientific work of OOO “Scientific-Research Mine Rescue Institute”, candidate of technical sciences

## «ВЕСТНИК» - НОВЫЙ НАУЧНЫЙ ВЗГЛЯД

### Уважаемые читатели «Вестника»!

С 2015 г. мы изменили периодичность нашего издания: даже в условиях нестабильной экономической ситуации разнообразие научных взглядов и представлений в проблематике промышленной безопасности угольной отрасли в тематике журнала с трудом позволяло размещать Ваши работы в двух ежегодных выпусках. Сейчас Вестник будет выходить четыре раза в год и надеемся, что все актуальные работы и научные достижения будут отражены в полном объеме.

Структурно предлагаемый номер сложен тремя значимыми, самостоятельными разделами: «Промышленная безопасность и геомеханика», «Пожарная и промышленная безопасность» и «Проблемы и суждения», содержание статей которых позволяют наметить пути построения качественно новой системы безопасности работников угольных предприятий. Во многих работах предприятия попытки обоснования подходов к управлению параметрами промышленной безопасности угольных предприятий, изложены инновационные подходы к восприятию объекта как целостной системы с набором принципиально новых свойств и качеств. Какие идеи воплотятся в жизнь, какие станут основой для развития новых теоретических представлений, решит время.

Наша основная задача – давать специалистам-угольщикам глубокий и продуманный материал, который помогал бы как в повседневной производственной деятельности, так и в работе на перспективу. Полярность и свобода суждений, главный принцип нашего издания, который, мы надеемся, заинтересует наших читателей.

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



## I. ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ГЕОМЕХАНИКА INDUSTRIAL SAFETY AND GEOMECHANICS



**В.Н. Опарин**

член-корреспондент РАН, д-р физ.-мат. наук, проф.  
ИГД СО РАН

УДК 544 + 550.3 + 551 + 622 + 681:624.1

### СОВРЕМЕННЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ НЕЛИНЕЙНОЙ ГЕОТЕХНИКИ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ МОНИТОРИНГОВЫХ СИСТЕМ ГЕОМЕХАНИКО-ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

*Статья посвящена современным достижениям нелинейной геомеханики, приведены методологические основы для создания многослойной геоинформационно-мониторинговой системы «Геомеханико-геодинамической безопасности России». Рассматривается понятие о канонической шкале структурно-иерархических представлений горных пород и их массивов. Рассматривается явление знакопеременной реакции горных пород на динамические воздействия, волны маятникового типа в напряженных геосредах, явление зональной дезинтеграции горных пород вокруг подземных выработок и процесс самоорганизации в складочных массивах.*

*Работа выполнена в рамках реализации партнерского интеграционного проекта СО РАН № 100 и проекта ОНЗ РАН-3.1.*

*Ключевые слова: ГЕОМЕХАНИКА, ГЕОДИНАМИКА, МОНИТОРИНГ, БЕЗОПАСНОСТЬ, ГЕОИНФОРМАТИКА, ГОРНЫЙ МАССИВ, ВЗАИМОСВЯЗЬ, ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА*

#### Введение

**Д**инамика развития горнодобывающего комплекса в России и в мире за минувшее столетие привела к качественно новой ситуации, когда «локальные» геомеханические поля, индуцируемые техногенной деятельностью человека, уже не являются пренебрежимо малыми в сравнении с глобальными геодинамическими полями тектонически активной Земли, в том числе и самой верхней ее оболочки [1, 2]. Следовательно, рассматривая шахты и рудники как уникальные природные лаборатории, широко представленные по поверхности континентов земного шара, где можно детально исследовать во взаимосвязи геомеханические и геодинамические процессы инструментальными горно-геофизическими и спутниковыми геодезическими методами, есте-

ственной представляется идея «синхронизации» и «геообъектной привязки» геомеханической информации к глобальной геофизической и геодезической. В России она в значительной мере представлена «Федеральной системой сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений», находящейся под эгидой Геофизической службы РАН и МЧС России [3].

В качестве методологической основы для создания многослойной геоинформационно-мониторинговой системы «Геомеханико-геодинамической безопасности России», состоящей из трех базовых геоинформационных слоев (подземного, наземного и надземного) могут служить следующие важнейшие положения, установленные экспериментально [1 - 5]:

**- основными свойствами геосреды являются ее блочно-иерархическое строение и**

**постоянное колебательное движение структурных элементов горного массива.** Экспериментальные наблюдения свидетельствуют о практически повсеместной распространенности разнопериодных циклических вертикальных и горизонтальных движений геоблоков разного масштабного уровня;

**- подвижность земной коры и ее проницаемость для жидкости и газов обусловлены наличием трещин, соразмерных отделяемым ими геоблокам соответствующего иерархического уровня.** Речь идет о «локализованном» характере динамического деформирования геосреды, наличии активных массообменных процессов в межблоковых трещинных пространствах и ярко выраженном проявлении эффекта аномально высокой тензочувствительности геофизических полей в зонах сопряжения геоблоков по всей их иерархии;

**- основными энергетическими источниками движения структурных элементов геосреды и ее геосфер в целом являются тепло недр Земли (тектонические силы), гравитационные приливы от планет Солнечной системы, атмосферное давление и техногенная деятельность человека.**

Отмеченные положения - неперенное условие, обеспечивающее взаимосвязь энерго- и массообменных процессов между геосферами Земли, а также космическим пространством. Наиболее ярко выражена эта взаимосвязь в тектонически активных зонах (горно-складчатых системах) нашей планеты. С ними, нередко, ассоциированы и места локализации крупных месторождений полезных ископаемых.

Минувшее десятилетие ознаменовалось также крупными достижениями в области нелинейной геомеханики, разработки специализированных геоинформационных продуктов [9 - 11] и создания новых измерительно-вычислительных комплексов приборов и оборудования для мониторинга напряженно-деформированного состояния породных массивов, особенно для областей с сильными техногенными воздействиями ведением горных работ [6 - 8].

В этой связи автор ограничился упоминанием лишь трех крупных научных результатов из области нелинейной геомеханики и геофизики, которые явились в известной мере основополагающими для цикла экспериментально-теоретических исследований [1 - 7] по формированию ряда ключевых элементов для будущей многослойной геоинформационной системы «Геомеханико-геодинамической безопасности России», а в перспективе – и мира.

Эти открытия, условно, можно отнести к описанию нелинейных динамических процессов в геосредах со структурой (**явление знакопеременной реакции горных пород на динамические воздействия**) и нелинейных квазистатических процессов в массивах горных пород (**явление зональной дезинтеграции горных пород**), связанных «самоорганизующимися» системами.

Оба из отмеченных геомеханических эффектов связаны с блочно-иерархическим строением геоматериалов и массивов горных пород, которым дано каноническое описание в [12]. Последнее является принципиально важным для количественного построения соответствующих геомеханических моделей геосред.

Упоминание лишь этих трех, в достаточной мере универсальных, геомеханических результатов для высоконапряженных массивов горных пород обусловлено наличием у них необходимого конструктивного потенциала не только для выделения «иерархической соподчиненности» множества наблюдаемых в натуральных условиях физических эффектов с позиции причинно-следственных связей, но и для выбора «независимых» (взаимно-дополняющих друг друга) методов измерения и количества контролируемых параметров относительно катастрофических событий, по-видимому достаточных для надежного прогноза по их месту и времени проявления, а также генезиса (природные, техногенные, «триггерные» или смешанного типа).

#### **О канонической шкале структурно-иерархических представлений горных пород и их массивов. Геомеханические «инварианты»**

На рубеже минувшего XX-го и наступившего XXI-го столетий произошло важное для естествоиспытателей событие – понимание того, что в основе развития нелинейных геомеханических и геодинамических процессов лежит блочно-иерархическое строение массивов горных пород. На это обстоятельство, пожалуй, впервые особое внимание было обращено в работах академика М.А. Садовского и его учеников из Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта АН СССР, а также коллективом ученых Института горного дела СО АН СССР, существенно развивших базовые представления академика М. А. Садовского о блочно-иерархическом строении объектов геосреды в широком диапазоне их линейных размеров. Практически, речь идет о диапазоне линейных размеров от атомарных и до космических масштабных уровней [12].

Еще сравнительно недавно при описании деформирования массивов горных пород

под воздействием естественных либо техногенных возмущений геосреда моделировалась в виде однородного изотропного континуума. Для получения количественных соотношений о напряженно-деформированном состоянии горных пород и описания геомеханических и геодинамических процессов использовался математический аппарат механики сплошных сред. На известном этапе развития науки о природе и характере протекания процессов, происходящих в массивах горных пород под воздействием естественных и антропогенных факторов, такой подход к их описанию был вполне естественным и в достаточной мере удовлетворял исследователей и практиков.

Однако, с развитием экспериментальных методов геомеханики и геофизики стали множиться факты, для объяснения которых необходимо было учитывать, что реальные массивы горных пород на самом деле представляют собой сложно построенные среды, расчлененные поверхностями и зонами ослабления на отдельные блоки различного масштабного уровня. В настоящее время для количественного описания этой реальности активно разрабатывается кластерный подход, основанный на существовании канонических рядов структурных отдельностей и сопряженных с ними амплитудно-периодных спектров геофизических и геомеханических полей (спектроскопический подход) [12].

Обобщение результатов исследований в этом важном направлении количественного описания блочно-иерархического строения массивов горных пород дано в недавно вышедшей в свет фундаментальной монографии [12], в которой представлены в систематизированном виде результаты многолетних исследований, посвященных поиску формализованных связей как для количественного описания собственно блочно-иерархического строения массивов горных пород и геоматериалов, так и обусловленности им физико-механических свойств различных типов горных пород в процессах разрушения.

В [12] закладываются научные основы для развития нового направления в горных науках – горного породоведения, связанного с построением классификаций горных пород и их массивов по физико-механическим свойствам в канонических шкалах. Теоретические положения новых классификаций горных пород базируются на общности закономерностей самоорганизации геовещества на разных масштабных уровнях в процессах его дезинтеграции и кластеризации.

Основываясь на установленных закономерностях, впервые предложены аналитиче-

ские зависимости для построения классификаций горных пород по размерам естественных отдельностей. Их особенность заключается в ориентированности на генетические типы пород, что обусловлено огромным опытом, накопленным геологами. Этот опыт свидетельствует о том, что каждый генетически одинаково организовавшийся тип породы представлен естественными отдельностями (кристаллы, обломки, зёрна, кристаллиты и пр.), размеры которых находятся в известных пределах (от минимальных до максимальных). Так как часто возникает необходимость построения узко ориентированных (частных) классификаций не только по основным генетическим типам горных пород, но и по их специфическим разновидностям, то для сопоставимости, как оказывается, частные классификации можно привести к инвариантной шкале. Это позволяет определить место различных горных пород в иерархически организованных процессах кластеризации геовещества, опираясь на достаточно универсальный закон «квантования» структурных отдельностей [13]:

$$\Delta_i = \Delta_0 (\sqrt{2})^i, \quad (1)$$

где  $\Delta_0 \approx 2,5 \cdot 10^6$  м,  $i \in N$  - целые числа (положительные или отрицательные - порядок размерностей);

либо:

$$\Delta_{i+1}/\Delta_i \approx \sqrt{2}, \forall i.$$

**Указанная в (1) связь несёт глубокий методологический смысл, заслуживающий дальнейших исследований не только на экспериментально-статистическом уровне, но и с привлечением методов энергетического анализа.** Актуальность этого направления исследований несомненна ввиду очевидной его методологической и практической важности как в решении прямых и обратных задач литологии, так и для решения геомеханических и геотехнологических задач по добыче и переработке полезных ископаемых.

Важно, что установленная закономерность (1), проявляющаяся в блочно-иерархическом строении горных пород и массивов, одновременно отражает их прочностные свойства. Это стало основанием для введения новых классификаций горных пород **в канонических шкалах**<sup>1</sup> по пределам прочности при одноосном сжатии и растяжении, контактной и агрегатной прочности. Такие классификации получены как для горных пород в целом (т.е. без акцента на их разновидности), так и для основных генотипов пород углевмещающей толщи Кузбасса. Раз-

<sup>1</sup> В отличие от обычно используемых в естественных науках логарифмических представлений с основаниями 10, 2 или  $e$ , здесь используются безразмерные представления с применением логарифмов с основанием  $\sqrt{2}$ .



работанная при этом методика позволяет осуществлять приведение частных однопараметрических шкал по прочностным свойствам горных пород к инвариантной шкале. **Физические причины, обусловившие расположение частных шкал по прочностным свойствам в различных интервалах инвариантной шкалы, требуют дальнейших исследований.**

Развиваемый в [12] методический подход к решению проблемы количественного отображения зависимости горнотехнологических свойств горных пород от совокупности физико-механических основывается на канонической закономерности распределения прочностных свойств, используемой авторами для построения однопараметрических классификаций. Это позволило впервые получить классификации, в которых отражено совокупное влияние физико-механических свойств горных пород на процессы разрушения по их сопротивляемости разрушению (близкий аналог классификации проф. М. М. Протодьяконова и акад. В. В. Ржевского); водопрочности основных генотипов пород Кузбасса; абразивной способности горных пород; прочности породного массива; сопротивляемости горных пород бурению.

Выполненный комплекс исследований создает теоретические основы построения классификаций горных пород, в существенной мере исключая элементы субъективизма при их построении.

Это фундаментальное направление исследований во многом связано с открытием явления зональной дезинтеграции горных пород вокруг подземных выработок [13]. Оно свидетельствует о наличии своеобразного закона «квантования геомеханической энергии» при образовании подземных выработок (полостей) в условиях больших глубин с коэффициентами «подобия» относительно их начального радиуса  $r_0$  в виде  $r_0(\sqrt{2})^n$ , где  $n$  – целые числа, а также сопряженного канонического ряда структурных отдельностей (1).

Важно, что при этом установлена и статистически инвариантная связь между «раскрытием» (среднее расстояние между берегами) трещин ( $\delta$ ) в горных массивах и диаметрами отделяемых ими геоблоков ( $\Delta_i$ ) различного иерархического уровня  $i$ :

$$\mu_{\Delta}(\delta) = \frac{\delta_i}{\Delta_i} = \left(\frac{1}{2} \div 2\right) \cdot 10^{-2}, \text{ для любого } i. \quad (2)$$

Эта характеристика является весьма важной для оценки «меры подвижности»  $\nu_{\Delta}(\delta)$  структурных элементов (блоков) в стесненных условиях массивов горных пород и, фактически,

сопряжена  $C\mu_{\Delta}(\delta)$ :

$$\nu_{\Delta}(\delta) = (10^{-2} \div 10^{-1}) \cdot \mu_{\Delta}(\delta), \quad (3)$$

поскольку отделяющие геоблоки трещины всегда частично заполнены газом, жидкостью или более мелким фрагментированным твёрдым веществом. Для реальных массивов горных пород достаточно часто можно использовать упрощенную связь:

$$\nu_{\Delta}(\delta) \sim 10^{-1} \cdot \mu_{\Delta}(\delta). \quad (4)$$

#### **Явление знакопеременной реакции горных пород на динамические воздействия и волны маятникового типа в напряженных геосредах [4, 5]**

Эти открытия стали этапными в создании экспериментально-теоретических основ нелинейной геомеханики и геофизики и связаны с работами ученых из ИГД СО АН СССР и ИФЗ им. О.Ю. Шмидта АН СССР (Спецсектор), выполнивших большой комплекс экспериментальных исследований по изучению особенностей механического последствия взрывов разной мощности – от обычных взрывов для ведения горных работ при отработке месторождений твердых полезных ископаемых и до ядерных, что позволило вначале установить неизвестное ранее явление знакопеременной реакции горных пород на динамические воздействия [14].

Суть данного явления заключается в том, что при образовании полостей внутри массивов горных пород посредством мощных взрывов в их окрестностях происходят смещения разных знаков между геоблоками с колебательным движением друг относительно друга, обусловленные стесненным поворотом и трансляционным движением породных блоков разного иерархического уровня, зависящего от размеров образующихся полостей, горного давления и энергии взрывов.

Эта, на первый взгляд, простая формулировка результата привела к постановке принципиально новых задач для последующих теоретических, экспериментальных и прикладных исследований [4, 5].

В частности, была выдвинута гипотеза о возможности существования в массивах горных пород нелинейных упругих волн маятникового типа, носителями которых являются не абстрактные математические «элементарные объёмы», но реальные структурные элементы геологического вещества в приближении «абсолютно твёрдых тел» [15]. Для их регистрации (рис. 1, 2) и теоретического анализа в последнее десятилетие ведутся исследования и разработки в ряде институтов СО РАН в рамках интеграционных проектов [6 - 8].

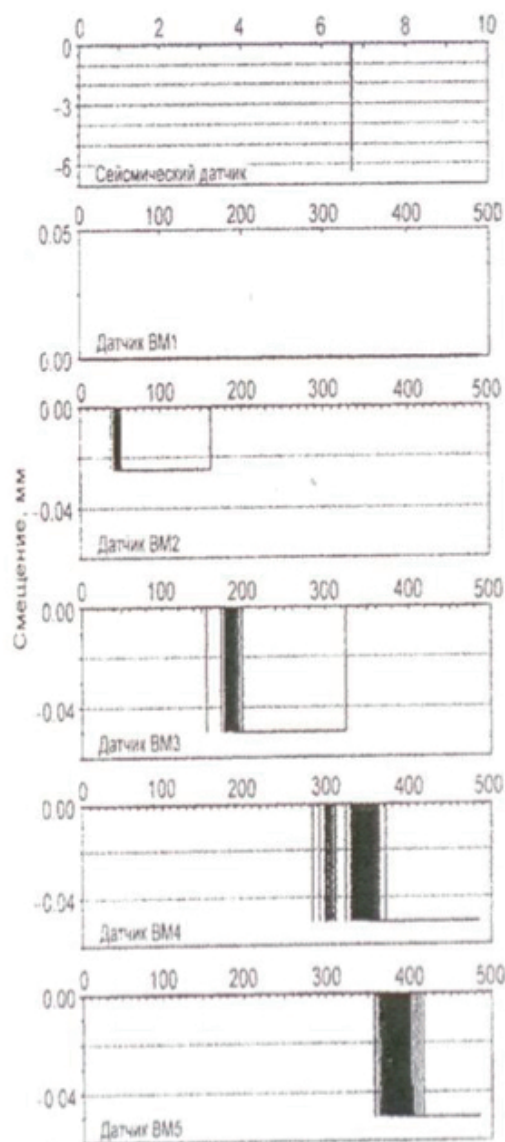


Рисунок 1 – Графики смещения датчиков по скважине В от горного толчка

Существенной особенностью знакопеременной реакции горных пород на мощные взрывные воздействия в геосредах стало их «дальнодействие»: локальные механические проявления необратимого характера, как оказалось, происходят до расстояния  $(8 - 10) \cdot R$ , где  $R$  – радиус зоны взрывного разрушения породы.

Иными словами, в результате проведения многочисленных экспериментов было установлено, что процесс деформирования массива горных пород имеет ярко выраженный неоднородный характер: деформации локализуются на поверхностях и в областях ослабления массива, а структурные блоки движутся в значительной мере независимо. При этом движение блоков имеет знакопеременный характер по трансляционным и вращательным компонентам.

Обнаружение явления знакопеременной реакции горных пород на динамические воздей-

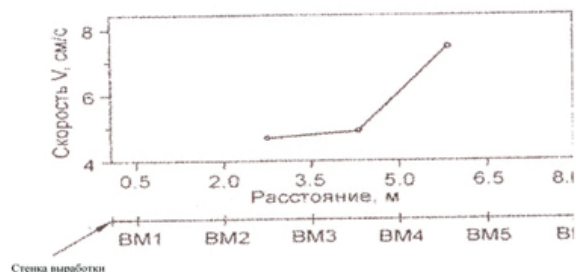


Рисунок 2 – Скорость распространения маятниковой волны в окрестности подземной выработки

ствия явилось экспериментальным доказательством того, что большая доля энергии взрывов расходуется не только на дробление породного массива в очаговой зоне и её непосредственной окрестности, но и передаётся в виде кинетической энергии структурным элементам напряженной геосреды [8, 16].

В работах [14, 16] показано, что нелинейные упругие волны маятникового типа обладают чрезвычайно широким скоростным диапазоном своего распространения в массивах горных пород и непосредственно зависят как от напряженно-деформированного состояния последних, так и их блочно-иерархического строения. Устанавливается также прямая зависимость скоростных характеристик этого типа волн от мощности источника их возмущения, а также возможность существования т.н. «геомеханических волноводов». Эти возможности, безусловно, необходимо использовать в построении новых мониторинговых систем.

В качестве примера [16], можно отметить, что в ИГД СО РАН создана и запущена в эксплуатацию не имеющая аналогов в России многоканальная измерительная система «Карьер» для контроля геомеханического состояния бортов глубоких карьеров алмазоносных трубок Якутии (рис. 3). Входящий в состав системы «Карьер» измерительно-вычислительный комплекс со специально созданными деформационно-волновыми датчиками и с радиоканалом дистанционной передачи информации в Центр ее сбора (ЦСИ) позволяют решать задачи по оценке устойчивости прибортовых зон глубоких карьеров в экстремальных природно-климатических условиях Сибири и Крайнего Севера. В настоящее время система в составе двух измерительно-вычислительных комплексов проходит опытную эксплуатацию в режиме мониторинга на трубке «Удачная» (Якутия).

#### Явление зональной дезинтеграции горных пород и процессы самоорганизации в породных массивах

В монографии [17] представлены основ-

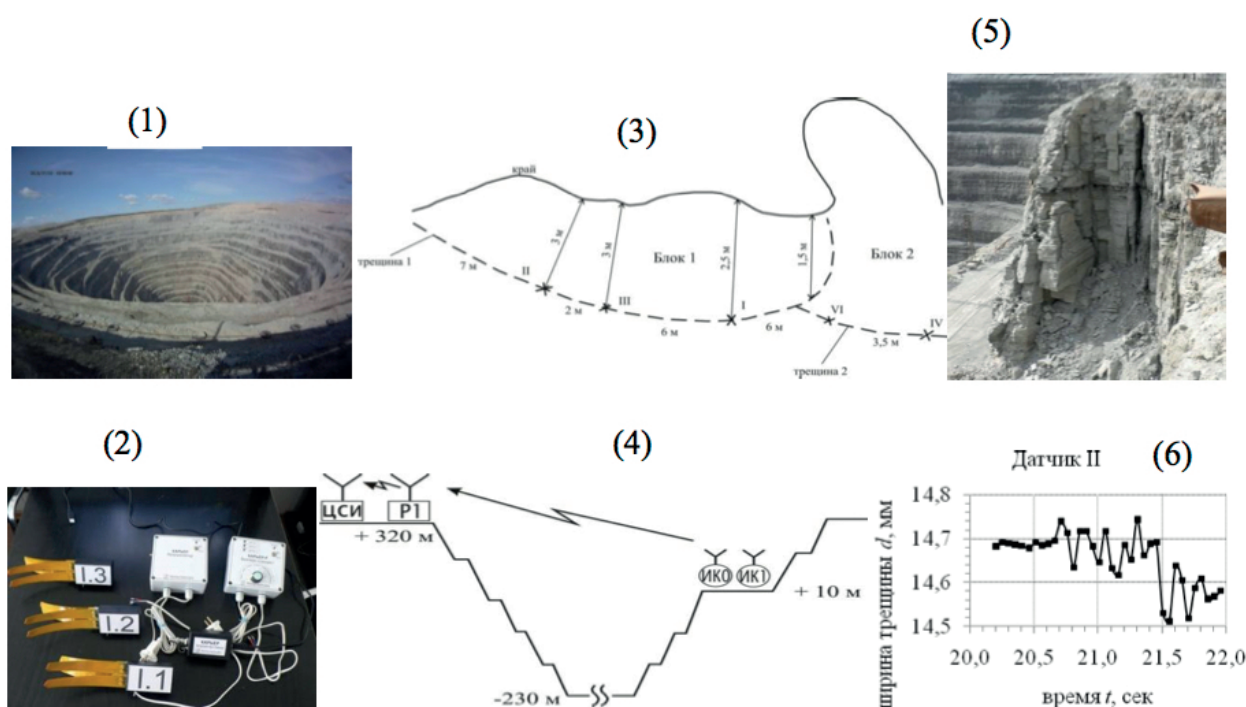


Рисунок 3 – Система мониторинга геомеханического состояния бортовых откосов «Карьер» на глубоком карьере «Удачный»: (1) – карьер; (2) – датчик деформаций; (3) – схема экспериментов по измерению динамического воздействия от технологических взрывов на дне карьера; (4) – схема ретрансляционной передачи информации по радиоканалу; (5) – контролируемый уступ карьера; (6) – фрагмент динамической реакции блочной среды по одному из датчиков деформаций, находящемуся в контролируемой трещине

ные достижения в области исследования особенностей формирования напряженно-деформированного состояния (НДС) горных пород вокруг подземных выработок при отработке месторождений полезных ископаемых на больших глубинах, в первую очередь на примере полиметаллических рудников Талнахско-Октябрьского месторождения (г. Норильск, Россия).

Ключевая роль в понимании этих, нелинейных в своей основе, процессов принадлежит явлению зональной дезинтеграции горных пород вокруг подземных выработок [18], зарегистрированному в начале 90-х годов минувшего века в СССР как научное открытие № 400 СССР [19].

Речь идет об открытии своеобразного «**эффекта квантования упругой энергии**» вокруг подземных полостей при их образовании на глубинах, где достигаются условия близости или превышения действующего уровня горного давления относительно предельно-прочностных свойств горных пород.

Открытие этого явления дало мощный импульс исследованиям в этом направлении для широкого спектра горно-геологических условий отработки месторождений полезных ископаемых: не только рудных, но и нерудных, в том числе угольных [20 - 23] и даже нефтегазовых [24].

Большой шаг сделан и в области разработки теоретических основ описания явления

зональной дезинтеграции [17, 25 - 27], что само по себе имеет принципиальную значимость. В этом аспекте следует особо отметить цикл исследований, выполненных китайскими учеными [28 - 30].

Как известно, уголь играет особую роль в развитии энергетического и химико-технологического комплекса современной цивилизации. В этом отношении Кузбасс играет исключительно большую роль благодаря большим запасам высококачественных углей. За более чем вековую историю освоения в этом регионе угольных запасов в настоящее время все более актуальными становятся проблемы не только безопасности ведения горных работ на более глубоких горизонтах залегания высокого качества углей, но и экологические проблемы из-за изменения гидрогеологического режима в районах ведения горных работ открытым и подземным способами.

Более явно проявляют себя крупномасштабные деформационные процессы, развивающиеся на протяжении многих десятилетий вокруг отработанных шахтных полей в подземных условиях, либо «законсервированных» на неопределенное время из-за убыточности отработки угольных шахт региона в современных экономических условиях ведения хозяйства в стране. Выход на поверхность Земли зон локализации

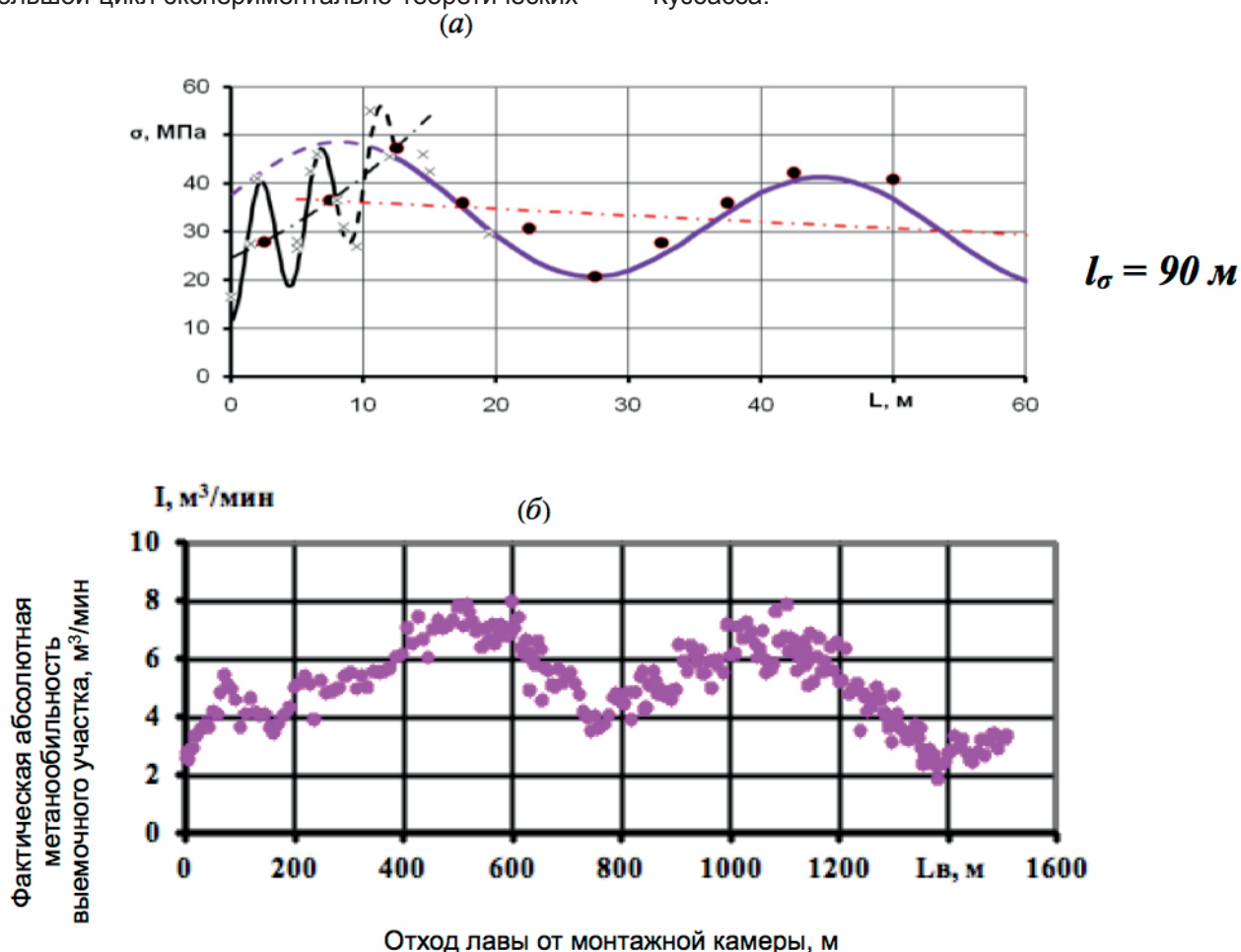
деформаций от сдвигения подработанных толщ массивов горных пород приводит в результате к трудно контролируемым ныне процессам самовозгорания и последующего горения, в том числе оставляемых по разным причинам не извлекаемых запасов угля.

Нередкими и учащающимися становятся случаи выхода глубинного метана по формирующимся зонам локализации деформаций от ведения подземных горных работ на поверхность земли, сопровождающиеся возникновением пока локального возгорания метана в пределах некоторых поселений Кемеровской области. Поскольку Кузнецкий угольный бассейн находится в тектонически активной зоне Алтае-Саянской складчатой области, то длительные процессы самоорганизации в пределах многочисленных шахтных полей этого бассейна приводят в результате к возникновению новых волноводных структур для распространения сейсмических волн от землетрясений и технологических взрывов на карьерах, иногда трудно различимых по своему генезису.

В этой связи хотелось бы особо отметить большой цикл экспериментально-теоретических

исследований, проведенных на угольных месторождениях под руководством профессора Г. Я. Полевщикова [21 - 23]. Так, Геннадием Яковлевичем совместно с сотрудниками на примере отработки угольных шахт Кузбасса экспериментально была установлена связь между развитием крупномасштабных зонально-дезинтеграционных процессов в продуктивных пластах и вмещающих породных массивах, и пространственной локализацией сопутствующих газодинамических событий (рис. 4, 5).

Ключевая роль в количественном описании установленной связи принадлежит масштабному фактору явления зональной дезинтеграции горных пород вокруг подземных выработок по В.Н. Опарину ( $r_n/r_{n-1} = \sqrt{2}$ ,  $n$  - целые числа  $(0, 1, 2, \dots)$ ; для угольных пластов  $r_i$  - длины выработанного пространства при отработке выемочных столбов, сопряженных с положением  $i$  зоны дезинтеграции массивов). Аналогичная связь отмечена и в соответствующей «периодичности» возникновения зон концентрации повышенного и пониженного давления в стойках механизированных крепей при отработке угольных пластов Кузбасса.



Отход лавы от монтажной камеры, м

Рисунок 4 – Изменение опорного давления в пласте ( $\sigma$ ), где (а) – зависимость опорного давления от расстояния ( $L$ ) от очистного забоя; (б) - динамика изменения метанообильности выемочного участка ( $L_{oc} = 240$  м;  $H = 150-250$  м) по Г.Я. Полевщикову

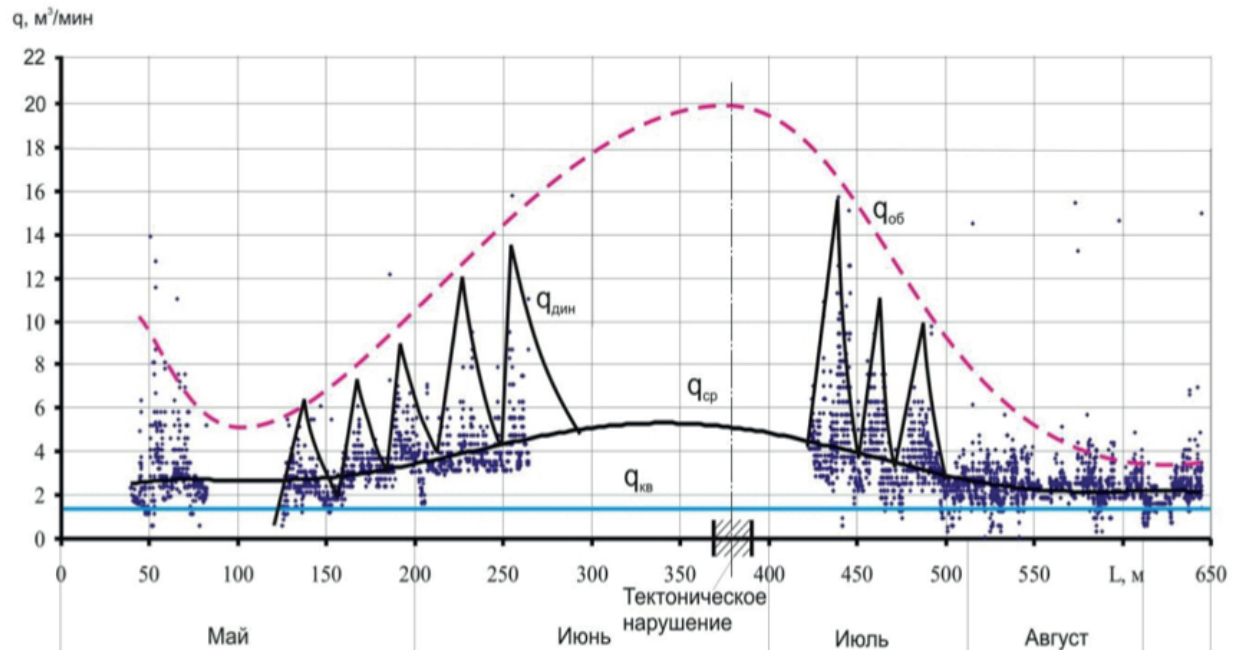


Рисунок 5 – Метановыделение в забое штрека, проводимого по верхнему из сближенных пластов IV – V при наличии породного междупластья (Кузбасс) по Г.Я. Полевщикову

Отмеченные крупномасштабные процессы самоорганизации рудных и угольных массивов горных пород являются принципиально значимыми для интерпретации комплексных геомеханических, геофизических и иных данных в перспективных мониторинговых системах геомеханико-геодинамической безопасности горно-промышленных систем. Возможность их количественного (канонического) описания в рамках развития зонально-дезинтеграционных процессов различного масштабного уровня дает важный конструктив как для ретроспективного анализа имеющейся разноплановой информации, так и для построения прогнозных оценок развития сложных геомеханических процессов [32]. Здесь ключевая роль принадлежит масштабному фактору явления зональной дезинтеграции для массивов горных пород вокруг обрабатываемых пространств.

#### Выводы.

Таким образом, наметилась четкая тенденция по сближению и активному взаимодействию специалистов, разрабатывающих измерительные системы мониторинга и приборные комплексы горно-геофизического и геомеханического направлений. Основными факторами, способствующими такому сближению, стали новые открытия в области нелинейной геомеханики и геофизики, связанные с блочно-иерархическим строением массивов горных пород и геоматериалов, выделением групп медленных волн деформаций (волны маятникового типа), динами-

ко-кинематические характеристики которых несут непосредственно информацию о напряженно-деформационном состоянии породных массивов и энергетических параметрах источников их излучения.

Реализованный объем научных исследований и технических разработок, несомненно, является крупным вкладом в развитие экспериментально-теоретических основ нелинейной геомеханики и геофизики, создавая соответствующие предпосылки для построения новых (прежде всего сейсмодеформационно-электромагнитных) систем комплексного мониторинга горных ударов и техногенных землетрясений на рудниках и шахтах России. Обеспечение их геоинформационной сопряженности и совместимости с ныне действующей Федеральной системой сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений России – залог успешного решения сформулированной в [4, 5] проблемы необходимости создания многослойной мониторинговой системы «Геомеханико-геодинамической безопасности России и мира». В этом нами видится и мощный конструктивный потенциал для укрепления научно-практического взаимодействия между геофизиками, геомеханиками и горняками при обеспечении стратегии освоения месторождений полезных ископаемых в ныне усиливающейся в мире тенденции перехода ведения горных работ на глубокие горизонты.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Опарин, В.Н. Современная геодинамика массива горных пород верхней части литосферы: истоки, параметры, воздействие на объекты недропользования / В.Н. Опарин [и др.] – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. – 450 с.
2. Опарин, В.Н. Землетрясения, горные удары, внезапные выбросы породы, угля и газа: механизмы формирования и критерии прогнозирования катастрофических событий / В.Н. Опарин, А.В. Леонтьев // Геодинамика и напряженное состояние недр Земли. – Новосибирск: ИГД СО РАН, 2011. – т. I. – с.21 – 48.
3. Федеральная система сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений: информационно-аналитический бюллетень. Специальный выпуск. М.: МЧС России, 1995. - Т. 2, № 1,- 112 с.
4. Адушкин В.В., Опарин В.Н. От явления знакопеременной реакции горных пород на динамические воздействия – к волнам маятникового типа в напряженных геосредах. Ч. I / В.В. Адушкин, В.Н. Опарин // ФТПРПИ. – 2012. - № 2. – С. 3 – 27.
5. Адушкин В.В. От явления знакопеременной реакции горных пород на динамические воздействия – к волнам маятникового типа в напряженных геосредах. Ч. II / В.В. Адушкин, В.Н. Опарин // ФТПРПИ. – 2013. - № 2. – С. 3 – 46.
6. Опарин В.Н. Методы и измерительные приборы для моделирования и натурных исследований нелинейных деформационно-волновых процессов в блочных массивах горных пород / В.Н. Опарин [и др.]. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. – 320 с.
7. Опарин В.Н. Методы и системы сейсмо-деформационного мониторинга техногенных землетрясений и горных ударов / В.Н. Опарин [и др.]. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. - Том 1. – 304 с.
8. Опарин, В.Н. Методы и системы сейсмо-деформационного мониторинга техногенных землетрясений и горных ударов / В.Н. Опарин [и др.]. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2010. -Том 2. – 261 с.
9. Потапов, В.П. Интеграция пространственных геоданных и распределенных вычислительных модулей для решения горно-технологических задач / В. П. Потапов, С.Е. Попов // Геоинформатика. – 2007. - № 3.
10. Опарин, В.Н. К вопросу формирования информационной геомеханической модели строения Кузнецкого угольного бассейна / В.Н. Опарин [и др.] // ФТПРПИ. – 2006. - № 3. – С. 27 – 49.
11. Потапов, В.П. Математическое и информационное моделирование геосистем угольных предприятий / В.П. Потапов – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1999. – 211 с.
12. Опарин, В. Н. Каноническая шкала иерархических представлений в горном породоведении / В.Н. Опарин, А. С. Танайно – Новосибирск: Наука, 2011. – 259 с.
13. Курленя, М.В. Проблемы нелинейной геомеханики. Ч. I / М.В. Курленя, В.Н. Опарин // ФТПРПИ. - 1999. - № 3. – С. 12 – 26.
14. Курленя, М.В. Проблемы нелинейной геомеханики. Ч. II / М.В. Курленя, В.Н. Опарин // ФТПРПИ. - 2000. - № 4. – С. 3 – 26.
15. Курленя, М.В. О формировании упругих волновых пакетов при импульсном возбуждении блочных сред. Волны маятникового типа  $v_{\mu}$  / М.В. Курленя, В.Н. Опарин, В.И. Востриков // ДАН. – 1993. – т. 333, № 4. – С.515 – 521.
16. Опарин, В.Н. Деструкция земной коры и процессы самоорганизации в областях сильного техногенного воздействия / В.Н. Опарин [и др.]. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. – 632 с.
17. Опарин, В.Н. Зональная дезинтеграция горных пород и устойчивость подземных выработок. / В.Н. Опарин [и др.].– Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. – 278 с.
18. Шемякин, Е.И. Эффект зональной дезинтеграции горных пород вокруг подземных выработок / Е.И. Шемякин [и др.] // ДАН СССР. – 1986. – т. 289, № 5. – С. 1088 – 1094.
19. Шемякин, Е.И. Открытие № 400 СССР. Явление зональной дезинтеграции горных пород вокруг подземных выработок / Е.И. Шемякин [и др.]. // БИ. – 1992. - № 1. – С. 3.
20. Ягунов, А.С. Динамика деформаций в подрабатываемом горном массиве / А.С. Ягунов - Кемерово: Кузбассвуиздат, 2010. – 239 с.
21. Полевщиков, Г.Я. Газогеомеханические процессы при проведении подготовительных выработок / Г.Я. Полевщиков, М.С. Плаксин // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – Кемерово, 2010.
22. Полевщиков, Г.Я. Влияние сдвижений прочных вмещающих пород на динамику метанообильности выемочного участка / Г.Я. Полевщиков, Н.Ю. Назаров // ГИАБ. – 2001. - № 5. – С. 121 – 127.
23. Полевщиков, Г.Я. Газокинетический паттерн разрабатываемого массива горных пород / Г.Я. По-

левщиков, Е.Н. Козырева // ГИАБ. – 2002. - № 11. – С. 117 – 120.

24. Опарин, В.Н. О нелинейных деформационно-волновых процессах в виброволновых геотехнологиях освоения нефтегазовых месторождений / В.Н. Опарин, Б.Ф. Симонов // ФТПРПИ. – 2010. – № 2. – С. 3 – 25.

25. Одинцев, В.Н. Отрывные разрушения массива скальных пород / В.Н. Одинцев – М.: ИПКОН РАН, 1996. – 166 с.

26. Гузев, М.А. Неевклидова модель зональной дезинтеграции горных пород вокруг подземных выработок / М.А. Гузев, А.А. Парошин // ПМТФ. – 2000. - № 3. – С. 181 – 195.

27. Гузев, М.А. Деформирование и разрушение сильно сжатых горных пород вокруг выработок / М.А. Гузев, В.В. Макаров // Владивосток: Дальнаука, 2007. – 232 с.

28. Ван Ксю-бин. Численное моделирование механизма пространственной локализации деформации в процессе зональной дезинтеграции / Ван Ксю-бин, Пан И-Шан, Чжан Чжи-хуэй // ФТПРПИ. – 2013. - № 3. – С. 21 – 32.

29. Циопин Чжоу. Неевклидова модель разрушения глубокозалегающего породного массива в условиях несовместной деформации / Циопин Чжоу, Циц Цянь, Кс. П. Чжоу, Кв. Х. Цянь // ФТПРПИ. – 2013. - № 3. – С. 33 – 41.

30. Циху Цян. Влияние горизонтальных напряжений на явление зональной дезинтеграции горных пород в массиве с выработкой круглого сечения / Циху Цян, Чжу Ксяопин, Кси Еньшин // ФТПРПИ. – 2012. - № 2. – С. 88 – 97.

31. Полевщиков, Г.Я. Газодинамическая активность угольных пластов и зональная дезинтеграция массива горных пород при ведении подготовительных выработок / Г.Я. Полевщиков, М.С. Плаксин // Нелинейные геомеханико-геодинамические процессы при отработке месторождений полезных ископаемых на больших глубинах: тр. 2-й Рос.-Кит. науч. конф. — Новосибирск: ИГД СО РАН, 2012. – С. 83 – 89.

32. Опарин, В.Н. Геомеханические и технические основы увеличения нефтеотдачи пластов в виброволновых технологиях / В.Н. Опарин [и др.] – Новосибирск: Наука, 2010. – 404 с.

MODERN  
OF NONLINEAR  
AND METHODOLOGICAL BASIS FOR  
GEOMECHANICAL – GEODYNAMICAL SAFETY  
MONITORING SYSTEM CONSTRUCTION AT  
MINING ENTERPRISES

**Oparin V.N.**

*The article is devoted to modern achievements of nonlinear geomechanics, methodological basis for construction of multilevel geoinformational monitoring system of «Geomechanical – geodynamical safety of Russia» are brought. The concept about canonical scale of structural-hierarchical presentation of mine rocks and their masses is reviewed. Phenomenon of alternating reactions of rocks on the dynamic effects, pendulum-type waves in tensed geoenvironments, phenomenon of zonal disintegration of rocks around underground openings and the process of self-organization in the filling massif are reviewed. The work is done within the frames of implementation of partnership integration project No. 100 of RASc SB and project ON3 RASc-3.1.*

**Key words:** GEOMECHANICS,  
GEODYNAMICS, MONITORING, SAFETY,  
GEOINFORMATICS, ROCK MASSIF,  
INTERCONNECTION, PHYSICAL AND  
MECHANICAL PROPERTIES

*Oparin Viktor Nikolaevich  
e-mail: oparin@misd.nsc.ru*



### **В.П. Доманов**

канд. техн. наук, заведующий лабораторией АО «НЦ ВостНИИ»



### **Ю.А. Масаев**

канд. техн. наук, профессор кафедры строительства подземных сооружений и шахт ФГБОУ ВПО «КузГТУ»



### **В.Ю. Масаев**

канд. техн. наук, доцент кафедры экономики и управления на предприятии Кемеровского института (филиал) ФГБОУ ВПО «РЭУ им. Г.В. Плеханова»



### **Е.Н. Балаганская**

канд. экон. наук, доцент кафедры мировой экономики Кемеровского института (филиал) ФГБОУ ВПО «РЭУ им. Г.В. Плеханова»

УДК 622.235.5

## **ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ ЗОНЫ НАРУШЕННОСТИ ЗАКОНТУРНОГО МАССИВА И ЕЁ ВЛИЯНИЕ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК**

*Рассмотрены условия формирования зоны нарушенности законтурного породного массива в зависимости от параметров расположения зарядов взрывчатых веществ в оконтуривающих шпурах.*

*Ключевые слова:* ПРОХОДЧЕСКИЙ ЗАБОЙ; ГОРНАЯ ВЫРАБОТКА; ЗАРЯД; УДАРНАЯ ВОЛНА; РАЗРУШЕНИЕ

**П**ри углублении горных выработок происходит трансформацию состояния породного массива вследствие изменения различных механических процессов, связанных с действующим горным давлением и общим напряженным состоянием. В таких условиях изменяется и устойчивость породных обнажений при сооружении горных выработок, особенно при использовании взрывных работ.

Процесс разрушения горных пород взрывом характеризуется строго определенным пределом энергоемкости качественного дробления, зависящим от прочностных свойств породы, характера её разрушения, естественного распространения микро и макротрещин, показате-

ля степени дробления, избранной схемы расположения зарядов взрывчатых веществ (ВВ) и полностью определяет необходимые энергетические затраты взрыва на разрушение необходимого объема горной породы. При увеличении энергии взрыва до величины выше предела энергоемкости разрушения, улучшения качества дробления обычно не наблюдается, но при этом имеют место непроизводительные перерасходы энергии на излишние разрушения породного массива за контуром горной выработки.

Из методов управления энергией взрыва, базирующихся на использовании энергетических параметров процесса разрушения породного массива, в горнодобывающей промышленности используют следующие: выбор типа ВВ в соот-



ветствии с конкретными горно-геологическими характеристиками разрушаемой горной породы; выбор конструктивных параметров взрывааемых зарядов ВВ; количественная оценка запаса энергии применяемых ВВ и равномерности распределения её по разрушаемому породному массиву; регулирование условий передачи энергии взрыва окружающей породе.

Завышенная концентрация энергии ВВ в оконтуривающих шпурах горной выработки приводит к нарушенности законтурного массива, что, в свою очередь, ведет к потере устойчивости породных обнажений.

Степень нарушенности законтурного массива зависит от напряженного состояния породы вокруг горной выработки, параметров взрыва, свойств взрывчатого вещества и кривизны траектории размещения оконтуривающих шпуров.

В ранее опубликованных нами материалах [1] были приведены результаты производственных исследований влияния взрывных работ на состояние законтурного массива без пояснения физической сущности происходящих процессов, изучение которых позволило бы управлять влиянием энергии взрыва на окружающий породный массив.

При взрыве зарядов ВВ в окружающий породный массив переходит мощная ударная волна трансформирующаяся затем в волну напряжения, взаимодействие которых с породным массивом и формирует зоны нарушенности.

Действие взрыва в оконтуривающих шпурах происходит при наличии двух обнаженных поверхностей, поэтому на законтурный массив действуют как прямые волны напряжений, так и отраженные от предконтурной плоскости обнажения волны.

По данным исследований А.Н. Ханукаева максимальные радиальные напряжения в крепких горных породах при взрывании удлиненных зарядов ВВ составляют

$$\sigma_{rmax} = \frac{\rho c_p}{g} \left( \frac{24}{r} + \frac{3600}{r^2} + \frac{86400}{r^3} \right) 10^2 \quad (1)$$

где  $\rho c_p$  – акустическая жесткость горной породы;  $\frac{r_p}{r} = \frac{r_x}{r_o}$  – относительное расстояние до приведенной точки.

Проходящая по породному массиву волна напряжения создает зону предразрушения, а при ее подходе к обнаженной поверхности, образованной после взрыва отбойных шпуров, происходит ее отражение на границе раздела сред. Отраженная волна напряжений может распространяться в законтурный массив, если к моменту ее формирования между оконтуривающими шпурами еще не будут образованы трещины.

Это условие можно выразить в виде:

$$t_{mp} \leq t_{np} + t_{omp},$$

где  $t_{mp}$  – время соединения встречных трещин от соседних шпуров;  $t_{np}$  – время распространения прямой волны напряжений до обнаженной поверхности;  $t_{omp}$  – время распространения отраженной волны напряжений до проектного контура выработки.

$$t_{mp} = \frac{E}{2U_{mp}}, \quad (2)$$

где  $E$  – расстояние между оконтуривающими шпурами;  $U_{mp}$  – скорость разрушения участков породы между шпурами в ряду.

$$t_{np} = t_{omp} = \frac{W}{C_p}, \quad (3)$$

где  $W$  – линия наименьшего сопротивления оконтуривающего ряда;  $C_p$  – скорость распространения возмущений в породном массиве.

Откуда:

$$\frac{E}{2U_{mp}} = \frac{2W}{C_p}. \quad (4)$$

Из полученного выражения видно, что минимальное расстояние между оконтуривающими шпурами, обеспечивающее локализацию отраженной волны, зависит от скорости разрушения участков породы между оконтуривающими шпурами, скорости распространения волны напряжений и величины линии наименьшего сопротивления оконтуривающего ряда.

В лабораторных условиях на моделях было проведено сравнение влияния на величину зон нарушенности только одного фактора – кривизны траектории размещения зарядов оконтуривающих шпуров.

Исследования влияния других факторов были проведены в производственных условиях шахт Кузбасса. Величина нарушенности законтурного массива определялась методом сквозного ультразвукового прозвучивания законтурного массива пород после взрыва зарядов ВВ и исследованием на энергоёмкость разрушения породных кернов, извлеченных из законтурного массива. Оценочными факторами являлись: коэффициент крепости пересекаемых горных пород; расстояния между оконтуривающими шпурами; повторность воздействия взрывных нагрузок от действия взрыва зарядов ВВ последующих циклов; изменение нарушенности породного массива в направлении глубины шпуров.

Исследования показали, что по всей длине выработки породный массив получает нарушенность глубиной 0,5 – 1 м. Кроме того, через некоторый интервал, равный длине применяемой внутренней забойки, наблюдаются допол-

нительные ослабления массива общей глубиной до 0,7 – 1,35 м.

Исследования трещиноватости кернов, взятых из законтурного массива, показали, что на глубине 10 – 20 см образуется густая сеть трещин, на глубине до 40 см сеть трещин становится реже, а на глубину до 1 м и более распространяются лишь отдельные трещины. Более точную картину изменения состояния законтурного массива дает исследование на энергоемкость разрушения образцов породы, взятых с различной глубины законтурного пространства после взрыва.

Относительная энергоемкость разрушения, равная единице, получена на глубине несколько большей, чем глубина нарушенности, установленная анализом трещиноватости кернов и ультразвуковым методом. Общую зону нарушенности породного массива вокруг горной выработки можно разделить на область трещинообразования, непосредственно прилегающую к контуру выработки, простирающуюся вглубь массива до 0,3 – 0,5 м и область волнового ослабления породы, простирающуюся за область трещинообразования до глубины 1,1 – 1,5 м. На величину зон нарушенности влияет форма контура выработки. Установлено, что наибольшая глубина зоны нарушенности наблюдается при минимальном радиусе кривизны размещения зарядов ВВ. При этом, глубина зон нарушенности в своде выработки составляет 1,2 – 1,3 глубины зоны нарушенности в боках выработки.

Значительное влияние на величину зон нарушенности и их состояние оказывает расстояние между оконтуривающими шпурами. Исследования глубины нарушенности законтурного массива в зависимости от расстояния между оконтуривающими шпурами ( $E$ ) были проведены в слаботрещиноватых породах в диапазоне расстояния между оконтуривающими шпурами от 0,4 до 0,9 м. Во всех случаях линия наименьшего сопротивления ( $W$ ) была не менее 0,6 м, что обеспечивало локализацию отраженной волны. Было установлено, что с увеличением расстояния между оконтуривающими шпурами глубина нарушенности законтурного массива уменьшается.

Полученные результаты позволили установить рациональные соотношения расстояний между оконтуривающими шпурами и величиной наименьшего сопротивления для различных крепостей горных пород, при которых обеспечиваются условия локализации отраженных волн напряжения.

Для горных пород с  $f=9-12$   $E \leq 2W$ , с  $f=6-$

8  $E \leq 1,6W$ , с  $f=4-6$   $E \leq 1,4W$ . При этих условиях влияние отраженной волны напряжения на разрушение законтурного массива будет незначительно.

При соблюдении этого условия законтурный массив не будет подвергаться дополнительному разрушению за счет действия отраженной волны напряжения, дальнейшее разрушение будет происходить за счет действия расширяющихся продуктов детонации, остаточное давление которых может быть определено из выражения

$$P_{ост} = \frac{P_o}{n_o} = \frac{\rho_{ss} D^2}{8n_o} \quad (5)$$

где  $n_o$  – коэффициент, учитывающий снижение давления за счет образования зоны пластических деформаций,  $n_o = \frac{P_o}{P_e}$ .

Разрушение горной породы под действием остаточного давления продуктов взрыва (ПВ) будет эффективно происходить при возможности беспрепятственного смещения в каком-либо направлении.

При взрыве зарядов ВВ оконтуривающих шпуров, из-за высокой скорости разрушения, которая на небольших расстояниях от заряда ВВ близка к скорости распространения волн напряжения, при значительной скорости прорастания трещин, прорыв газообразных ПВ от соседних шпуров через обнаженную поверхность, возможен при коэффициенте сближения  $a = \frac{E}{W} \geq 2$

При меньших значениях этого коэффициента продукты детонации, в первую очередь, будут проникать по трещинам, соединяющим соседние шпуры и массив начнет смещаться в сторону свободной поверхности как одно целое, а продукты детонации будут продолжать развивать трещиноватость как в смещаемом слое, так и в неподвижном законтурном массиве. Это приводит к увеличению нарушенности законтурного массива, если оконтуривающие шпуры были пробурены по линии проектного сечения. Для ослабления влияния такого явления оконтуривающие шпуры необходимо бурить на определенном расстоянии от проектного контура, зависящем от физико-механических свойств горной породы.

Существенное влияние на величину зоны видимых разрушений и глубину проникновения трещин оказывает расстояние между оконтуривающими шпурами. С увеличением расстояния между зарядами ВВ в оконтуривающих шпурах снижается коэффициент затухания скорости разрушения породы в приконтурном слое. «Перебуры» породы за проектный контур выработки зависят от угла наклона оконтуривающих шпуров, их глубины и положения устьев шпуров от-

носителю проектного контура. Немаловажное значение имеют свойства применяемых взрывчатых веществ и вес зарядов в оконтуривающих шпурах, которые должны удовлетворять основным требованиям:

- обеспечивать качественное отделение породы от массива и равномерное дробление её;

- обеспечивать формирование проектного контура горной выработки;
- обеспечивать минимальную нарушенность законтурного породного массива.

#### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Масаев, Ю. А. Влияние параметров буровзрывных работ на состояние законтурного массива горных выработок / Ю. А. Масаев, // Вестн. КузГТУ: – Кемерово. – 2000.– №5. – С. 85–87.

2. Масаев, Ю.А. Исследование механизма формирования зоны нарушенности породного массива после взрывания зарядов ВВ в оконтуривающих шпурах / Ю. А. Масаев // Вестн. КузГТУ: – Кемерово.– 2013. – №3. – С. 21–23.

PERIMETER MASSIF DISRUPTION ZONE FORMATION CONDITIONS AND ITS IMPACT ON MINE OPENING STABILITY STUDY

**Domanov V. P., Massaev Y. A., Massaev V. Y., Balaganskaya Y. N.**

*Perimeter massif disruption zone formation conditions depending on parameters of explosion charges location in perimeter blast-holes are reviewed.*

**Key words:** MINE HEADING FACE, MINE OPENING, CHARGE, SHOCK WAVE, DISRUPTION

*Виктор Петрович Доманов*  
e-mail: [vostnii-bvr@yandex.ru](mailto:vostnii-bvr@yandex.ru)

*Юрий Алексеевич Масаев*

*Владислав Юрьевич Масаев*

*Евгения Николаевна Балаганская*



## Ю.А. Масаев

канд. техн. наук, профессор кафедры строительства подземных сооружений и шахт ФГБОУ ВПО «КузГТУ»



## В.П. Доманов

канд. техн. наук, заведующий лабораторией АО «НЦ ВостНИИ»



## В.Ю. Масаев

канд. техн. наук, доцент кафедры экономики и управления на предприятии Кемеровского института (филиал) ФГБОУ ВПО «РЭУ им. Г.В. Плеханова»

УДК 622.235

## УСЛОВИЯ ЭФФЕКТИВНОГО СООРУЖЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК С ПРИМЕНЕНИЕМ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ

*Рассмотрены условия наиболее эффективного проведения горных выработок и процесса формирования зоны нарушенности законтурного породного массива в зависимости от параметров вруба.*

*Ключевые слова: ПОРОДНЫЙ МАССИВ; ГОРНАЯ ВЫРАБОТКА; СПОСОБ СТРОИТЕЛЬСТВА ПОДЗЕМНОГО СООРУЖЕНИЯ*

**П**роведение горных выработок с помощью буровзрывных работ значительно отличается от комбайнового способа как по трудоемкости производственных работ, так и по их организации. Трудоемкость буровзрывных работ увеличивается с увеличением крепости, упругости и вязкости горных пород.

Повышение трудоемкости буровзрывного комплекса приводит к повышению общей трудоемкости горнопроходческих работ за счет снижения коэффициента использования шпуров (КИШ) и подвигания выработки за взрыв, неравномерного дробления отбитой горной массы, наличия «перебуров» породы за проектным контуром выработки.

Одним из факторов, определяющих тру-

доемкость буровзрывного комплекса и удельную трудоемкость, приходящуюся на 1 м<sup>3</sup> готовой выработки, является удельный расход бурения для отбойки 1 м<sup>3</sup> горной породы.

Сравнение нормативных и фактических расходов бурения показало, что фактический удельный расход бурения превышает нормативный в выработках сечением в проходке 8-10 м<sup>2</sup> на 13-15%, а в выработках сечением 14-16 м<sup>2</sup> на 17-19% в зависимости от категории буримости пород.

Наиболее трудоемкими операциями проходческого цикла в крепких породах являются бурение шпуров и возведение постоянной бетонной крепи. Только эти операции составляют 75-80% суммарной трудоемкости работ.

Анализ трудоемкости горнопроходческих

работ по всем основным сечениям протяженных выработок показал, что она зависит от крепости пород и глубины шпуров, а также от размеров сечения сооружаемых выработок.

Исследования показали, что при различных сечениях горных выработок и определенных диапазонах коэффициентов крепости пород наблюдаются оптимальные глубины шпуров, при которых трудозатраты на 1 м<sup>3</sup> готовой выработки минимальны. Так, при увеличении сечения выработок в проходке от 10 до 14 м<sup>2</sup> относительная трудоемкость работ снижается, а при дальнейшем увеличении сечения выработок возрастает независимо от крепости пород. С увеличением же крепости горных пород относительная трудоемкость работ возрастает при любых сечениях выработок.

Эффективность буровзрывных работ предопределяется работой врубовых, отбойных и оконтуривающих шпуров, а также энергетическими показателями применяемых взрывчатых веществ.

Можно отметить, что основная роль в формировании конечных результатов взрыва принадлежит врубовым шпурам. Отбойные шпуры работают на сформированную врубовую полость и разрушают основную массу горного массива, а оконтуривающие шпуры формируют требуемый контур горной выработки, обеспечивая устойчивость окружающих пород в процессе ее эксплуатации. Назначение врубовых шпуров сводится к формированию дополнительных обнаженных поверхностей достаточной ширины, созданию врубовой полости достаточного объема и максимальному ослаблению взрывом заврубной части массива (в зоне расположения отбойных шпуров).

На все эти показатели эффективности вруба оказывают влияние геометрические размеры вруба, его форма, величина заряда взрывчатых веществ (ВВ), продолжительность разрушения породы во врубе, относительный коэффициент использования шпуров вруба. За относительный коэффициент использования врубовых шпуров принимается отношение видимой глубины врубовой полости к глубине шпуров всего комплекта. При проведении горных выработок, как в крепких горных породах, так и в породах средней крепости применяются преимущественно призматические врубы, редко применяют клиновидные врубы. В крепких и весьма крепких горных породах применяют призматические врубы с центральной незаряжаемой скважиной, выполняющей роль дополнительной обнаженной поверхности в системе вруба.

Исследования большого количества паспортов буровзрывных работ (БВР) и методов их расчета показали, что все они рассчитываются по однотипной методике, в которой при выборе параметров БВР в учет принимается две характеристики ВВ - работоспособность и бризантность, а при оценке эффективности взрыва - удельный расход ВВ и удельный расход бурения на 1 м<sup>3</sup>.

В ранее проведенных исследованиях ФГБОУ ВПО КузГТУ нами был предложен метод расчета параметров БВР и оценки эффективности взрыва на основе следующих энергетических показателей [1].

1. Энергия взрыва заряда ВВ:

$$E_{BB} = Qg, \quad (1)$$

где  $E_{BB}$  - энергия взрыва заряда ВВ, кДж;

$Q$  - теплота взрыва ВВ, кДж/кг;

$g$  - масса заряда ВВ, кг.

2. Мощность взрыва заряда ВВ, выражаемая отношением энергии взрыва заряда к продолжительности процесса детонации или количеством энергии, выделившейся за единицу времени

$$N_{BB} = \frac{E_{BB}}{t} \quad (2)$$

где  $t$  - продолжительность процесса детонации заряда ВВ, мкс;

$N_{BB}$  - мощность взрыва заряда ВВ, кДж.

3. Объемная плотность энергии заряда, выражаемая отношением энергии взрыва к объему заряда ВВ (кДж/см<sup>3</sup>):

$$\gamma_3 = \frac{Qg}{V_3} = Q\Delta, \quad (3)$$

где  $V_3$  - объем заряда ВВ, см<sup>3</sup>;

$\Delta$  - плотность ВВ, г/см<sup>3</sup>.

4. Объемная плотность энергии заряжения, равная отношению энергии взрыва к объему шпура.

$$\gamma_V = \frac{Qg}{V_{3.к.}} = \frac{4Qg}{\pi d_1^2 l}, \quad (4)$$

где  $d_1$  - диаметр шпура, см; длина заряда ВВ в шпуре, см.

5. Поверхностная плотность энергии заряда ВВ, равная отношению энергии взрыва к площади боковой поверхности заряда ВВ

$$\rho_3 = \frac{Qg}{S} = \frac{Qg}{\pi dl}, \quad (5)$$

где  $S$  - площадь боковой поверхности заряда ВВ, см<sup>2</sup>;

$d$  - диаметр заряда ВВ, см.

6. Поверхностная плотность энергии заряжения, выражаемая отношением энергии взрыва к боковой поверхности зарядной камеры.

$$\rho_K = \frac{Qg}{\pi d_1 l}, \quad (6)$$

Для выбора типа ВВ и оценки способности породы разрушаться под воздействием взрыва взамен показателя взрываемости предлагается принять следующие показатели:

А. Акустическая жесткость горных пород:

$$Z = \rho_n c, \quad (7)$$

где  $\rho_n$  - плотность горной породы, кг/м<sup>3</sup>;  
 $c$  - скорость продольной звуковой волны в породе, м/с.

В. Энергоемкость разрушения породы:

$$\Xi = \frac{A}{\Delta S}, \quad (8)$$

где  $A$  - энергия, затрачиваемая на дробление породы, кДж;  
 $\Delta S$  - приращение площади боковой поверхности после дробления породы, см<sup>2</sup>.

Для оценки состояния горного массива впереди забоя проводимой горной выработки могут быть приняты следующие показатели.

А. Показатель трещиноватости горного массива.

$$\Pi = \frac{1}{6} a_1 a_2 a_3, \quad (9)$$

где  $a_1, a_2, a_3$  - соответственно число трещин на 1 м систем А, В, С, выделенных в забое.

В. Угол встречи оси выработки с осью наиболее активной системы трещин, зависящей от угла залегания относительно оси выработки и угла падения этой системы.

$$\alpha = \arctg(\sin\beta \operatorname{tg}\varphi), \quad (10)$$

где  $\beta$  - угол залегания наиболее активной системы трещин относительно оси выработки град;  
 $\varphi$  - угол падения этой системы, град.

С. Глубина зоны растягивающих напряжений в горном массиве впереди забоя выработки.

$$\Phi = \frac{1,4}{f} \sqrt{S l g \frac{H}{\lambda}}, \quad (11)$$

где  $f$  - коэффициент крепости породы по шкале проф. М. М. Протоdjяконова;  
 $S$  - сечение выработки в проходке, м<sup>2</sup>;  
 $H$  - глубина заложения выработки, м;  $\lambda$  - коэффициент бокового отпора.

С учетом энергетических характеристик ВВ и состояния горного массива удельный заряд ВВ может быть рассчитан по формуле [2].

$$q_{вв} = \frac{48,6 - 0,04\Pi}{Q(\pi - \cos\alpha)} \left( 1884,5 \frac{\sqrt{f^3}}{\sqrt{S}} + 502,3l - 1551,3 \right), \quad (12)$$

где  $Q$  - теплота взрыва ВВ, кДж/кг;  
 $\alpha$  - угол встречи оси выработки с осью наиболее активной трещиноватости, град.

Удельный заряд для клиновых врубов во врубке может быть определен из выражения:

$$g_{вв}^{вп} = g_{вв} \left( 1 + \sqrt{\frac{l_{uu}}{\phi}} \right),$$

для призматических врубов:

$$g_{вв}^{вп} = g_{вв} \left( 1 + \sqrt{\frac{l_{uu} \sqrt{f}}{\phi}} \right)$$

При проведении горизонтальных горных выработок с креплением при выборе типа вруба следует учитывать необходимость предотвращения нарушения крепи действием взрыва.

Установлено, что при применении прямых врубов разброс взорванной массы и ее воздействие на крепь менее интенсивно, чем при клиновых врубах. Кроме этого прямые врубы обеспечивают увеличенное предразрушающее воздействие на заврубовую часть массива, улучшая условия работы зарядов в отбойных шпурах.

При выборе рациональных параметров прямых врубов необходимо использовать следующие показатели:

1. Полный объем обуренного призматического вруба.

$$V_{вп} = a b l_{uu}, \quad (13)$$

где  $a$  - ширина вруба, м;  $b$  - высота вруба, м;  $l_{uu}$  - глубина вруба, м.

2. Удельная энергия врубовых шпуровых зарядов ВВ - величина энергии ВВ, приходящейся на единицу полного объема вруба (кДж/м<sup>3</sup>).

$$E_{вп} = \frac{Q \sum G}{V_{вп}}, \quad (14)$$

где  $\sum G$  - суммарный заряд ВВ врубовых шпуров.

3. Активный объем вруба - объем горной породы во врубе, оконтуренной той частью шпуров, где размещены заряды ВВ.

$$V'_{вп} = a b l_3, \quad (15)$$

где  $l_3$  - длина заряда ВВ во врубовых шпурах, м.

4. Удельная энергия зарядов ВВ, приходящаяся на единицу активной части вруба.

$$E'_{вп} = \frac{Qg}{V'_{вп}}, \quad (16)$$

где  $E'_{вп}$  - удельная энергия активной части вруба, кДж/м<sup>3</sup>.

5. Коэффициент заполнения вруба, равный отношению активной части к полному объему вруба

$$K_{вп} = \frac{V'_{вп}}{V_{вп}} = \frac{l_3}{l_{uu}}, \quad (17)$$

При прямых врубах коэффициент заполнения вруба численно равен коэффициенту заполнения шпуров.

Исследования, проведенные в забоях подготовительных выработок угольных и рудных шахт, проводимых по породам с коэффициентом крепости по шкале проф. М.М. Протоdjяконова от 4 до 18, площадью поперечного сечения

от 8 до 20 м<sup>2</sup>, при глубине шпуров от 1,6 до 2,5 м показали, что прямые врубы, расположенные в центральной части плоскости забоя и рассчи-

танные по энергетическим показателям эффективнее всех других типов врубов.

#### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Баранов, Л. В. Энергетические показатели эффективности взрыва / Л. В. Баранов, Ю. А. Масаев, Г. Е. Баранова // Научно-технические проблемы сооружения горных выработок: Межвуз. сб. научн. тр. Кузбас. политехн, ин-т.- Кемерово.-1991.-С.111-116.

2. Баранов, Л. В. Физические основы определения параметров взрывных работ в условиях проведения горизонтальных выработок / Л. В. Баранов, Ю. А. Масаев, Е. Е. Баранова // Совершенствование горнопроходческих работ при сооружении шахт и рудников - Кемерово. Межвуз. сб. науч. тр. Кузбас. политехн, инт.- 1989.- С.58-65.

TERMS OF UNDERGROUND MINE WORKINGS EFFICIENT CONSTRUCTION BY BLASTING

**Massaev Y.A., Domanov V.P., Massaev V.Y.**

*Conditions of the most effective mine opening heading and the perimeter rock mass disturbance zone formation process as function of the cut parameters.*

**Key words:** ROCK MASS, MINE OPENING, BUILDING METHOD OF AN UNDERGROUND CONSTRUCTION

*Масаев Юрий Александрович*

*Доманов Виктор Петрович*  
*e-mail: [vostnii-bvr@yandex.ru](mailto:vostnii-bvr@yandex.ru)*

*Масаев Владислав Юрьевич*

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



**А.И. Фомин**

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



**Д.А. Бесперстов**

аспирант ФГБОУ ВПО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности»

УДК 614.841.315

### ОЦЕНКА ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ СРЕДСТВАМИ СПАСЕНИЯ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ ПОЖАРОВ РАБОТНИКОВ УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ И УГЛЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

*Раскрыты проблемы существующих оценок пожаробезопасности работников, а также проблемы по обеспечению их безопасности. Вместе с этим изложена разработанная оценка пожаробезопасности и способ обеспечения работников средствами спасения при возникновении пожара в здании или строении угледобывающих и углеперерабатывающих предприятий Кузбасса.*

*Ключевые слова: УГОЛЬНЫЕ ПРЕДПРИЯТИЯ, ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ, ОЦЕНКА СООТВЕТСТВИЯ, СРЕДСТВА СПАСЕНИЯ, ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЖАРОБЕЗОПАСНОСТИ, СПАСЕНИЕ ЛЮДЕЙ, ОПАСНЫЕ ФАКТОРЫ ПОЖАРА*

**В** настоящее время актуальным вопросом является обеспечение пожарной безопасности работников, находящихся в зданиях и сооружениях промышленных предприятий. Существующее негативное положение сложилось из-за износа оборудования и зданий предприятий, функционирующих не один десяток лет. Вместе с этим Кемеровская область характеризуется значительным количеством угледобывающих и углеперерабатывающих предприятий, являющихся объектами жизнеобеспечения населения. Порядка 50% зданий и строений данных организаций не соответствуют установленным требованиям в области пожарной безопасности. Фактическое состояние более 200 зданий и строений, находящихся на территории около 50 предприятий угольной промышленности, не обеспечивает пожаробезопасность людей.

В целях обеспечения пожаробезопасности необходимо:

1. Разработать оценку пожаробезопасно-

сти работников.

2. Разработать способ обеспечения людей средствами спасения.

При оценке соответствия объекта требованиям пожарной безопасности необходимо знать, что каждый объект защиты должен иметь систему обеспечения пожарной безопасности [1].

Вместе с этим, при оценке соответствия объекта требованиям пожарной безопасности, необходимо руководствоваться нормативно-правовыми актами Российской Федерации.

Рассмотрев систему обеспечения пожарной безопасности, а также требования, установленные нормативно-правовыми актами Российской Федерации, регламентирующими требования пожарной безопасности, возникает ряд основных проблем, решение которых позволит исключить ошибочные действия при оценке пожаробезопасности объектов защиты.

К данным проблемам относятся:

1. Наличие большого количества нормативно-технической документации, регламенти-



рующей детерминированные требования в области пожарной безопасности;

2. Методики по оценке пожарных рисков, основанные на вероятностных критериях, а также имеющие сложные математические расчеты;

3. Отсутствуют оценки соответствия пожаробезопасности работников в условиях невозможности приведения объектов к условиям соответствия вероятностных и (или) детерминированных критериев.

Для решения данных проблем необходимо выяснить, какой опасный фактор пожара наиболее значительно влияет на безопасность работников.

После проведения ряда расчетов, нами было установлено, что опасные факторы пожара наиболее быстро наступают при потере видимости. Данный факт подтверждается низкой эффективностью применения средств индивидуальной защиты, а также средств управления людьми при их эвакуации в безопасную зону в случае возникновения пожара [2, 3].

Исходя из вышеизложенного, а также из порядка реализации основополагающих законодательных и нормативно-правовых актов с требованиями в области пожарной безопасности, можно выделить область актуальности применения средств спасения людей при возникновении пожара [4].

Но перед разработкой методики по определению требуемого количества и типов средств спасения необходимо определить качественную оценку соответствия объекта требованиям пожарной безопасности – оценку пожаробезопасности людей [5]. При разработке оценки пожаробезопасности работников необходимо решить следующие задачи:

1. Обеспечить целенаправленность документов нормативно-правовой базы, действующей в области пожарной безопасности, в том числе выделив из них документы по оценке пожароопасности зданий и строений;

2. Определить область применения норм для различных этапов жизненного цикла объектов проектирования, строительства и эксплуатации зданий и строений;

3. Категорировать нормы на основе функционального назначения объектов;

4. Разделить нормы на обязательные и рекомендательные;

5. Ввести обязательную оценку пожаробезопасности зданий и плана профилактических противопожарных мероприятий для зданий и строений, включающую социально-экономические аспекты;

6. Для повышения эффективности профилактических противопожарных мероприятий разработать «Методические указания плана профилактических противопожарных мероприятий».

С учетом данных задач, предлагается следующая оценка безопасности работников при возникновении пожара.

Условия эвакуации людей выполняются при реализации следующего неравенства:

$$t_g < t_{\text{рофн}} \Rightarrow t_g / t_{\text{рофн}} < 1, \quad (1)$$

где  $t_g$  - время от начала движения людей до выхода в безопасную зону, мин;

$t_{\text{рофн}}$  - время от начала пожара до появления опасных факторов пожара, имеющих предельно допустимые для людей значения, мин.

В данном случае эвакуация выполняется до появления опасных факторов пожара при значении  $1 - t_g / t_{\text{рофн}}$  выше нуля:

$$1 - t_g / t_{\text{рофн}} > 0.$$

Условия эвакуации людей не выполняются при реализации следующего неравенства:

$$t_g \geq t_{\text{рофн}} \Rightarrow t_g / t_{\text{рофн}} \geq 1. \quad (2)$$

В данном случае эвакуация не выполняется до появления опасных факторов пожара при значении  $1 - t_g / t_{\text{рофн}}$  ниже (равно) нуля:

$$1 - t_g / t_{\text{рофн}} \leq 0.$$

Исходя из вышеприведенных условий, можно вывести качественный показатель оценки безопасности людей при возникновении пожара – коэффициент пожаробезопасности ( $K$ ), который будет равен  $K = 1 - t_g / t_{\text{рофн}}$ .

Из приведенного равенства видно, что пожаробезопасность людей выполняется если коэффициент  $K > 0$ , если  $K < 0$  - не выполняется. При значении коэффициента  $K = 0$  выполняется условие минимально необходимых требований [6], т.е. выполняется условие  $t_g = t_{\text{рофн}}$ .

Эффективность предлагаемой оценки обеспечивается следующим:

1. Отсутствуют сложные математические расчеты;

2. Установлен качественный показатель оценки безопасности людей при возникновении пожара;

3. С введением данного показателя появилась возможность сопряжения характеристик средств спасения с параметрами наступления опасных факторов пожара;

4. Применение данной оценки позволило разработать предлагаемый способ обеспечения людей средствами спасения для обеспечения их безопасности при возникновении пожара.

Перед тем как перейти к выводу зависимости необходимого количества средств спасения

от наступления опасных факторов пожара на человека, проведем ряд несложных математических расчетов [6].

Исходя из количества людей, не имеющих возможность покинуть здание в штатном режиме, производительности средства спасения и времени спасения, необходимое количество однотипных спасательных устройств ( $n$ ), установленных в одном месте, рассчитывается по формуле:

$$n = \frac{N}{Q \cdot t_{спас}}, \quad (3)$$

где  $N$  – расчетное количество людей, не имеющих возможности покинуть сооружение в штатном режиме;

$Q$  – пропускная способность (производительность) спасательного устройства, чел./мин;

$t_{спас}$  – время спасения, при котором опасные факторы пожара не успеют достичь критических значений в зоне нахождения спасаемых, определяется расчетным путем до наступления порогового значения первого из опасных факторов пожара по формуле:

$$t_{спас} = t_в + t_{подг} + t_{спуск} + t_{актив} \quad (4)$$

или с учетом коэффициента пожаробезопасности:

$$t_{спас} = t_{рофн} \cdot (1-K) + t_{подг} + t_{спуск} + t_{актив}, \quad (5)$$

где  $t_{подг}$  – время подготовки человека к спуску (прыжку) на спасательном устройстве после спуска (прыжка) предыдущего человека, мин;

$t_{спуск}$  – время спуска человека на спасательном устройстве до безопасного уровня, мин;

$t_{актив}$  – время подготовки спасательного устройства к действию, перевод его из режима ожидания в работоспособное состояние, мин.

Производительность канатно-спускных устройств является переменной величиной в зависимости от выс  $Q = \frac{1}{t_{подг} \cdot t_{спуск}}$  быть вычислена по формуле:

$$(6)$$

Минимально необходимое количество средств спасения в зависимости от наступления опасных факторов пожара с учетом коэффициента пожаробезопасности  $K$ :

$$n = \frac{t_{подг} \cdot t_{спуск} \cdot N}{t_{подг} \cdot (1-K) + t_{подг} + t_{спуск} + t_{актив}} \Rightarrow n = \frac{t_{подг} \cdot (H_{спуск} / V_{спуск}) \cdot N}{t_{рофн} \cdot (1-K) + t_{подг} + (H_{спуск} / V_{спуск}) + t_{актив}} \quad (7)$$

Проведя расчет времени наступления опасных факторов пожара ( $t_{рофн}$ ) в зависимости от площади и высоты помещения для зданий 1-2 степени огнестойкости, а также для зданий 3-4 степени огнестойкости, подставим найденные значения наступления опасных факторов по-

жара ( $t_{рофн}$ ) в выражение по расчету минимально необходимого количества средств спасения в зависимости от наступления опасных факторов пожара с учетом коэффициента пожаробезопасности  $K$ .

Стало возможным определение минимально необходимого количества средств спасения людей (при  $K=0$ ) из зданий 1-2 степени огнестойкости в зависимости от площади помещения, этажности здания и высоты этажа, и из здания 3-4 степени огнестойкости.

Затем расчеты сводим в таблицу при которых значения  $K=0$ , т.к. это условие отражает минимально необходимое количество средств спасения работников (табл.1).

Данные табличные показатели и функции, описывающие зависимости, являются Методикой определения минимально необходимого количества средств спасения по сводным табличным значениям.

Как мы видим, довольно просто определить необходимое количество средств спасения, исходя из площади помещений и элементарных параметров здания (степень огнестойкости, этаж, высота этажа).

Для наиболее наглядного применения разработанного способа, алгоритм социально-экономического выбора средств спасения можно представить в виде блок – схемы (рис. 1).

В данной блок-схеме приведены следующие основные этапы:

- вывод качественного показателя ( $K$ ) эвакуации людей;
- вывод формулы по определению минимально необходимого количества средств спасения;
- исходные данные для вывода экспресс-методики под различные средства спасения;
- проверка возможности применения средств спасения (проверяется сохранение целостности здания до окончания эвакуации);
- экспресс-методика с социально-экономическим обоснованием выбора средства спасения.

Преимущества разработанной методики определения минимально необходимого количества средств спасения заключаются в следующем:

1. Данная методика проста в применении. На расчеты требуются минимальные временные затраты. Так, для определения количества спасательных устройств, вместо двух десятков исходных данных, необходимых для сложных математических расчетов, требуется только 4:  $S$  - площадь помещения, м<sup>2</sup>;  $n_{эт}$  - этажность зда-

Таблица 1 - Определение минимально необходимого количества канатно-спусковых устройств с автоматическим регулированием скорости спуска  $n$  в зависимости от параметров здания и площади помещения  $S$

| Параметры здания        |                              |                             | Количество средств спасения ( $n$ ), шт   |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                     |                     |                     |                     | Функция по определению средств спасения ( $n$ ), шт. |                              |
|-------------------------|------------------------------|-----------------------------|---|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--|------------------------------|
| Высота этажа ( $H$ ), м | Степень огнестойкости здания | Этаж расположения помещения | Площадь помещения ( $S$ ), м <sup>2</sup> |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                     |                     |                     |                     |  |                              |
|                         |                              |                             | 10, м <sup>2</sup>                        | 20, м <sup>2</sup> | 30, м <sup>2</sup> | 40, м <sup>2</sup> | 50, м <sup>2</sup> | 60, м <sup>2</sup> | 70, м <sup>2</sup> | 80, м <sup>2</sup> | 90, м <sup>2</sup> | 100, м <sup>2</sup> | 200, м <sup>2</sup> | 300, м <sup>2</sup> | 400, м <sup>2</sup> | 500, м <sup>2</sup>                                  |                              |
| 3                       | 1-2                          | 2                           | 1   | 1                  | 1                  | 1                  | 2                  | 2                  | 2                  | 3                  | 3                  | 3                   | 6                   | 9                   | 12                  | 14   | $n=0,02849 \cdot S+0,2464$   |
|                         |                              | 3                           | 1   | 1                  | 2                  | 2                  | 2                  | 3                  | 3                  | 4                  | 4                  | 5                   | 9                   | 13                  | 17                  | 21   | $n = 0,04145 \cdot S+0,4402$ |
|                         |                              | 4                           | 1   | 1                  | 2                  | 3                  | 3                  | 4                  | 4                  | 5                  | 6                  | 6                   | 12                  | 17                  | 23                  | 28   | $n = 0,05573 \cdot S+0,4523$ |
|                         |                              | 5                           | 1   | 2                  | 2                  | 3                  | 4                  | 5                  | 5                  | 6                  | 7                  | 8                   | 15                  | 22                  | 28                  | 35   | $n = 0,06964 \cdot S+0,5144$ |
|                         | 3-4                          | 2                           | 1   | 1                  | 1                  | 1                  | 2                  | 2                  | 3                  | 3                  | 3                  | 4                   | 7                   | 11                  | 14                  | 18   | $n = 0,03578 \cdot S+0,0166$ |
|                         |                              | 3                           | 1   | 1                  | 2                  | 2                  | 3                  | 3                  | 4                  | 4                  | 5                  | 5                   | 11                  | 16                  | 21                  | 26   | $n = 0,05202 \cdot S+0,1831$ |
|                         |                              | 4                           | 1   | 1                  | 2                  | 3                  | 4                  | 4                  | 5                  | 6                  | 6                  | 7                   | 14                  | 21                  | 27                  | 34   | $n = 0,06783 \cdot S+0,1952$ |
|                         |                              | 5                           | 1   | 2                  | 3                  | 4                  | 4                  | 5                  | 6                  | 7                  | 8                  | 9                   | 17                  | 25                  | 34                  | 42   | $n = 0,08354 \cdot S+0,292$  |

ния;  $H$  - высота этажа, м; степень огнестойкости здания, которые можно определить без квалификационных знаний. И, как следствие, методика имеет высокую точность, надежность.

2. Методика обладает универсальностью, т.к. в формулу по определению минимально необходимого количества средств спасения в зависимости от наступления опасных факторов пожара с учетом коэффициента пожаробезопасности ( $K$ ) возможно подставить характеристики любых средств спасения, а затем по порядку, установленному блок-схемой, выводятся соответствующие зависимости выбора количества средств спасения и их экономическая целесообразность.

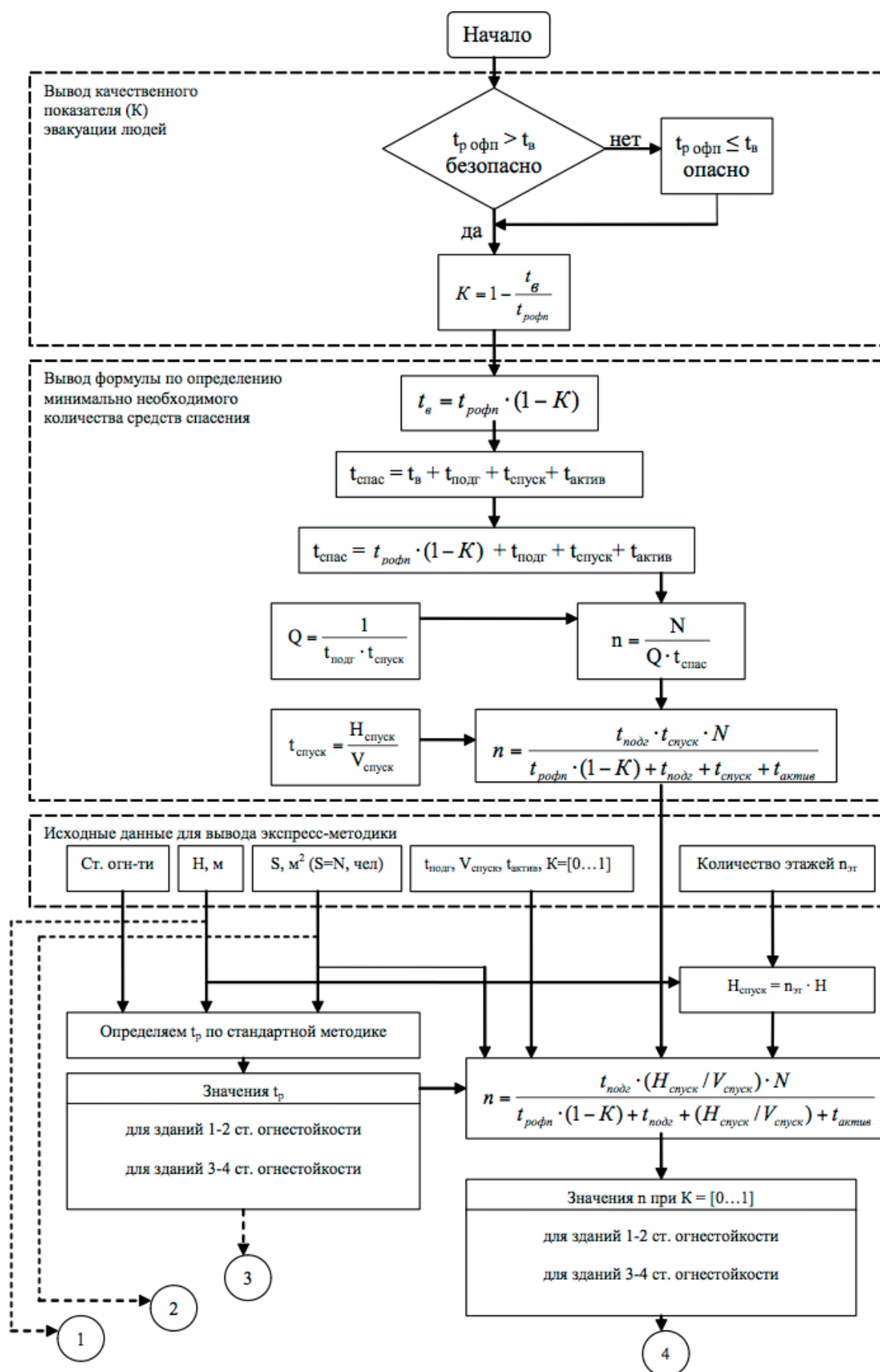
3. С помощью данной методики появилась возможность не только определения социально-экономического эффекта выбора тех или иных средств спасения, но и определение минимально необходимого их количества.

4. Методика подтверждает мнение о том, что экономия денежных средств на выполнение требований пожарной безопасности не всегда отрицательно влияет на безопасность людей. Подтвердилась версия о том, что в зданиях,

не оборудованных дорогостоящими системами обеспечения пожаробезопасности объектов (АУПТ, АПС, огнезащитная обработка или демонтаж горючих материалов на путях эвакуации, увеличение ширины данных путей и т.д.), далеко не всегда могут быть допущены социальные потери в результате возникновения пожаров. Методика позволила заменить средствами спасения дорогостоящие системы обеспечения пожаробезопасности людей, находящихся в зданиях 3-4 степени огнестойкости.

5. Данная методика направлена на защиту конституционных прав граждан, а именно, что все люди должны быть спасены до начала наступления опасных факторов пожара. Так, имуществом физические и юридические лица имеют право распоряжаться на свое усмотрение, в том числе и им рисковать.

6. Для производителей появилась возможность разработки средств спасения, подходящих под конкретные типы зданий (подбирая соответствующие технические характеристики средств: время подготовки, время активации и скорости спуска).



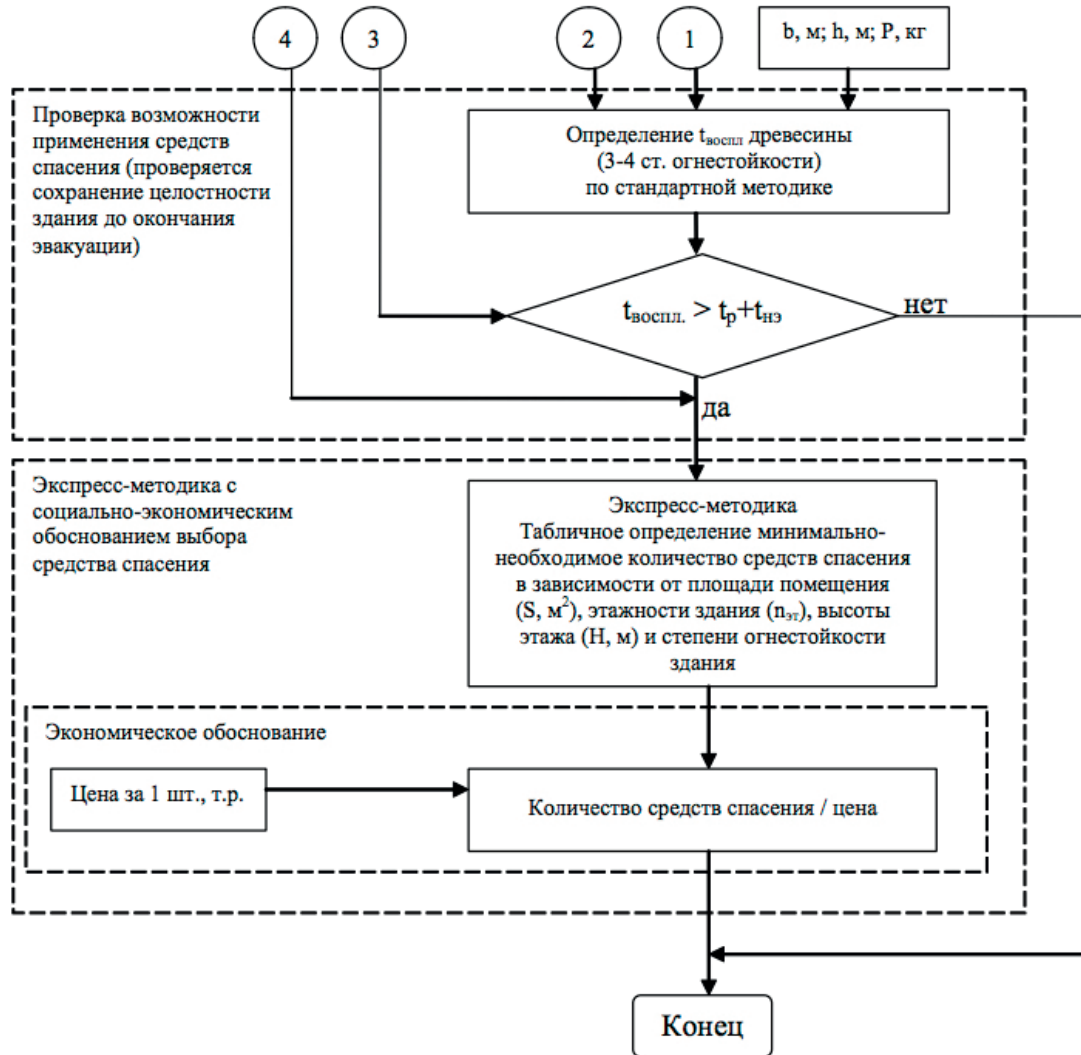


Рисунок 1 – Блок-схема вывода методики социально-экономического выбора средства спасения

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Российская Федерация. Законы. Федеральный закон 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. – N 30 – ч.1. – ст. 3579.
2. ГОСТ 12.1.004-91. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования [Текст]. Взамен ГОСТ 12.1.004-85; введ. 1992-07-01; ред. от 01.10.1993. – М.: Стандартинформ, 2006.
3. ГОСТ Р 12.3.047-98. ССБТ. Пожарная безопасность технологических процессов [Текст]. Введ. 1998-08-03; ред. от 01.01.2000. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1998.
4. Методические рекомендации по применению средств индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре [Текст]. Утв. гл. гос. инспектором РФ по пожарному надзору генерал-полковником Кирилловым Г.Н. от 11.10.2011г. – №2-4-60-12-19. – М., 2011. – 20 с.
5. ГОСТ 15467-79 (СТ СЭВ 3519-81). Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения [Текст]. Введ. 1979 – 01 – 26; ред. от 16.01.1985. – М.: Издательство стандартов, 1981.
6. Российская Федерация. Законы. Федеральный закон от 27.12.2002 N 184-ФЗ (ред. от 23.06.2014) «О техническом регулировании» (с изм. и доп., вступ. в силу с 22.12.2014) : М.: Собрание законодательства РФ – 2002, – N 52 – ч.1. – ст. 5140

WORKERS FIRE PROTECTION  
EVALUATION AND PROVISION OF RESCUE  
MEANS FOR THEM IN CASE OF FIRE AT  
COAL EXTRACTING AND COAL WASHING  
ENTERPRISES OF KEMEROVO REGION

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

*Workers fire safety evaluation problems are disclosed as well as problems of their safety provision. Together with this it describes the developed workers fire protection evaluation and provision of rescue means for them in case of fire at coal extracting and coal washing enterprises of Kemerovo region*

**Key words:** COAL ENTERPRISES, FIRE SAFETY, CORRESPONDENCE EVALUATION, RESCUE MEANS, FIRE PROTECTION PROVISION, PEOPLE RESCUE, FIRE DANGER FACTORS

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

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

## GaSos

### Стационарный газоанализатор контроля параметров атмосферы в зоне отработанного пространства

**Блок индикации и передачи данных**

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

**Управление**  
Антивандалные кнопки

**Выносной блок для измерения концентрации газов и контроля параметров атмосферы**  
Измерение до 6 газов одновременно, а также температуры, относительной влажности и абсолютного давления одним блоком диффузионным методом без пробоотборного насоса. Данная методика измерения позволяет снизить энергопотребление и повысить надежность газоанализатора

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

**Зона отработанного пространства**

ООО «Горный-ЦОТ»  
minesafety.ru  
(3842) 340670



### **В.Г. Казанцев**

д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой Бийского технологического института ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»



### **А.Г. Овчаренко**

д-р техн. наук, проф., декан механического факультета Бийского технологического института ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»



### **Е.Я. Кулявцев**

канд. техн. наук, ведущий инженер ФНПЦ «Алтай»



### **Е.В. Сыпин**

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



### **Н.Ю. Тупикина**

старший преподаватель кафедры Бийского технологического института ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»

УДК 614.844.1 (083.74)

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВУХФАЗНОГО ИСТЕЧЕНИЯ ГАЗОПОРОШКОВОЙ СМЕСИ ЧЕРЕЗ КОРОТКИЕ СОПЛА С УЧЕТОМ ВЫСОКОГО СОДЕРЖАНИЯ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ В ГАЗОВОЙ ФАЗЕ**

*Модель истечения газопорошковой смеси из коротких насадков или отверстий построена с использованием методов двухфазного нестационарного истечения смеси газа и твердых частиц через сопло в предположении о запаздывании скорости частиц от скорости газа.*

*Ключевые слова: МОДЕЛЬ ИСТЕЧЕНИЯ ГАЗОПОРОШКОВОЙ СМЕСИ, ГАЗОПОРОШКОВАЯ СМЕСЬ, МОДУЛЬ ПОРОШКОВОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ, ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ*

Построение модели истечения газопорошковой смеси из корпуса модуля порошкового пожаротушения (МПП) базируется на исследованиях Дж. Клигеля, Дж. Рудингера, Р. Хогланда, С. Соо, И. Стокеля и др. ученых [1, 2, 3], которым в предположении об изотермичности процесса стационарного истечения двухфазного потока через сопла и в предположении о постоянстве значения коэффициента запаздывания скорости частиц от скорости газа, удалось основную систему уравнений свести к алгебраическим соотношениям, учитывающим высокое содержание твердых частиц в газовой фазе.

Необходимо иметь в виду, что по сравнению с упомянутой выше моделью, где рассматривается стационарный процесс истечения двухфазного потока, процесс истечения газопорошковой смеси из корпуса МПП носит нестационарный характер. В соответствии с этим возникает необходимость в корректировке модели, учитывая при этом непрерывное изменение объемной доли частиц в корпусе модуля при его срабатывании.

Эти и другие усовершенствования позволят получить модель двухфазного течения газопорошковой смеси, необходимую для анализа процесса работы модуля порошкового пожаротушения во времени.

Алгоритм расчета газодинамических параметров двухфазного потока, распространенный нами на случай нестационарного истечения газопорошковой смеси представляется следующими основными соотношениями.

Во входной части сопла задается безразмерная скорость газа (рис.1):

$$\bar{V}_0 = V_0 / a_k \quad (1)$$

где  $a_k$  – равновесная скорость звука в газе м/с,  $V_0$  – скорость газа на входе в сопло, м/с.

Отношение массовых расходов частиц  $m_p$  и газа  $m_g$  из корпуса через сопло характеризуется коэффициентом массовой доли частиц:

$$\eta = \frac{m_p}{m_g} \quad (2)$$

Обозначая отношение плотностей газа  $\rho_g$  и порошка  $\rho_p$  через  $\beta$ :

$$\beta = \frac{\rho_g}{\rho_p} \quad (3)$$

выразим объемную долю частиц  $\epsilon_k$  в корпусе в виде:

$$\epsilon_k = \frac{\beta \cdot \eta}{1 + \beta \cdot \eta} \quad (4)$$

Если рассматривать в качестве независимой переменной скорость газа  $V_g$ , то в соответствии с моделью Клигеля [2] предполагается, что запаздывание частиц по длине входной части

сопла (до сжатого сечения) определяется отношением скорости частиц  $V_p$  к скорости газа:

$$K_p = \frac{V_p}{V_g} = \beta \cdot \eta (1 - \epsilon_k) \cdot P_k / \epsilon_k, \quad (5)$$

где  $P_k$  – давление в корпусе, МПа.

Относительное давление в сжатом сечении  $\bar{P}_{сж} = P_{сж} / P_k$  определяется из решения трансцендентного уравнения:

$$2 \cdot \ln(\bar{P}_{сж}) + \left( \frac{\epsilon_k}{1 - \epsilon_k} \cdot \bar{P}_{сж} \right)^2 + 4 \cdot \frac{\epsilon_k}{1 - \epsilon_k} \cdot \bar{P}_{сж} = \gamma \left( 1 + \eta \cdot K_p \right) \bar{V}_0 - 1 + \frac{2\epsilon_k}{1 - \epsilon_k} \quad (6)$$

Объемная доля частиц в сжатом сечении сопла определяется из выражения:

$$\epsilon_{сж} = \frac{\beta \cdot \eta \cdot \bar{P}_{сж}}{K_p + \beta \cdot \eta \cdot \bar{P}_{сж}} \quad (7)$$

Скорость газа  $V_{g,сж}$  в сжатом сечении сопла вычисляется из соотношения:

$$V_{g,сж} = \frac{a_k}{1 - \epsilon_{сж}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\gamma (1 + \eta \cdot K_p)}} \quad (8)$$

где  $\gamma$  – показатель адиабаты.

Из уравнения состояния газа для изотермического течения определяется плотность газа в сжатом сечении:

$$\rho_{g,сж} = \frac{P_{сж}}{R_g \cdot T_g} \quad (9)$$

Тогда секундный массовый расход газа через сопло можно определить из соотношения:

$$G_g = (1 - \epsilon_{сж}) \cdot \rho_{сж} \cdot V_{g,сж} \cdot \omega_{сж} \quad (10)$$

где  $\omega_{сж}$  – площадь сжатого сечения соплового насадка, м<sup>2</sup>,

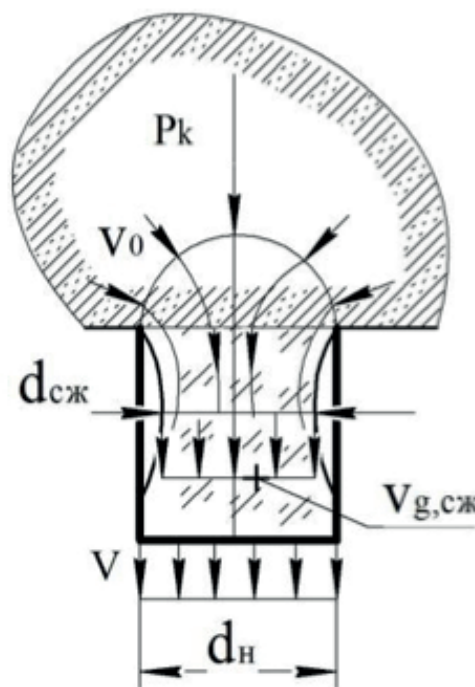


Рисунок 1 – Истечение газопорошковой струи через насадок



а расход частиц в виде

$$G_p = \epsilon_{сж} \cdot \rho_p \cdot V_{p,сж} \cdot \omega_{сж} \quad (11)$$

где  $V_{p,сж} = V_{g,сж} \cdot K_p$  – скорость частиц порошка в сжатом сечении, м/с.

Определив расходы частиц  $G_p$  и газа  $G_g$  из корпуса через цилиндрический насадок можно провести расчёт параметров на следующий момент времени при осреднении всех параметров в корпусе («нульмерный» расчёт).

Для нахождения давления в корпусе в следующий момент времени приведенную систему уравнений необходимо дополнить следующими дифференциальными уравнениями:

$$\frac{dP_k}{dt} = -\frac{P_k}{W_g} \cdot \frac{G_p}{\rho_p} - G_g \frac{R_g \cdot T_g}{W_g}; \quad \frac{dW_g}{dt} = \frac{G_p}{\rho_p} \quad (12)$$

По приведенному выше алгоритму разработана программа для электронных вычислительных машин (ЭВМ) на алгоритмическом языке «Турбо Паскаль». Система уравнений интегрировалась методом «прямоугольников».

При расчёте параметров потока задавался шаг интегрирования по времени  $\Delta t = 0,001$ с. Относительная погрешность между двумя расчетами при  $\Delta t = 0,001$ с и  $\Delta t = 0,0005$ с составляла  $\delta > 0,1\%$ .

С целью оценки работоспособности разработанной модели расчеты изменения давления в корпусе реального модуля порошкового пожаротушения (МПП) сопоставлялись с соответствующими опытными значениями давления при его срабатывании. Экспериментальные исследования по истечению газопорошковой смеси (ГПС) из насадка проводились на МПП, имеющим следующие параметры: объем корпуса 6 литров, навеска газопорошковой смеси  $5,7 \pm 6,2$

кг, сопловой цилиндрический насадок диаметром 46 мм, длиной 52 мм (рис. 2).

Для измерения давления использовался тензометрический датчик давления НВМ-РЗМ, встроенный в корпус. Инструментальная погрешность датчика не превышает 0,5 %, однако, при обработке данных за счет сглаживания сигнала с использованием преобразования Фурье для частотного спектра с последующим восстановлением по нему оригинального сигнала, погрешность возрастает до 4-5 %.

Расхождение результатов расчета с данными эксперимента оценивалось зависимостью:

$$\bar{\delta} = \left| \frac{\int_0^{t_p} p^p(t) dt - \int_0^{t_p} p^э(t) dt}{\int_0^{t_p} p^p(t) dt} \right| \cdot 100\% \quad (13)$$

где  $\bar{\delta}$  – интегральное относительное отклонение результатов расчетов от данных эксперимента (относительная погрешность); индексы над символом давления означают:  $\varepsilon$  – эксперимент,  $p$  – расчет;  $t_p$  – время истечения ГПС.

Как показали результаты расчета относительной погрешности  $\bar{\delta}$  при срабатывании МПП, отклонение расчетных данных от экспериментальных составило величину  $\bar{\delta} = 13,7\%$  для случая, когда коэффициент запаздывания скорости частиц от скорости газа задавался величиной  $K_p = 1$  (равновесное течение), и  $\bar{\delta} = 9,8\%$  когда коэффициент запаздывания соответствовал некоторому рациональному значению  $K_p = 0,65$ . Рациональное значение коэффициента запаздывания определялось численным экспериментом путем перебора коэффициента  $K_p$  из диапа-

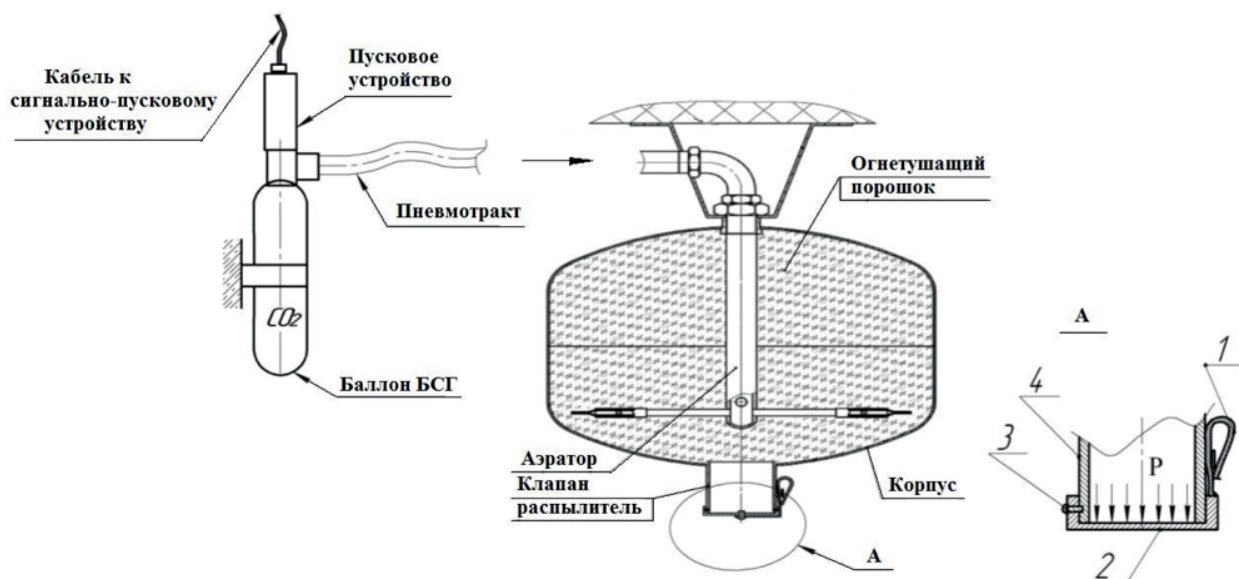


Рисунок 2 – Конструкция МПП «Паук»: 1 – фиксатор клапана; 2 – клапан; 3 – заклепка; 4 – насадок

зона  $0,4 < K_p < 1,0$ . При этом в качестве критерия использовалось условие  $\bar{\delta} \rightarrow \bar{\delta}_{\min}$ .

В результате дальнейших численных исследований установлено, что доля твердых частиц в нестационарном потоке ГПС влияет на величину коэффициента скорости  $K_p$ , который становится зависящим от объемной доли частиц в газовой фазе, меняющейся с течением времени и не являющейся величиной постоянной, как это принято при стационарном истечении.

Изменение коэффициента скорости при нестационарном истечении ГПС поставлено в зависимость от объемной доли порошка  $dp$  в смеси (по аналогии с изменением коэффициента расхода [4]):

если  $dp \geq dp^*$ , то  $K_p(t) = a \cdot dp(t) + b$ , иначе  $K_p(t) = 1$  (14)  
 где  $dp^*$  - пороговое значение доли частиц в объеме смеси, влияющее на коэффициент скорости.

Рациональные значения коэффициентов  $a$ ,  $b$  и  $dp^*$  в соотношениях (14) определяются численными экспериментами в результате сопоставления результатов расчетов с данными эксперимента с учетом требования  $\bar{\delta} \rightarrow \bar{\delta}_{\min}$ , выражения (13).

Для рациональных значений коэффициентов  $a$ ,  $b$  и  $dp^*$ , (соотношения (14), отклонение между расчетными и экспериментальными данными составило величину  $\bar{\delta} = 6,5\%$  (рис. 3б). Численными экспериментами также установлено,

что влияние наличия твердых частиц в потоке на величину  $K_p$  не наблюдается ( $K_p \rightarrow 1$ ) когда доля частиц в объеме ГПС становится менее  $dp^* = 15\%$ , поскольку, в этом случае можно предполагать, что истечение газопорошковой смеси приближается к равновесному течению.

Результаты расчетов газодинамических параметров потока при истечении газопорошковой смеси из отверстия, сопоставление с данными эксперимента и данными, рассчитанными по методике работы [4], представлены на рисунке 3.

Расхождение результатов расчетов изменения доли частиц в корпусе МПП при истечении ГПС по модели двухфазного нестационарного истечения и по модели работы [4] не превышает 1,3 % (рис. 3а).

Таким образом, метод расчета параметров потока, основанный на предположении о запаздывании скорости частиц от скорости газа может быть использован для прогноза параметров газопорошковой смеси при ее истечении из насадков при условии замены постоянного значения коэффициента запаздывания скорости частиц от скорости газа, значениями, поставленными в зависимость от доли частиц в потоке.

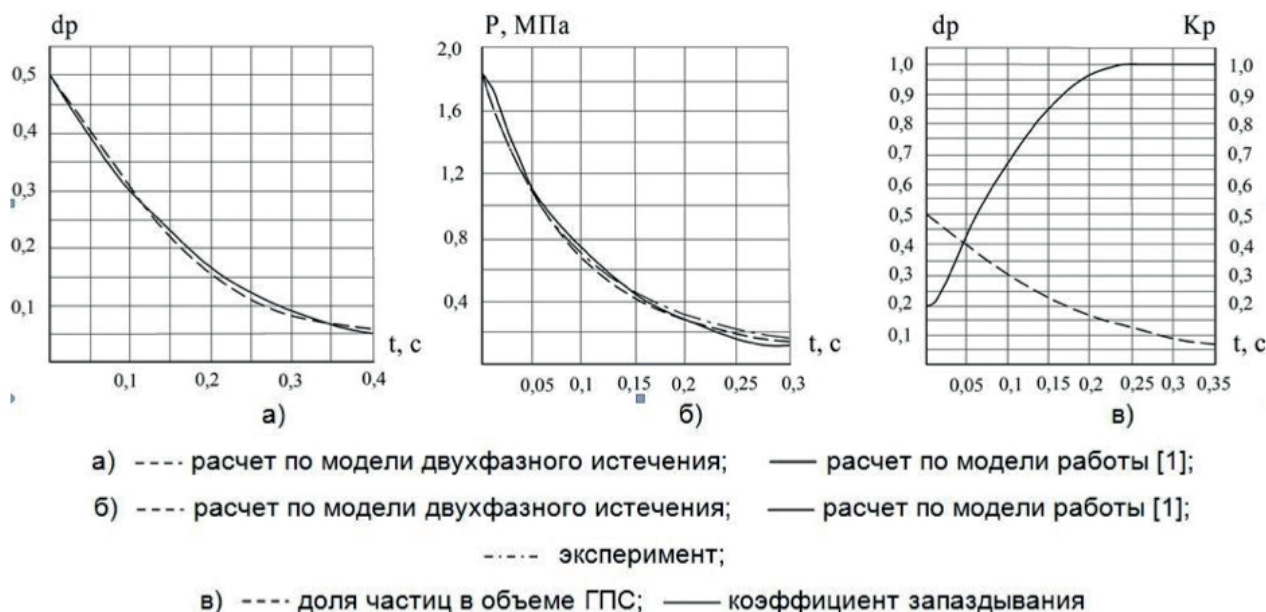


Рисунок 3 – Изменение доли частиц  $dp$  в корпусе, давления в корпусе  $P$  и коэффициента запаздывания  $K_p$  во времени при истечении газопорошковой смеси через отверстие.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Rudinger, G. Effective drag coefficients for gas-particle flow in shock tubes / G. Rudinger // Transactions of the ASME, ser. D. – 1970. – № 1. – pp. 165-172.
2. Kliegel, J.R. One dimensional flow of a gas-particle system / J.R.Kliegel // IAS. – jan. 1960. – P.65.
3. Stockel, I.H. High-speed flow of fluidized solids in changing area / I.H. Stockel // Chemical engineering progress symposium series. – 1962. – vol. 58, – № 38. – pp. 106-120.
4. Кулявцев, Е.Я. Моделирование газодинамических процессов при срабатывании модуля порошкового пожаротушения с использованием аналогии капельная жидкость–псевдожидкость / Е.Я. Кулявцев, В.Г. Казанцев, Р.И. Куимов // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2013. – № 1. – С. 74-83.

MODELLING OF GAS-POWDER MIXTURE BIPHASIC EXPIRATION THROUGH SHORT NOZZLES CONSIDERING THE HIGH CONTENT OF SOLIDS IN THE GASEOUS PHASE

**Kazantsev V.G., Ovcharenko A.G., Kuliavtsev Y.Y., Sypin Y.V., Tupikina N.Y.**

*Model of gas-powder mixture expiration through short nozzles or orifices is built using biphasic nonstationary expiration of gas and solids through a nozzle assuming the delay of the particle velocity compared to gas velocity.*

**Key words:** GAS-POWDER MIXTURE EXPIRATION MODEL, GAS-POWDER MIXTURE, POWDER FIRE EXTINGUISHING MODULE, GAS DYNAMIC PROCESSES

*Казанцев Владимир Георгиевич  
e-mail: wts-01@mail.ru.)*

*Овчаренко Александр Григорьевич  
e-mail: Shura@bti.secna.ru*

*Кулявцев Евгений Яковлевич  
e-mail: nextlife13@mail.ru.*

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

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

**Портал промбезопасности**

**INDSAFE.RU**

Обновленный портал, посвященный проблемам промышленной безопасности

**ГК «ВостЭКО и Горный ЦОТ»**

2014

**INDSAFE.RU**

Разработка и реализация проектов промбезопасности



### **Н.Ю. Тупикина**

старший преподаватель кафедры методов и средств измерений и автоматизации, Бийского технологического института (филиала) ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И. И. Ползунова»



### **Е.В. Сыпин**

канд. техн. наук, профессор кафедры Бийского технологического института (филиал) ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И. И. Ползунова»



### **Е.Я. Кулявцев**

канд. техн. наук, ведущий инженер ФНПЦ «Алтай»

УДК 536.521:535.317.2

## **МЕТОДИКА РАСЧЁТА ПАРАМЕТРОВ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ТРЁХКАНАЛЬНОГО ПИРОМЕТРИЧЕСКОГО ПРИБОРА С РАЗДЕЛЬНЫМИ ОБЪЕКТИВАМИ КАНАЛОВ**

*Разработана методика расчёта параметров оптической системы с отдельными объективами каналов. Показана целесообразность её использования в трёхканальном пирометрическом приборе обнаружения очага возгорания на ранней стадии с целью увеличения углового поля прибора.*

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

**Ключевые слова:** ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА, ВХОДНОЙ ЗРАЧОК, УГЛОВОЕ ПОЛЕ, ОХРАНЯЕМАЯ ЗОНА

**Д**ля обнаружения очага возгорания на ранней стадии актуальным является использование приборов, основанных на пирометрии спектрального отношения. Использование пирометрии спектрального отношения позволяет повысить нечувствительность прибора к запыленности промежуточной среды и исключить зависимость показаний прибора от расстояния до очага возгорания и его размеров [1].

Существует ряд оптико-электронных приборов предназначенных для обнаружения очага возгорания на ранней стадии [2–4]. Разработанные приборы характеризуются возможностью

достоверного определения очага возгорания на ранней стадии, высоким быстродействием, нечувствительностью к запыленности промежуточной оптической среды. В настоящее время актуальной задачей является повышение устойчивости разрабатываемых приборов к оптическим засветкам. Для решения этой задачи был предложен трёхканальный пирометрический прибор, который строится на базе классического пирометра спектрального отношения с введением в него дополнительного оптического канала [5].

Новизной разрабатываемого прибора является определение присутствия или отсутствия

очага возгорания по двум спектральным отношениям, получаемым на основе сигналов трёх каналов, в отличие от традиционных пирометров спектральных отношений.

Первоначально при проектировании прибора было предложено использовать оптическую систему на основе полосовых интерференционных светофильтров [5]. Но предложенная оптическая система имеет недостаточное для её практического использования угловое поле. Из анализа расчёта параметров оптической системы установлено, что угловое поле составляет 5,72 градуса, при требуемом значении – не менее 10 градусов. Увеличение углового поля оптической системы на основе полосовых интерференционных светофильтров достигается путем увеличения размеров чувствительных площадок фотоприёмников или уменьшением фокусного расстояния собирающей линзы. На практике ни увеличение размера чувствительной площадки фотоприёмника, ни уменьшение фокусного расстояния не возможно вследствие ограничений, накладываемых на значение диаметра и фокусного расстояния собирающей линзы [5].

В ходе анализа литературы [6] были выявлены способы увеличения углового поля для различных оптических систем, которые различаются по сложности и эффективности применения для различных задач:

- использование конденсора приёмной оптической системы;
- использование многолинзового объектива;
- использование оптической системы с отдельными объективами каналов.

Из приведенных выше способов наиболее перспективным является последний, т.к. он обеспечивает меньшие потери при прохождении излучения через оптическую систему и более прост в реализации.

Таким образом, целью работы является расчёт и исследование параметров трёхканальной оптической системы с отдельными объективами каналов. Частными задачами работы являются:

- построение модели исследуемой оптической системы;
- разработка методики расчёта параметров оптической системы;
- выполнение предварительного расчёта параметров оптической системы по разработанной методике.

Оптическая система с отдельными объективами каналов представляет собой несколько взаимно-независимых объективов, расположен-

ных определенным образом на лицевой панели прибора; количество объективов совпадает с количеством каналов прибора. Далее рассмотрено только расположение входных зрачков каналов, имеющее осевую симметрию. В результате сечение охраняемой зоны также будет иметь осевую симметрию.

На рисунках 1–3 показаны возможные способы расположения входных зрачков объективов каналов.

Для исследования выбран способ, показанный на рисунке 3. Выбранное расположение входных зрачков обеспечивает максимально близкое расположение каналов, что приближает оптическую систему с отдельными объективами каналов к оптической системе с общим входным зрачком. Кроме того, поток излучения от источника находящегося на оси  $z$  на расстоянии  $l$  от плоскости  $xOy$  будет одинаков для всех входных зрачков, в отличие, например, от способа расположения входных зрачков, представленного на рисунке 1.

Указанный способ характеризуется следующим:

- центры входных зрачков лежат в одной плоскости и в вершинах равностороннего треугольника, направлены на источник возгорания;
- оптические оси каналов наклонены таким образом, что лежат в плоскостях, проходящих через ось  $z$ , которая является осью симметрии оптической системы, и одну из высот равностороннего треугольника  $O_1O_2O_3$ , образуя углы  $\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_3 = \gamma$  с осью  $z$ .

Для практического использования оптической системы с отдельными объективами каналов необходимо оценить значения площади охраняемой зоны  $S_{ос}$  на заданном расстоянии  $l$  от плоскости расположения входных зрачков прибора и протяженность «мёртвой» зоны  $l_0$ . Также требуется выполнить оценку погрешности определения температуры  $\Delta T$ .

Вследствие того, что оптические оси каналов образуют угол с осью  $z$ , сечение охраняемой зоны каждого канала в сечении охраняемой зоны прибора ограничено эллипсом (рис. 4).

На рисунке 4 выделены следующие области:

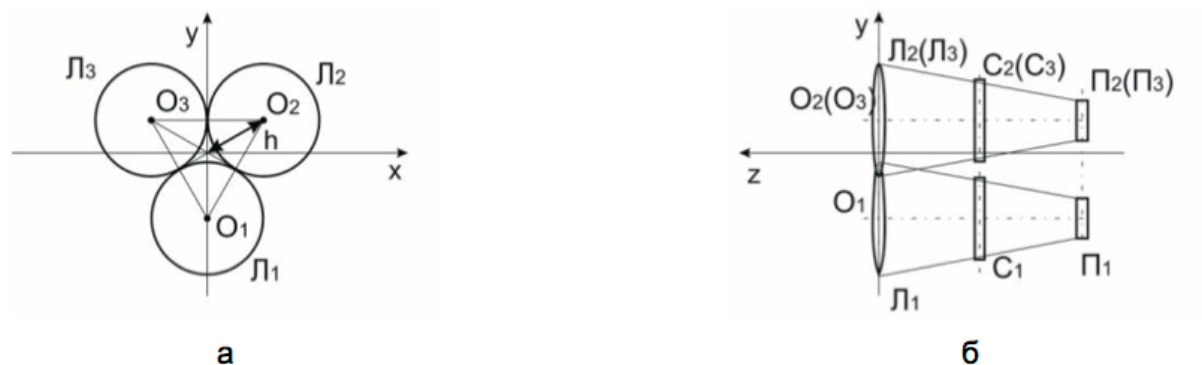
I – область, перекрываемая тремя каналами, возможно вычисление двух спектральных отношений на основе трёх монохроматических каналов;

II – область, перекрываемая двумя каналами, возможно вычисление одного спектрального отношения на основе двух монохроматических каналов;



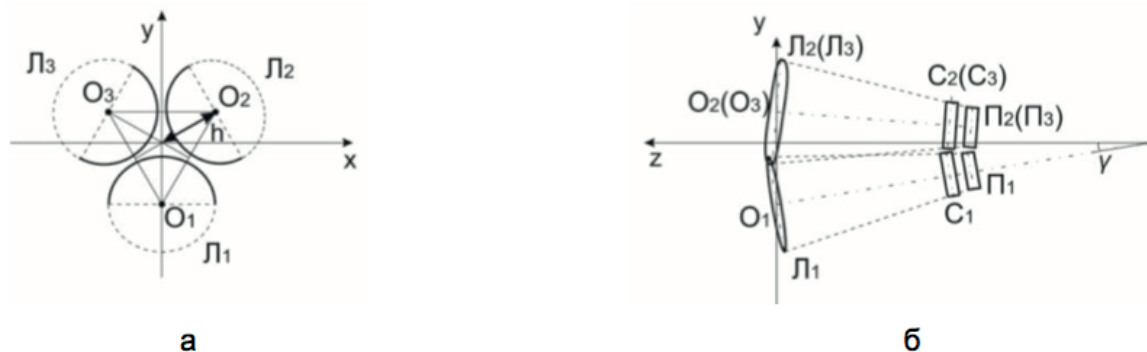
$O_1, O_2, O_3$  – центры входных зрачков;  $L_1, L_2, L_3$  – входные зрачки объективов каналов прибора;  
 $C_1, C_2, C_3$  – светофильтры;  $P_1, P_2, P_3$  – приёмники излучения

Рисунок 1 – Расположения входных зрачков объективов каналов прибора на прямой: а – вид с плоскости наблюдателя, б – вид справа



$O_1, O_2, O_3$  – центры входных зрачков;  $L_1, L_2, L_3$  – входные зрачки объективов каналов прибора;  
 $C_1, C_2, C_3$  – светофильтры;  $P_1, P_2, P_3$  – приёмники излучения

Рисунок 2 – Расположения входных зрачков объективов каналов прибора в вершинах равностороннего треугольника: а – вид с плоскости наблюдателя, б – вид справа



$O_1, O_2, O_3$  – центры входных зрачков;  $L_1, L_2, L_3$  – входные зрачки объективов каналов прибора;  
 $C_1, C_2, C_3$  – светофильтры;  $P_1, P_2, P_3$  – приёмники излучения

Рисунок 3 – Расположения входных зрачков объективов каналов прибора в вершинах равностороннего треугольника, оптические оси каналов наклонены: а – вид с плоскости наблюдателя; б – вид справа

III – область, перекрываемая одним каналом, расчёт спектральных отношений невозможен, определение температуры возможно на основе одного монохроматического канала;

IV – область вне охраняемой зоны оптической системы. При площади области I равной нулю, в поле зрения прибора будет присутствовать «мёртвая зона» (рис. 5), характеризующееся

расстоянием  $l_0$ , которое определяется как расстояние от начала координат до точки касания эллипсов, ограничивающих сечение охраняемой зоны.

Если очаг возгорания смещен относительно оптической оси системы, поток излучения приходящий на входные зрачки каналов будет различен. Поэтому определяемая прибором

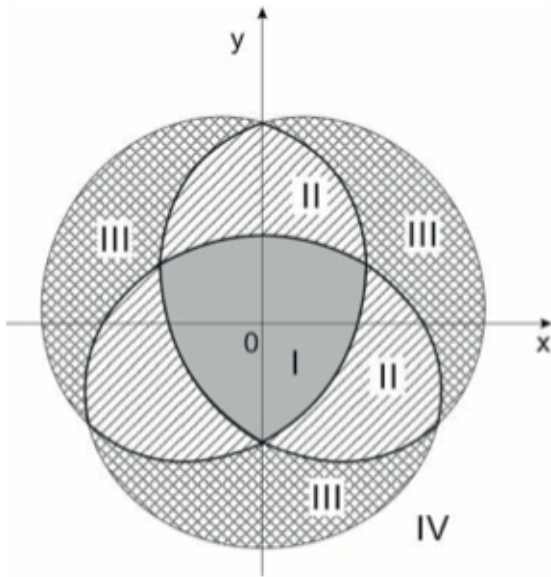


Рисунок 4 – Сечение охраняемой зоны, обеспечиваемой трёхканальной оптической системой с раздельными объективами каналов температура источника возгорания  $T_i$ , находящегося в точке с координатами  $(x_i; y_i; l)$  будет отличаться от действительной температуры источника возгорания  $T_0$  на величину методической погрешности  $\Delta T$

$$\Delta T = \pm |T_0 - T_i| \quad (1)$$

где  $T_0$  – действительная температура источника возгорания, которая соответствует температуре источника возгорания, находящегося в точке с координатами  $(0; 0; l)$ , м.

Площадь охраняемой зоны на заданном расстоянии  $l$  от входного зрачка прибора будет стремиться к максимальному значению при выполнении двух условий:

- 1) расстояние между центрами эллипсов,

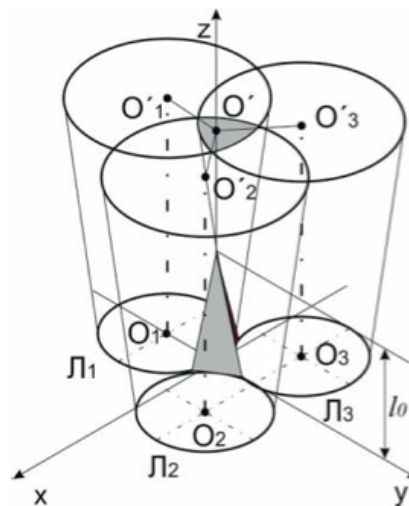
ограничивающих сечение охраняемых зон каналов, стремится к минимально возможному значению. Для выполнения этого условия необходимо чтобы расстояние между центрами стремилось к нулю, т.е. центры эллипсов должны стремиться к точке с координатами  $(0; 0; l)$ ;

2) площадь охраняемой зоны каждого канала стремится к максимально возможному значению. Для выполнения этого условия необходимо чтобы большая и малая полуоси эллипсов, ограничивающих сечения охраняемых зон каналов, стремились к равенству, то есть сечение охраняемой зоны должно быть ограничено окружностью. Из чего следует, что угол наклона оптических осей  $\gamma$  должен стремиться к нулю градусов.

Приведенные условия достижения максимальной площади охраняемой зоны противоречат друг другу. Согласно первому условию координаты центров эллипсов должны находиться в точке с координатами  $(0; 0; l)$ . Если выполняется второе условие, то угол наклона оптических осей составляет нуль градусов, и сечение охраняемой зоны каждого канала ограничено окружностью. Центры этих окружностей находятся в точках с координатами  $(x_{oi}, y_{oi}, l)$ , где  $x_{oi}, y_{oi}$  – координаты центров входных зрачков в плоскости  $XOY$ . Поэтому для того чтобы найти оптимальное положение входных зрачков оптической системы необходимо выполнить детальный расчёт её параметров.

На первом шаге строятся сечения охраняемой зоны на расстоянии  $l$  от плоскости расположения входных зрачков (рис. 6).

Расчёт протяженности «мёртвой» зоны



$Л_1, Л_2, Л_3$  – входные зрачки каналов прибора;  $O_1, O_2, O_3$  – центры входных зрачков

Рисунок 5 – Наличие «мёртвой» зоны внутри углового поля зрения оптической системы с раздельными объективами каналов (угол  $\gamma$  равен нулю)

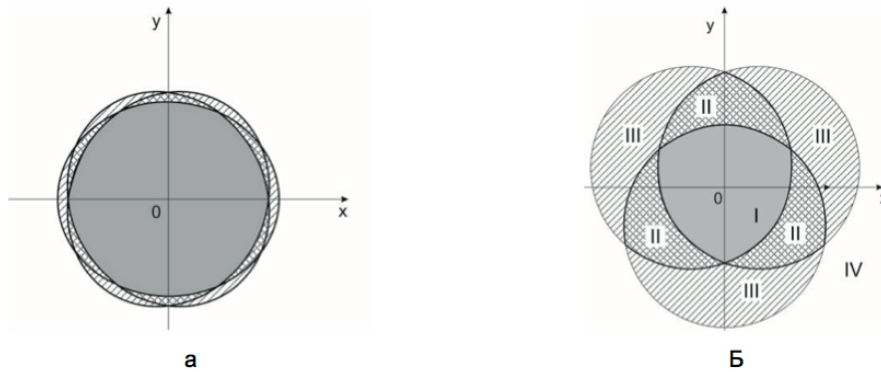


Рисунок 6 – Сечение охраняемой зоны на расстоянии  $l$  от входного зрачка прибора: а – центры эллипсов, ограничивающих сечение охраняемой зоны каналов, находящиеся в точке с координатами  $(0; 0; l)$ ; б – угол наклона оптических осей  $\gamma$  равен нуль градусов

выполняется по формуле, которая получена на основе геометрического моделирования исследуемой оптической системы:

$$l_0 = \frac{D \cdot \cos \gamma - 2h}{2 \cdot (\operatorname{tg} \gamma - \operatorname{tg} \omega_1)} \cdot (1 + \operatorname{tg}^2 \gamma) + h \cdot \operatorname{tg} \gamma \quad (2)$$

где  $D$  – диаметр входного зрачка канала, м;  
 $\gamma$  – угол наклона оптических осей, град;  
 $\omega_1$  – половина углового поля одного канала прибора, град;  
 $h$  – расстояние от начала координат до центров входных зрачков каналов, м.

Из анализа выражения (2) следует, что увеличение расстояния  $h$  отрицательно сказывается на параметрах оптической системы: протяженность «мёртвой» зоны увеличивается и может стать сопоставима с расстоянием  $l$  до плоскости, в которой находятся входные зрачки прибора. Поэтому далее принято, что входные зрачки приборов касаются друг друга.

На следующем шаге осуществляется расчёт площади охраняемой зоны. Площадь охраняемой зоны, когда центры эллипсов, ограничивающих сечение охраняемой зоны каналов, находятся в точке с координатами  $(0; 0; l)$  будет определяться по формуле:

$$S_{oz} = 6 \cdot \left[ \cos \gamma_{перед} \cdot R_{oz}^2 \cdot \left( q \cdot \sqrt{1 - q^2} + \arcsin(q) \right) - \sqrt{3} \cdot R_{oz}^2 \cdot q^2 \right] \quad (3)$$

где  $\gamma_{перед} = -\operatorname{arctg} \left( \frac{\sqrt{1 - \frac{12 \cdot l^2}{D^2} + \sqrt{1 + \frac{144 \cdot l^4}{D^4} + \frac{168 \cdot l^2}{D^2}}}}{\frac{24 \cdot l^2}{D^2}}} \right)$   
 – угол, обеспечивающий положение центров эллипсов, ограничивающих сечение охраняемой зоны каналов в точке с координатами  $(0; 0; l)$ , град;

$R_{oz} = \frac{D}{2} + \frac{l \cdot \operatorname{tg} \omega_1}{\cos \gamma_{перед}}$  – радиус охраняемой зоны одного канала оптической системы м;

$q = \cos \gamma_{перед} \cdot \sqrt{\frac{2}{\cos 2\gamma_{перед} + 7}}$  – вспомогательная переменная, необходимая для более компактной записи выражения. Остальные обозначения соответствуют принятым ранее обозначениям.

При нулевом угле наклона оптических осей  $\gamma$  площадь охраняемой зоны будет рассчитываться по формуле

$$S_{oz} = \frac{c^2 \sqrt{3}}{4} + \frac{3}{2} \cdot R_{oz}^2 \cdot \left( \frac{\pi \cdot \alpha}{180^\circ} - \sin \alpha \right) \quad (4)$$

где  $c = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \left( \sqrt{4 \cdot R_{oz}^2 - 3 \cdot h^2} - h \right)$ ,  $\alpha = 2 \cdot \arcsin \left( \frac{c}{2R_{oz}} \right)$ .

Определяемая прибором температура источника возгорания  $T$  представляет собой функциональную зависимость  $T = f(Q)$ , где  $Q$  – спектральное отношение каналов. На практике простым способом получения зависимости  $T = f(Q)$  является численное моделирование очага возгорания с получением таблицы значений функции  $Q = f(T)$  и последующей аппроксимацией функции  $T = f(Q)$  по полученным табличным значениям.

Расчёт методической погрешности определения температуры для положения очага возгорания в точке с координатами  $(x_p, y_p, l)$  сводится к нахождению косинусов углов  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  между направлениями на источник возгорания и оптическими осями каналов и расчёту спектрального отношения

$$Q = \frac{\cos \alpha_1}{\cos \alpha_2} \cdot Q_0 \quad (5)$$

где  $Q_0$  – спектральное отношение, рассчитанное для точки, лежащей на оптической оси системы.

Значение температуры  $T_p$ , соответствующее спектральному отношению, рассчитанному по формуле (5), определяется по найденной ранее функциональной зависимости  $T = f(Q)$ , и далее рассчитывается методическая погрешность определения температуры по формуле (1). Ана-



логичным образом рассчитывается погрешность и для второй пары каналов.

Для расчёта параметров оптической системы при различных вариантах её построения в качестве примера взяты следующие исходные данные:

- диаметры входных зрачков каналов  $D = 0,06$  м;
- площадь охраняемой зоны  $S_{оз} = 9,0$  м<sup>2</sup>;
- расстояние от входного зрачка прибора до очага возгорания  $l = 10,0$  м.

Из анализа результатов проведенных исследований оптической системы (табл. 1) следует, что наклон оптических осей несущественно влияет на параметры оптической системы. Кроме того, в случае ненулевого значения угла наклона оптических осей  $\gamma$  возникают дополнительные трудности при монтаже компонентов оптической системы, а также при её юстировке.

Зависимость методической погрешности определения температуры для двух каналов прибора не превышает 0,4 градуса (рис. 7).

Таким образом, в результате работы разработана методика и проведён расчёт параметров оптической системы с отдельными объективами каналов и показана целесообразность её применения в трёхканальном пирометрическом приборе двух спектральных отношений с целью увеличения углового поля прибора. Установлено, что наиболее оптимальные параметры оптической системы обеспечиваются при расположении входных зрачков в одной плоскости с центрами в вершинах равностороннего треугольника, входные зрачки касаются друг друга и

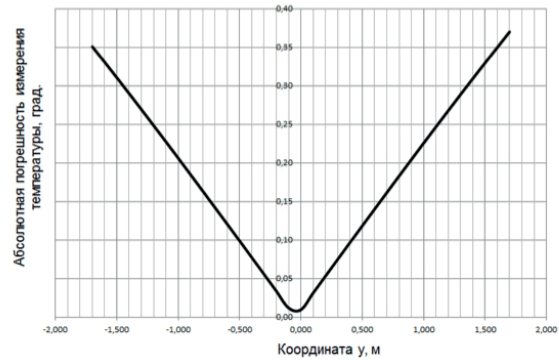


Рисунок 7 – Зависимость методической погрешности определения температуры по отношению каналов 1 (рабочий спектральный диапазон 690±30 нм) и 2 (рабочий спектральный диапазон 760±30 нм) от смещения источника излучения вдоль оси y

направлены на источник возгорания, а оптические оси каналов параллельны. Использование разработанной оптической системы позволяет увеличить угловое поле прибора, при этом увеличивается коэффициент пропускания оптической системы за счёт использования меньшего количества оптических компонентов, уменьшаются габаритные размеры оптической системы, упрощается практическая реализация оптической системы.

В дальнейшем планируется изготовление трёхканального пирометрического прибора, использующего разработанную оптическую систему и последующие экспериментальные исследования её параметров на лабораторном стенде[7].

Таблица 1 – Результаты расчёта параметров при различных вариантах построения оптической системы (входные зрачки каналов касаются друг друга)

| Параметры оптической системы   | Варианты построения оптической системы  |   |
|--|---|---|
|  | Центры эллипсов, ограничивающих сечения охраняемой зоны каналов, находятся в точке с координатами (0; 0; l) | Угол наклона оптических осей $\gamma$ равен нуль градусов |
| Угол наклона оптических осей $\gamma$ , градусы                            | -0,20   | 0,00  |
| Расстояние от начала координат до центров входных зрачков каналов $h$ , мм | 34,91   | 34,61   |
| Протяженность «мёртвой» зоны $l_{оп}$ , м                                  | 0,03  | 0,03  |
| Половина углового поля каналов прибора $\omega_p$ , градусы                | 9,44  | 9,63  |
| Половина углового поля прибора $\omega$ , градусы                          | 9,61  |   |

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Поскачей, А. А. Оптико-электронные системы измерения температуры / А. А. Поскачей, Е. П. Чубаров. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 248 с
2. Повернов, Е. С. Лабораторный образец быстродействующего многопорогового прибора контроля аварийных и предаварийных ситуаций во взрывоопасной атмосфере / Е. С. Повернов, Д. А. Герасимов, Е. В. Сыпин, Н. Ю. Тупикина, А.Н. Павлов. – Ползуновский вестник. – 2013. – № 2. – С. 172–178.
3. Кураев, А.В. Лабораторный образец многоточечной оптико-электронной системы определения пространственного расположения очага взрыва / А. В. Кураев, С. А. Лисаков, А. Н. Павлов, Е. В. Сыпин. – Южно-Сибирский научный вестник. – 2013.– № 1 (3). – С. 19–21.
4. Сидоренко, А. И. Разработка лабораторного образца пирометрического датчика координат очага возгорания с полевой диафрагмой / А.И. Сидоренко, А.Н. Павлов, Е.В. Сыпин. – Датчики и системы. – 2014. – № 1 (176). – С. 48–53.
5. Тупикина, Н. Ю. Трёхканальный оптико-электронный прибор обнаружения очага возгорания на ранней стадии в газодисперсной среде / Н. Ю. Тупикина, Е. В. Сыпин, Е. С. Повернов и др. // Ползуновский вестник. – 2012. – № 3/2. – С. 152–157.
6. Тарасов, В. В. Двух и многодиапазонные оптико-электронные системы с матричными приемниками излучения [Текст]: учебное пособие / В. В. Тарасов, Ю. Г. Якушенков. – М.: Университетская книга; Логос, 2007. – 192с.
7. Тупикина, Н. Ю. Разработка стенда для исследования параметров оптико-электронных приборов обнаружения начальной стадии возгорания / Н. Ю. Тупикина, Е.В. Сыпин // Датчики и системы. – 2013. – № 10 (173). – С. 32–35.

OPTIC SYSTEM PARAMETERS  
CALCULATION METHODS OF TRIPLE CHANNEL  
PYROMETRIC INSTRUMENT WITH SEPARATE  
CHANNEL OBJECTIVES

**Tupikina N.Y., Sypin Y.V., Kuliavtsev Y.Y.**

*Parameters calculation methods of optic system with separate channel objectives is developed. The expediency of its use in triple-channel pyrometric device for early detection of fire spot in order to increase the device angular field is shown.*

*The work is fulfilled with support of the Foundation for Assistance to Small Innovative Enterprises in Science and Technology Fields ("START" program, the state contract No. 12502p/23958 dated by 28.02.2014).*

**Key words:** OPTIC SYSTEM, ENTRANCE PUPIL, ANGULAR FIELD, PROTECTED ZONE

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

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

*Кулявцев Евгений Яковлевич  
e-mail: nextlife13@mail.ru*



### **М.Н. Зырянова**

аспирант Бийского технологического института (филиал) ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»



### **С.А. Лисаков**

аспирант Бийского технологического института (филиал) ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»



### **А.Н. Павлов**

канд. техн. наук, доцент кафедры методов и средств измерений и автоматизации Бийского технологического института (филиал) ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»



### **Е.В. Сыпин**

канд. техн. наук, профессор кафедры Бийского технологического института (филиал) ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»

УДК: 654.924.5

## **ПРИМЕНЕНИЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КООРДИНАТ ОЧАГА ВОЗГОРАНИЯ МНОГОТОЧЕЧНОЙ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМОЙ**

*В статье описывается численное моделирование задачи определения пространственных координат очага возгорания многоточечной оптико-электронной системой. Предложен алгоритм определения пространственных координат возгорания на основе метода Ньютона. Приведены результаты апробации алгоритма на теоретически полученных исходных данных для трехмерного охраняемого объекта и на экспериментальных данных для случая перемещения очага в одной плоскости.*

*Ключевые слова: ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЙ ДАТЧИК, МНОГОТОЧЕЧНАЯ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННАЯ СИСТЕМА, КООРДИНАТЫ ОЧАГА ВОЗГОРАНИЯ, ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ*

### **ВВЕДЕНИЕ**

**О**беспечение пожарной безопасности является важнейшей обязанностью каждого члена общества и проводится в общегосударственном масштабе, так как пожары наносят большой материальный ущерб и в ряде случаев сопровождаются гибелью людей.

В любом производстве есть вероятность

возникновения пожара. Особенно опасным с этой точки зрения является химическая, атомная, нефтегазодобывающая промышленность, поскольку пожары могут сопровождаться взрывами и, как следствие, иметь большую разрушительную силу.

Наиболее эффективным средством борьбы с пожарами являются автоматические системы пожаротушения и взрывоподавления, которые, в отличие от систем сигнализации и ручных

средств пожаротушения, создают все условия для оперативной и результативной локализации возгораний с минимальным риском для жизни и здоровья людей [1].

Для того, чтобы автоматическая пожарная защита имела высокую эффективность, необходимо точно фиксировать момент начала возгорания, а также определять с требуемой точностью пространственное расположение очага [2].

В настоящее время на кафедре МСИиА Бийского технологического института (филиала) ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И. И. Ползунова» ведется разработка многоточечной оптико-электронной системы определения координат очага возгорания (МОЭС). В основе работы системы лежит многоточечный метод контроля, позволяющий обеспечить охрану объектов сложной конфигурации. Многоточечный метод контроля охраняемого объекта реализуется на основе распределенной сети простых и надежных оптико-электронных датчиков, обладающих высокой чувствительностью и быстродействием. Датчики специальным образом устанавливаются по периметру охраняемого объекта и регистрируют поток оптического излучения, каждый в своем угловом поле. Анализируя распределение оптического излучения в пространстве с помощью датчиков можно определить координаты очага возгорания [3].

Ранее разработанные для МОЭС способы позволяют вычислить координаты очага возгорания только на плоскости. Для вычисления пространственных координат очага возгорания внутри всего объема охраняемого помещения способы должны быть существенным образом переработаны. Одним из возможных подходов к расчету координат очага возгорания является использование численного моделирования.

В связи с вышеизложенным была сформулирована цель – провести численное моделирование задачи определения пространственных координат очага возгорания многоточечной оптико-электронной системой.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

- сформулировать исходные данные и математическую постановку задачи определения пространственных координат возгорания многоточечной оптико-электронной системой;
- выбрать численный метод решения поставленной задачи и разработать на его основе алгоритм определения пространственных координат возгорания;
- исследовать применимость разработанного алгоритма по теоретически полученным ис-

ходным данным для трехмерного охраняемого объекта;

- исследовать точность определения координат источника излучения на плоскости по экспериментальным данным.

#### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КООРДИНАТ ВОЗГОРАНИЯ

Многоточечный метод контроля охраняемого объекта реализуется на основе распределенной сети оптико-электронных датчиков, установленных специальным образом по периметру охраняемого объекта.

Оптико-электронный датчик МОЭС включает в себя светофильтр, приемник излучения (фотодиод) и усилитель. Поток излучения проходит через светофильтр и поступает на приемник излучения. Приемник излучения преобразует сигнал, переносимый потоком излучения (оптический сигнал), в аналоговый электрический. Блок усиления выполняет преобразование тока – напряжение и усиливает сигнал с фотодиода.

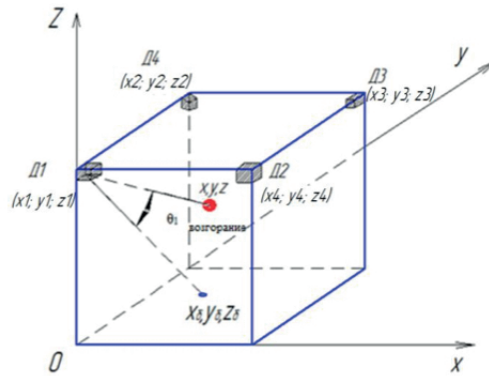
Исходными данными для определения трёхмерных координат возгорания являются выходные сигналы датчиков, пространственные координаты датчиков, координаты конца нормализованного базиса для каждого датчика.

При этом под нормалью-базисом понимается вектор, перпендикулярный чувствительной площадке фотодиода, начало которого соответствует точке с пространственными координатами датчика, а конец соответствует точке базиса. Под вектором центра возгорания понимается вектор, начало которого соответствует точке с пространственными координатами датчика, а конец – точке с координатами очага возгорания.

На рисунке 1 показан способ расположения датчиков на охраняемом объекте. Для определения трехмерных координат очага возгорания датчики привязаны определённым образом к координатным осям.

Возможность определения координат очага возгорания обусловлена тем что, изменение уровня сигнала датчика, регистрирующего поток излучения, подчинено законам освещенности, создаваемой точечным (закон обратных квадратов и закон наклона) и протяженным источником излучения [4].

Приняв допущение, что очаг возгорания представляет собой точечный источник, а также является ламбертовским излучателем со свойствами серого тела, фототок, генерируемый фотодиодами, можно рассчитать по формуле:



$D_1...D_4$  – опико-электронные датчики;  $x_1...x_4, y_1...y_4, z_1...z_4$  – координаты датчиков;  $x_0, y_0, z_0$  – координаты точки базиса;  $x, y, z$  – координаты очага возгорания

Рисунок 1 – Способ расположения датчиков для определения трехмерных координат

$$I_{\phi} = \epsilon_T \cdot \frac{D^2 \Delta A \cos \theta}{4l^2} \cdot \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S_{i\lambda} \cdot \tau_{ca} \cdot M_{E(T,\lambda)} d\lambda = C \cdot \frac{\cos \theta}{l^2}, \quad (1)$$

где  $M_{E(T,\lambda)}$  – энергетическая светимость абсолютно черного тела Вт/м<sup>2</sup>;

$T$  – температура очага, К;

$\lambda$  – длина волны излучения, м;

$\lambda_1... \lambda_2$  – спектральный диапазон, в котором происходит прием излучения фотоприемником;

$\tau_{ca}$  – коэффициент пропускания промежуточной среды;

$S_{i\lambda}$  – спектральная токовая чувствительность фотоприёмника, А/Вт;

$\epsilon_T$  – коэффициент излучения очага;

$D$  – диаметр входного зрачка (равен диаметру чувствительной площадки фотоприемника, т.к. линзы нет), м;

$l$  – расстояние до очага, м;

$\Delta A$  – видимая площадь очага, м<sup>2</sup>;

$\theta$  – угол между нормалью-базисом и вектором центра возгорания, град [5].

Коэффициент

$$C = \epsilon_T \cdot \frac{D^2 \cdot \Delta A}{4} \cdot \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S_{i\lambda} \cdot \tau_{ca} \cdot M_{E(T,\lambda)} d\lambda$$

В выражении (1) не зависит от пространственного расположения очага возгорания и определяется параметрами очага, промежуточной средой и параметрами фотодиода.

Напряжение на выходе опико-электронного датчика рассчитывается по формуле:

$$U = K_{ПТН} \cdot (I_T + I_{\phi}), \quad (2)$$

где  $I_T$  – темновой ток фотодиода, А;  $I_{\phi}$  – фототок, обусловленный внешним излучением, А;  $K_{ПТН}$  – коэффициент преобразования преобразователя ток-напряжение, В/А [3].

В патенте [6] приведен способ, в котором пространственные координаты точечного источника излучения могут быть найдены из соотношения сигналов опико-электронных датчиков. При этом выбирается базовый датчик (напри-

мер  $D_1$ ) и составляются отношения значения выходного сигнала базового датчика к значениям сигналов остальных датчиков –  $U_1/U_2, U_1/U_3, U_1/U_4$ . На основе соотношений получают систему из трех нелинейных уравнений и решают ее с применением численных методов. Недостатком данного способа является то, что он применим для расчета пространственных координат точечного источника излучения (см. выражение (1)). Очаг возгорания, при определенных условиях, может представлять собой как точечный источник излучения, так и протяженный источник.

В случае если размеры очага соизмеримы с расстоянием до датчика, то очаг является протяженным источником, что необходимо дополнительно учитывать путем введения поправочного коэффициента  $k$ . При этом освещенность малой площадки, создаваемой равномерным диском радиусом  $r_1$ , находящимся на расстоянии  $l$  от нее (плоскости малой площадки и диска параллельны) может быть рассчитана по формуле:

$$E = \frac{I}{l^2} \cdot \frac{1}{1 + (r_1/l)^2} = E_0 k$$

где  $I$  – сила света от равномерного диска [4].

Энергетическая освещенность в данном случае определяется произведением двух сомножителей: первый  $E_0 = I/l^2$ , представляет собой освещенность, вычисляемую по закону обратных квадратов; второй  $1/(1 + (r_1/l)^2) = k$  – некоторый поправочный коэффициент, позволяющий рассчитывать освещенность от большой поверхности излучения. Поправочный коэффициент  $k$  позволяет учесть погрешность при расчетах по закону обратных квадратов в случае, когда расстояние от источника излучения  $l$  меньше пяти диаметров источника [4].

С учетом поправочного коэффициента выражение (1) примет вид:

$$I_{\phi} = C \cdot k \cdot \frac{\cos\theta}{l^2} \quad (3)$$

Таким образом, выходные сигналы оптико-электронных датчиков определяются по формуле:

$$U = K_{ПТН} \cdot (I_T + C \cdot k \cdot \frac{\cos\theta}{l^2})$$

или, пренебрегая темновым током фотодиода,

$$U \approx K_{ПТН} \cdot C \cdot k \cdot \frac{\cos\theta}{l^2}$$

Поскольку датчики по своим параметрам являются идентичными и параметры очага не изменяются за время опроса всех датчиков, можно принять, что коэффициенты  $K_{ПТН}$  и  $C$  для всех датчиков имеют одинаковые значения. Откуда соотношение  $U_j/U_2$  может быть представлено в виде выражения

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{K_{ПТН} \cdot C \cdot k_1 \cdot l_2^2 \cdot \cos\theta_1}{K_{ПТН} \cdot C \cdot k_2 \cdot l_1^2 \cdot \cos\theta_2} = \frac{k_1 \cdot l_2^2 \cdot \cos\theta_1}{k_2 \cdot l_1^2 \cdot \cos\theta_2}$$

Приводя данное выражение к общему виду, получим уравнение:

$$\frac{U_1}{U_2} - \frac{k_1 \cdot l_2^2 \cdot \cos\theta_1}{k_2 \cdot l_1^2 \cdot \cos\theta_2} = 0$$

Выбрав в качестве базового датчик  $D_j$ , можно составить отношения значения выходного сигнала базового датчика к значениям сигналов остальных датчиков и получить систему нелинейных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{U_1}{U_j} - \frac{k_1 \cdot l_2^2 \cdot \cos\theta_1}{k_j \cdot l_1^2 \cdot \cos\theta_j} = 0; \\ \frac{U_1}{U_2} - \frac{k_1 \cdot l_2^2 \cdot \cos\theta_1}{k_2 \cdot l_1^2 \cdot \cos\theta_2} = 0; \\ \frac{U_1}{U_3} - \frac{k_1 \cdot l_2^2 \cdot \cos\theta_1}{k_3 \cdot l_1^2 \cdot \cos\theta_3} = 0; \\ \frac{U_1}{U_4} - \frac{k_1 \cdot l_2^2 \cdot \cos\theta_1}{k_4 \cdot l_1^2 \cdot \cos\theta_4} = 0, \end{cases} \quad (4)$$

где  $U_j \dots U_4$  – выходные сигналы датчиков;  $l_j \dots l_4$  – расстояние от соответствующего датчика до очага возгорания;  $\theta_j \dots \theta_4$  – угол между нормалью-базисом и вектором центра возгорания для соответствующего датчика;  $k_j \dots k_4$  – поправочные коэффициенты.

Расстояние от  $i$ -го датчика до очага возгорания рассчитывается в соответствии с выражением:

$$l_i^2 = (x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2$$

Косинус угла между нормалью-базисом и вектором центра возгорания для  $i$ -го датчика определяется согласно выражению [7]:

$$\cos\theta_i = \frac{p + q + v}{g \cdot j}$$

где

$$p = |x_i - x| \cdot |x_i - x_0|, \quad q = |y_i - y| \cdot |y_i - y_0|, \quad v = |z_i - z| \cdot |z_i - z_0|,$$

$$g = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2}$$

$$j = \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 + (z_i - z_0)^2}$$

Решение приведенной системы аналитически не представляется возможным, поскольку система уравнений является нелинейной и достаточно сложной. Поэтому для ее решения необходимо воспользоваться численными методами.

#### ВЫБОР ЧИСЛЕННОГО МЕТОДА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КООРДИНАТ ВОЗГОРАНИЯ

К возможным численным методам решения системы нелинейных уравнений (4) относятся: метод простых итераций; метод Зейделя; метод Ньютона [8]. Метод простых итераций и метод Зейделя для решения системы применим, но итеративный процесс является достаточно долгим. Метод Ньютона сходится быстрее других методов, и при его использовании нет необходимости преобразовать исходную систему уравнений к стандартному виду в отличие от других численных методов [8].

Если систему нелинейных уравнений (4) представить в общем виде:

$$\begin{cases} f_1(x, y, z) = 0; \\ f_2(x, y, z) = 0; \\ f_3(x, y, z) = 0, \end{cases}$$

или в векторной форме

$$F(X) = F(x, y, z) = 0, \text{ где } X = (x, y, z),$$

то метод Ньютона для решения такой системы состоит в построении итерационной последовательности:

$$X^{(i+1)} = X^{(i)} - W^{-1}(X^{(i)}) \cdot F(X^{(i)}), \quad (5)$$

где  $X^{(i)}$  – известное  $i$ -тое приближение;  $i = 0, 1, 2, \dots$ ;

$W(X)$  – матрица Якоби [8]:

$$W(X) = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x} & \frac{\partial f_1}{\partial y} & \frac{\partial f_1}{\partial z} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x} & \frac{\partial f_2}{\partial y} & \frac{\partial f_2}{\partial z} \\ \frac{\partial f_3}{\partial x} & \frac{\partial f_3}{\partial y} & \frac{\partial f_3}{\partial z} \end{bmatrix}$$

После выбора численного метода был разработан алгоритм определения пространственных координат возгорания.

#### АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КООРДИНАТ ОЧАГА ВОЗГОРАНИЯ

Алгоритм определения пространственных координат очага возгорания включает выполнение следующих операций:

- ввод исходных данных;
- расчет начальных приближений;

– расчет пространственных координат очага возгорания путем решения системы уравнений (4) по методу Ньютона (5).

Необходимые исходные данные для алгоритма следуют из математической постановки задачи.

В методе Ньютона очень важен выбор начального приближения для обеспечения хорошей сходимости. Выбор начальных приближений может осуществляться исходя из физических соображений по конкретной решаемой задаче или с помощью методов математического анализа [8].

При расчете начальных приближений было предложено использовать комплексный подход, заключающийся как в учете законов освещенности, так и в использовании метода математического анализа – последовательного перебора.

Сначала, исходя из законов освещенности, устанавливаются пространственные границы внутри охраняемой области, в пределах которых будет осуществляться последовательный перебор начальных приближений.

Для установки пространственных границ охраняемая область условно разделяется на четыре равные по объему области. Для численного решения выбирается область, примыкающая к датчику, имеющему максимальное значение выходного сигнала (рис. 2).

Последовательный перебор организуется путем расчета значений функции  $F(x,y,z)$  в реперных точках, координаты которых получают разбиением интервалов определения координат по каждой из осей на  $M$  равных отрезков.

Например, для абсциссы с интервалом  $x \in [a_x, b_x]$  имеет место выражение (рис. 2):

$$x_s = a_x + sh,$$

где  $s=0, 1, \dots, M$ ,  $h=(b_x - a_x)/M$ .

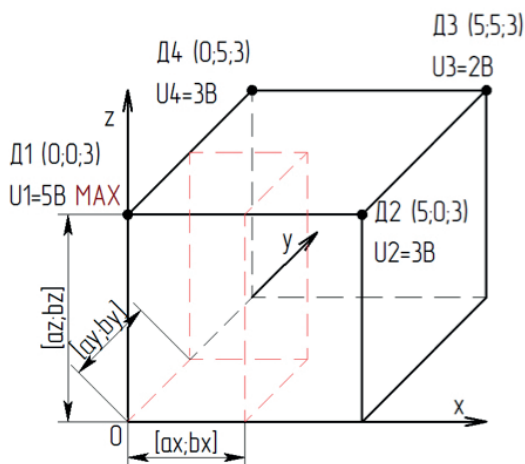


Рисунок 2 – Размещение датчиков на моделируемом охраняемом объекте

Для ординаты  $y \in [a_y, b_y]$  и аппликаты  $z \in [a_z, b_z]$  перебор выполняется аналогично.

Если при этом определяются границы интервалов  $[x_s, x_{s+1}]$ ,  $[y_s, y_{s+1}]$  и  $[z_s, z_{s+1}]$ , для которых выполняется условие:

$$F(x_s, y_s, z_s) \cdot F(x_{s+1}, y_{s+1}, z_{s+1}) < 0,$$

то тем самым корни функции  $F(x,y,z)$  будут локализованы с точностью  $h/2$ . В качестве начальных приближений по методу Ньютона используются значения верхних границ интервалов  $X(1) = (x_{s+1}, y_{s+1}, z_{s+1})$  [9].

Полученные значения начальных приближений подставляются в систему уравнений (4) и рассчитываются координаты очага возгорания по методу Ньютона (5).

Предложенный алгоритм определения пространственных координат возгорания был реализован в программной среде Mathcad 14, поскольку в нее интегрирован довольно мощный математический аппарат, позволяющий решать алгебраические уравнения и системы (линейные и нелинейные); работать с векторами и матрицами; выполнять поиск минимумов и максимумов функциональных зависимостей [10].

#### ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗРАБОТАННОГО АЛГОРИТМА ПО ТЕОРЕТИЧЕСКИ ПОЛУЧЕННЫМ ИСХОДНЫМ ДАННЫМ ДЛЯ ТРЕХМЕРНОГО ОХРАНЯЕМОГО ОБЪЕКТА

Исходные данные о выходных сигналах датчиков, размещенных на трехмерном охраняемом объекте, были получены с помощью компьютерной модели [3].

При этом моделировалось помещение с размерами (рис. 2)  $5 \times 5 \times 3$  м, а очаг возгорания перемещался внутри охраняемого помещения (последовательно устанавливался в 100 реперных точках). В каждой реперной точке вычислялись значения выходных сигналов датчиков. Задавались следующие параметры очага:

- температура  $1000$  °С;
- диаметр очага  $0,4$  м;
- коэффициент излучения  $0,33$ .

В таблице 1 приведены некоторые полученные результаты расчетов координат очага возгорания по данным компьютерного моделирования. В таблице представлены:  $x_p, y_p, z_p$  – исходные значения координат центра очага возгорания, задаваемые при компьютерном моделировании, м;  $x_c, y_c, z_c$  – координаты центра очага возгорания, рассчитанные по методу Ньютона, м;  $\Delta x, \Delta y, \Delta z$  – абсолютные погрешности расчета координат, м.

Таблица 1 – Результаты расчетов координат очага возгорания, полученные по данным компьютерного моделирования

| $x_t$ | $x_c$ | $\Delta x$ | $y_t$ | $y_c$ | $\Delta y$ | $z_t$ | $z_c$ | $\Delta z$ |
|-------|-------|------------|-------|-------|------------|-------|-------|------------|
| 0,5   | 0,497 | 0,003      | 1     | 0,998 | 0,002      | 0,5   | 0,492 | 0,008      |
| 1     | 0,998 | 0,002      | 0,5   | 0,497 | 0,003      | 0,5   | 0,492 | 0,008      |
| 1,5   | 1,512 | 0,012      | 2     | 2,006 | 0,006      | 2     | 2,061 | 0,061      |
| 2     | 2,002 | 0,002      | 1     | 1,007 | 0,007      | 2,5   | 2,522 | 0,022      |
| 2,5   | 2,501 | 0,001      | 1,5   | 1,509 | 0,009      | 2     | 2,041 | 0,041      |
| 3     | 3,001 | 0,001      | 1     | 0,996 | 0,004      | 1     | 0,985 | 0,015      |
| 3,5   | 3,529 | 0,029      | 4     | 4,043 | 0,043      | 2     | 1,853 | 0,147      |
| 4     | 4,002 | 0,002      | 1,5   | 1,498 | 0,002      | 0,5   | 0,49  | 0,01       |
| 4,5   | 4,524 | 0,024      | 1,5   | 1,488 | 0,022      | 2     | 1,938 | 0,062      |

Из приведенных результатов следует, что координаты центра очага возгорания могут быть рассчитаны с удовлетворительной погрешностью, не превышающей 62 мм. В итоге для выбранного подхода к расчету начальных приближений, решение было найдено во всех 100 случаях, что позволяет применять алгоритм для расчета пространственных координат очага. Далее работа алгоритма была проверена на основе экспериментальных данных.

#### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ОЧАГА ВОЗГОРАНИЯ НА ПЛОСКОСТИ

Экспериментальное исследование точности определения координат очага на плоскости выполняется с помощью лабораторного образца МОЭС [11].

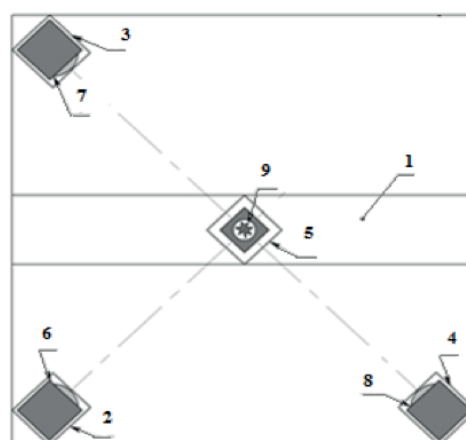
Для исследования точности определения координат по экспериментальным данным использовалась специальная лабораторная установка, позволяющая регистрировать показания оптико-электронных датчиков при перемещении источника излучения на плоскости.

Установка представляет собой оптическую скамью 1, по которой перемещается источник излучения 9 – люминесцентная лампа.

Датчики установлены по углам охраняемой области с размерами 2×2 м в соответствии с рисунком 3.

При определении координат очага на плоскости достаточно использовать три датчика, поскольку система состоит из 2 уравнений (неизвестные координаты  $x$  и  $y$ ), т.е. требуется составить 2 отношения сигналов датчиков  $U_1/U_2$ ,  $U_1/U_3$ .

При проведении исследования выполняется перемещение источника излучения внутри помещения по заданным координатам и изме-



1 – оптическая скамья; 2,3,4,5 – стойки с полками; 6,7,8 – датчики МОЭС; 9 – люминесцентная лампа

Рисунок 3 – Конструкция лабораторной установки

ряется расчетное значение координат источника излучения по осям  $x$  и  $y$ . Затем вычисляется абсолютная погрешность определения координат источника излучения и рассчитывается максимальная приведенная погрешность.

Результаты проведения исследования точности определения координат очага возгорания на основе показаний оптико-электронных датчиков представлены на рисунках 4,5.

Было установлено, что максимальная абсолютная погрешность определения абсциссы составляет 339 мм, откуда максимальная приведенная погрешность - 17%.

Максимальная абсолютная погрешность определения ординаты составляет 210 мм, откуда максимальная приведенная погрешность - 10,5%.

Наибольшая погрешность определения координат очага характерна для области, наиболее удаленной от всех трех датчиков (рис. 4,5).

Значительно большие величины погрешностей, полученные экспериментально, связаны с условиями проведения эксперимента, при ко-



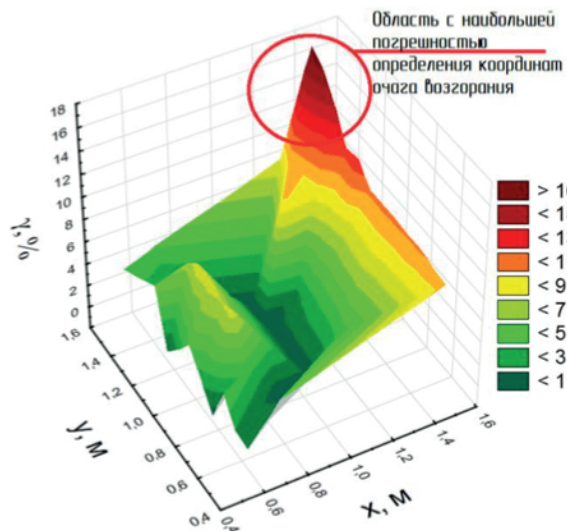


Рисунок 4 – График зависимости приведенной погрешности определения абсциссы очага возгорания по диапазону измерения

торых возникли не учитываемые переотражения потока излучения от стен помещения. Влияние указанного эффекта переотражения ограничивает применение алгоритма в реальных условиях.

#### ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения работ было проведено численное моделирование задачи определения пространственных координат очага возгорания многоточечной оптико-электронной системой.

Были решены следующие задачи:

- сформулированы исходные данные и математическая постановка задачи определения пространственных координат возгорания многоточечной оптико-электронной системой;
- выбран метод Ньютона для решения по-

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Захаренко, Д. М. Проблемы раннего обнаружения очагов пожаров и взрывов угольной пыли / Д. М. Захаренко // Проблемы использования канско-ачинских углей на электростанциях: материалы Всерос. науч.-практ. конф. – Красноярск, 2000. – С.141–149.
2. Павлов, А. Н. Оптико-электронная система определения трехмерных координат очага взрыва в газодисперсных системах на ранней стадии [Текст]: дис. канд. техн. наук / А. Н. Павлов. – Бийск, 2010. – 134 с.
3. Лисаков, С. А. Компьютерное моделирование многоточечной оптико-электронной системы определения пространственного расположения очага взрыва / С. А. Лисаков, А. В. Кураев, А. Н. Павлов, Е. В. Сыпин // Южно-Сибирский Научный Вестник. – 2012. – №2. – С.133–136.
4. Мирошников, М. М. Теоретические основы оптико-электронных приборов / М. М. Мирошников - СПб.: «Лань», 2010. - 704 с.
5. Якушенков, Ю. Г. Теория и расчет оптико-электронных приборов: учебник для студентов вузов / Ю.Г.Якушенков. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Логос, 2011. – 568 с.
6. Пат. 2394204. Российская Федерация, МПК F42В35/00, F41J5/02. Способ определения координат

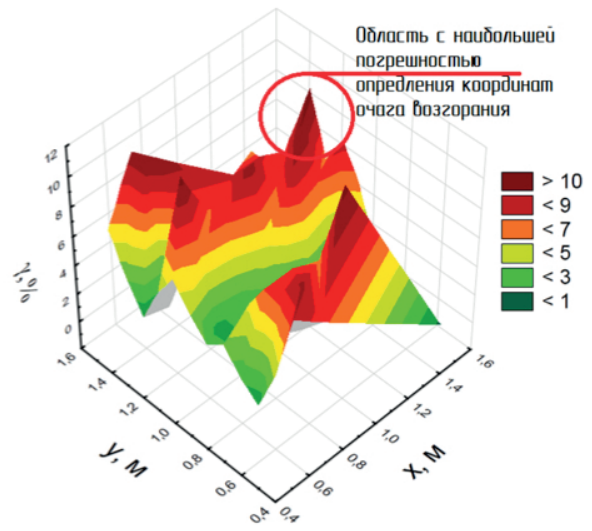


Рисунок 5 – График зависимости приведенной погрешности определения ординаты очага возгорания по диапазону измерения

ставленной задачи и разработан на его основе алгоритм определения пространственных координат возгорания;

– исследована применимость разработанного алгоритма по теоретически полученным исходным данным для трехмерного охраняемого объекта;

– исследована точность определения координат источника излучения на плоскости по экспериментальным данным.

Максимальная приведенная погрешность определения координат очага возгорания полученная в результате экспериментального исследования составляет для абсциссы – 17%, ординаты – 10,5%.

Дальнейшая работа направлена на экспериментальную апробацию предложенного метода при использовании тестовых очагов.

нат объекта испытаний в момент его подрыва [Текст] / Герасимов С.И., Гончаров Е.А. и др.; заявитель и патентообладатель Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом». 2009102703/02; – Оpubл. 10.07.2010, Бюл. №19. – 8 с.

7. Цыпкин, А. Г. Справочник по математике для средних учебных заведений / А. Г. Цыпкин, – 3-е изд. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1983. – 480 с.

8. Ханова, А. А. Численное решение уравнений и систем уравнений / А. А. Ханова. – Астрахань: Изд-во АГТУ, 2001. – 44 с.

9. Иванов, А. П. Практикум по численным методам. Метод Ньютона / А. П. Иванов. – СПб.: Изд-во СПбГУ, 2007. – 12 с.

10. Очков, В. Ф. Mathcad 14 для студентов, инженеров и конструкторов / В. Ф. Очков. – СПб.: БХВ-Петербург, 2007. – 368 с.: ил.

11. Кураев, А.В. Лабораторный образец многоточечной оптико-электронной системы определения пространственного расположения очага взрыва / А.В. Кураев, С.А. Лисаков, А.Н. Павлов, Е.В. Сыпин // Южно-Сибирский Научный Вестник. – 2013 г. – №1 (3). – С.19–21.

NUMERICAL SIMULATION APPLICATION FOR THE PROBLEM OF DETERMINING THE SPATIAL COORDINATES OF THE FIRE IGNITION SOLVING WITH MULTIPOINT OPTICAL-ELECTRONIC SYSTEM

**Zyrianova M.N., Lisakov S.A., Pavlov A.N., Sypin Y.V.**

*The article describes the numerical simulation of the task to determine the spatial coordinates of the ignition point with multipoint optical-electronic system. An algorithm for determining the spatial coordinates of the ignition based on Newton's method is suggested. Results of testing algorithm on theoretically obtained baseline data for three-dimensional protected object and on the experimental data for the case of moving of the ignition point at the same plane are brought.*

**Key words:** OPTICAL-ELECTRONIC SENSOR, MULTIPOINT OPTICAL-ELECTRONIC SYSTEM, IGNITION POINT COORDINATES, NUMERICAL SIMULATION

*Зырянова Марина Николаевна  
e-mail: mari28m0291@mail.ru*

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

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

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



**А.А. Ли**

д-р техн. наук, проф., ученый секретарь АО «НЦ ВостНИИ»



**П.А. Шлапаков**

инженер, заведующий лабораторией АО «НЦ ВостНИИ»



**А.С. Ворошилов**

канд. техн. наук, заместитель директора ООО «Кузбасс-ЦОТ»



**С.А. Прокопенко**

д-р техн. наук, проф., ведущий научный сотрудник АО «НЦ ВостНИИ», профессор ЮТИ ТПУ

УДК 622.822.22

## О ВОЗМОЖНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ВСКРЫВАЮЩИХ ВЫРАБОТОК ПО СКЛОННЫМ К САМОВОЗГОРАНИЮ ПЛАСТАМ УГЛЯ

*На примере произошедшего в Кузбассе на шахте «Разрез Инской» инцидента «самонагревание» описан метод определения временного интервала возникновения очагов самонагревания, примыкающих к вскрывающим выработкам угольных целиков, с использованием способа прогнозирования скорости фильтрации через целики на пологих и наклонных пластах угля, склонного к самовозгоранию.*

*Ключевые слова: ВСКРЫВАЮЩИЕ ВЫРАБОТКИ, УГОЛЬНЫЙ ЦЕЛИК, ЭНДОГЕННАЯ ПОЖАРООПАСНОСТЬ, ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ, ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ИНКУБАЦИОННОГО ПЕРИОДА*

**К**онкурентоспособность подземной технологии угледобычи в рыночных условиях может быть достигнута путем строительства высокопроизводительных шахт по технологической схеме «шахта-пласт». Это перспективное направление широко реализуется в Кузбассе, где отрабатываются мощные пологие и наклонные пласты, весьма склонные к самовозгоранию.

В тоже время, в соответствии с действующими «Правилами безопасности в угольных шахтах» [1], запрещается вскрытие и подготовка пластов угля, склонных самовозгоранию, пластовыми выработками. Это требование приводит к

необходимости проведения полевых вскрывающих выработок, что влечет за собой значительное удорожание себестоимости добытого угля и, как следствие, снижение конкурентоспособности. Рассмотрим один из возможных путей выхода из сложившейся ситуации.

Потенциальная аварийность шахт Кузбасса достаточно высока в силу природных и техногенных опасностей. В 2014 году в Кузбассе эксплуатировалась 61 шахта, 7 шахт находились на стадии закрытия, и 3 шахты на стадии проектирования. По факторам природного характера, 68 шахт отнесены к опасным по газу метану, в том числе 8 шахт отнесены к 1 категории, 12 - 2 ка-

тегории, 16 - 3 категории, 16 - сверхкатегорные и 15 - опасные по внезапным выбросам газа, угля и породы.

На 55 шахтах разрабатываются 98 пластов угля, из них склонных к самовозгоранию – 37, весьма склонных – 27, несклонных- 34.

Статистика эндогенной пожароопасности угольных шахт Кузбасса за период с 2003 по 2012 приведена в таблице 1.

Как следует из таблицы 1, за последние 12 лет возникло три эндогенных пожара в воздухоподающих выработках, пройденных по пластам угля, и следует отметить, что все три возникли на ОАО «Шахта «Колмогоровская-2». Также был зафиксирован ряд самонагреваний угля в целиках, прилегающих к воздухоподающим выработкам (ОАО «Шахта «Колмогоровская-2», ЗАО «Разрез Инской» и др.).

По данным расследований произошедших аварий и инцидентов основной причиной возникновения вышеупомянутых фактов возгорания и самонагревания явилось следующее:

- наличие интенсивно трещиноватых нарушенных зон в угольных целиках, как правило, приуроченных к геологическим нарушениям и технологическим сбоям между стволами;

- отсутствие инструментального контроля состояния угольных целиков (температура, трещиноватость и т.д.);

- несвоевременно принятые меры по приведению в пожаробезопасное состояние потенциально опасных участков угольных целиков.

Рассмотрим в качестве примера инцидент, произошедший в Путевом уклоне пласта Безымянный ЗАО «Разрез Инской» 20.01.2014г.

По результатам испытаний уголь пласта

Безымянный отнесен к категории «склонный к самовозгоранию». Инкубационный период самовозгорания угля пласта Безымянного в условиях ЗАО шахта «Разрез Инской» составляет 63 дня.

В ноябре – декабре 2013г. сотрудниками ОАО «НЦ ВостНИИ» были выполнены геофизические исследования целиков угля, примыкающих к основным вскрывающим выработкам, пройденным по пластам Безымянному и Наддальному, для установления зон интенсивной трещиноватости путём определения фоновых значений импульсов электромагнитной эмиссии и характеристик электромагнитного поля в данных горных выработках.

В результате исследований по классификации «Методики прогнозирования с использованием геофизических методов исследований и выбора мер по снижению эндогенной пожароопасности наклонных вскрывающих выработок, проводимых по угольному пласту» [2] были определены потенциально опасные по возможности возникновения очагов самонагревания зоны (табл. 2) .

Не смотря на то, что в результате исследований согласно классификации «Методики...»[2] не были выявлены зоны с показателем нарушения более 3-х, с целью предотвращения возникновения очагов самонагревания в целиках угля, примыкающих к конвейерному и путевому уклону в зоне пересечения геологического нарушения, и по 30 м в обе стороны, было рекомендовано произвести тампонаж вмещающего массива.

Выдача данных рекомендаций обусловлена тем, что при расчете скорости фильтрации воздуха были получены результаты со значе-

Таблица 1 – Статистика эндогенной пожароопасности угольных шахт Кузбасса

| Пожары/Год | Всего пожаров | Эндогенных пожаров | Экзогенных пожаров |
|------------|---------------|--------------------|--------------------|
| 2003       | 7             | 6                  | 1                  |
| 2004       | 8             | 8                  | 0                  |
| 2005       | 4             | 2                  | 2(1)*              |
| 2006       | 5             | 3                  | 2                  |
| 2007       | 5             | 4                  | 1                  |
| 2008       | 2             | 2                  | 0                  |
| 2009       | 2             | 2                  | 0                  |
| 2010       | 6             | 4 (1)*             | 2                  |
| 2011       | 4             | 4(1)*              | 0                  |
| 2012       | 7             | 7                  | 0                  |
| 2013       | 6             | 5 (1)*             | 1                  |
| 2014       | 2             | 1                  | 1                  |

\*- пожары, возникшие в воздухоподающих наклонных выработках

ниями близкими к пожароопасным (0,001 м/с в соответствии с «Инструкцией по прогнозу, обнаружению, локализации и контролю очагов самонагревания угля и эндогенных пожаров в угольных шахтах» [3].

Расчет скорости фильтрации воздуха был выполнен по формуле [2]:

$$V_{\text{прогн}} = k_1 \times \left( \frac{\Delta U}{\Delta U_{\text{фон}}} \right)^{k_2} \times \frac{(P_1^2 - P_2^2)}{L \times P_0 \times \left( \frac{\Delta U}{\Delta U_{\text{фон}}} + k_3 \times \ln \frac{\Delta U}{\Delta U_{\text{фон}}} \right)}, \quad (1)$$

где  $k_1, k_2, k_3$  – эмпирические коэффициенты, равные, соответственно, 0,00078, 2,45 и 0,155;

$\Delta U$  и  $\Delta U_{\text{фон}}$  – текущая и фоновая разности потенциалов на участке ленточного целика, измеряемые аппаратурой типа «СЭР-1»;

$P_0, P_1$  и  $P_2$  – атмосферное давление воздуха на земной поверхности и барометрическое давление воздуха с двух сторон ленточного целика, мм рт. ст.;

$L$  – ширина ленточного целика, м.

Так как в выданных шахте рекомендациях не был определен временной промежуток в течение которого необходимо было выполнить работы по упрочнению массива, то эти работы были запланированы к выполнению на 2014г.

20.01.2014 г. в конвейерном и путевом уклонах пласта Безымянный ЗАО «Разрез Инской» было зафиксировано повышение содержания индикаторных газов CO до 0,0203%, H<sub>2</sub> до 0,0288%. Созданная комиссия классифицировала происшедшее как самонагревание угля в зоне пересечения геологического нарушения конвейерным и путевым уклонами по пласту Безымянному. Инцидент был ликвидирован путем затопления части уклонов выше нарушения.

Предотвратить возникновение данного

инцидента можно было путем установления жестких временных сроков по приведению в пожаробезопасное состояние целиков угля, прилегающих к конвейерному и путевому уклонам пласта Безымянного.

Оценку временного интервала от момента вскрытия горными работами участков угольного пласта опасных по возможности возникновения эндогенных пожаров до развития очага самовозгорания в угольных целиках предлагается выполнять следующим образом.

В соответствии с «Инструкцией по определению инкубационного периода самовозгорания угля» [4] продолжительность инкубационного периода  $\tau_{\text{инк}}$  равен суммарной продолжительности временных интервалов  $\Delta\tau$ , за которые изменение температуры ( $\Delta T$ ) достигает критического значения ( $T_{\text{кр}}$ ):

$$\sum \Delta T = T_{\text{кр}}$$

где  $T_{\text{кр}}$  – критическая температура самовозгорания угля, °С, ( $T_{\text{кр}} = 90-130^\circ\text{C}$ );

$\Delta T$  – изменение температуры скопления угля за временной интервал  $\Delta\tau$ , °С.

Продолжительность временных интервалов определяется:

$$\sum \Delta\tau = \sum \frac{\Delta T}{Q^{\text{ген}} - Q^{\text{вын}} - Q^{\text{исп}}}, \quad (2)$$

где  $Q^{\text{ген}}$  – скорость изменения температуры очага за счет генерации тепла при взаимодействии кислорода с углем, °С/с;

$$Q^{\text{ген}} = \frac{V_y \gamma \Pi q K C_0 v}{(v + K V_y \Pi \gamma) \gamma C_y V_y \Pi} \quad (3)$$

здесь  $V_y$  – объем угля, м<sup>3</sup>;

$\gamma$  – плотность скопления угля, кг/м<sup>3</sup>;

$\Pi$  – пористость угля, доли единицы;

$q$  – тепловой эффект окисления угля, Дж/м<sup>3</sup>;

Таблица 2 – Прогнозирование группы эндогенной пожароопасности угольных целиков

| Относительный показатель нарушения целостности массива, $n_{\text{нар}}$ | Н/ДР, м/даПа |             |            | Группа эндогенной пожароопасности |
|--|--------------|-------------|------------|-----------------------------------|
|  | 0,10 – 0,40  | 0,41 – 0,70 | 0,71 – 1,0 |                                   |
| $n_{\text{нар}} \geq 6$  | +            |             |            | Весьма опасная                    |
|  |              | +           |            | Весьма опасная                    |
|  |              |             | +          | Опасная                           |
| $3 \leq n_{\text{нар}} < 6$  | +            |             |            | Опасная                           |
|  |              | +           |            | Опасная                           |
|  |              |             | +          | Опасная                           |
| $n_{\text{нар}} < 3$   | +            |             |            | Неопасная                         |
|  |              | +           |            | Неопасная                         |
|  |              |             | +          | Неопасная                         |

$v$  – объемная пожароопасная скорость воздуха, м<sup>3</sup>/с;

$C_y$  – теплоемкость угля, Дж/(кг·К).

$K$  – константа скорости сорбции кислорода воздуха углем, м<sup>3</sup>/(кг·с);

$Q^{вын}$  – скорость изменения температуры очага за счет выноса тепла воздухом, °С/с;

$$Q^{вын} = \frac{vC_{воз}\rho_{воз}(T + \sum \Delta T - T_{воз})}{\gamma C_y V_y \Pi} \quad (5)$$

здесь  $C_{воз}$  – теплоемкость воздуха, Дж/(моль·°С);

$\rho_{воз}$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;

$T_{воз}$  – начальная температура подаваемого воздуха, °С;

$Q^{исп}$  – скорость изменения температуры очага за счет выноса тепла испарением, °С/с;

$$Q^{исп} = \frac{vr\mu}{\gamma C_y V_y \Pi r(T + \sum \Delta T)} (P_y - \varphi P_{H_2O}) \quad (6)$$

здесь  $r$  – теплота испарения воды, Дж/м<sup>3</sup>;

$\mu$  – молекулярный вес воды, кг/моль;

$P_y$  – давление паров воды над углем, Н/м<sup>2</sup>;

$\varphi$  – влажность подаваемого воздуха, доли единиц;

$P_{H_2O}$  – давление паров воды над водой, Н/м<sup>2</sup>.

Как видно, для решения поставленной задачи не хватает данных об объемной пожароопасной скорости воздуха, т.к. замерить скорость фильтрации воздуха через целик угля прямым инструментальным замером не представляется

возможным.

Принимая во внимание, что прогнозная скорость фильтрации воздуха (1) определена для угольного целика некоторой протяженности  $L$  и высоты  $h$  и принимается  $const$  в каждой точке сечения, справедливо будет утверждать, что при площади сечения поверхности угольного целика 1 м<sup>2</sup>, объемная скорость фильтрации через данный объем угольного скопления (целика) может быть выражена через  $V = m^3/c$ .

Таким образом, установив участки повышенной эндогенной пожароопасности угольных целиков и определив временной интервал их возможного самовозгорания, представляется возможным разработать и своевременно реализовать комплекс мер, направленных на устранение данной опасности.

В заключение можно констатировать, что требования [1] в части запрета проведения вскрывающих выработок по пластам угля склонного к самовозгоранию являются в значительной степени завышенными. Своевременно принятые и реализованные технические решения по предотвращению возникновения очагов самонагревания в угольных целиках, примыкающих к вскрывающим выработкам, позволят свести риски возникновения аварийных ситуаций до приемлемых.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах». Серия 05. Выпуск 40.- М: ЗАО «Научно-технический центр исследования проблем промышленной безопасности», 2014- 200 с.
2. Методика прогнозирования с использованием геофизических методов исследований и выбора мер по снижению эндогенной пожароопасности наклонных вскрывающих выработок, проводимых по угольному пласту / Л. П. Белавенцев, В. А. Рудаков, А. Я. Каминский, П. В. Потапов и др. – Кемерово: ОАО «НЦ ВостНИИ», 2007.
3. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по прогнозу, обнаружению, локации и контролю очагов самонагревания угля и эндогенных пожаров в угольных шахтах». Серия 05. Выпуск 28.- М: ЗАО «Научно-технический центр исследования проблем промышленной безопасности», 2013 – 24 с.
4. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по определению инкубационного периода самовозгорания угля». Серия 05. Выпуск 38.- М: ЗАО «Научно-технический центр исследования проблем промышленной безопасности», 2013 – 20 с.

ON POSSIBILITY TO DRIVE OPENING GALLERIES IN COAL SEAMS PRONE TO SELF COMBUSTION

**Li A.A., Shlapakov P.A., Voroshilov A.S., Prokopenko S.A.**

*On the example of the incident which took place in Kuzbass at "Razrez Inskoy" mine the authors described their method to determine the time interval when self-combustion areas appear near the mine openings in coal pillars using the filtration through the pillar speed forecast method at flat and inclined coal seams prone to self-combustion.*

**Key words:** OPENING GALLERIES, COAL PILLAR, ENDOGENOUS FIRE HAZARD, GEO-PHYSICAL METHODS, INCUBATION PERIOD DURATION

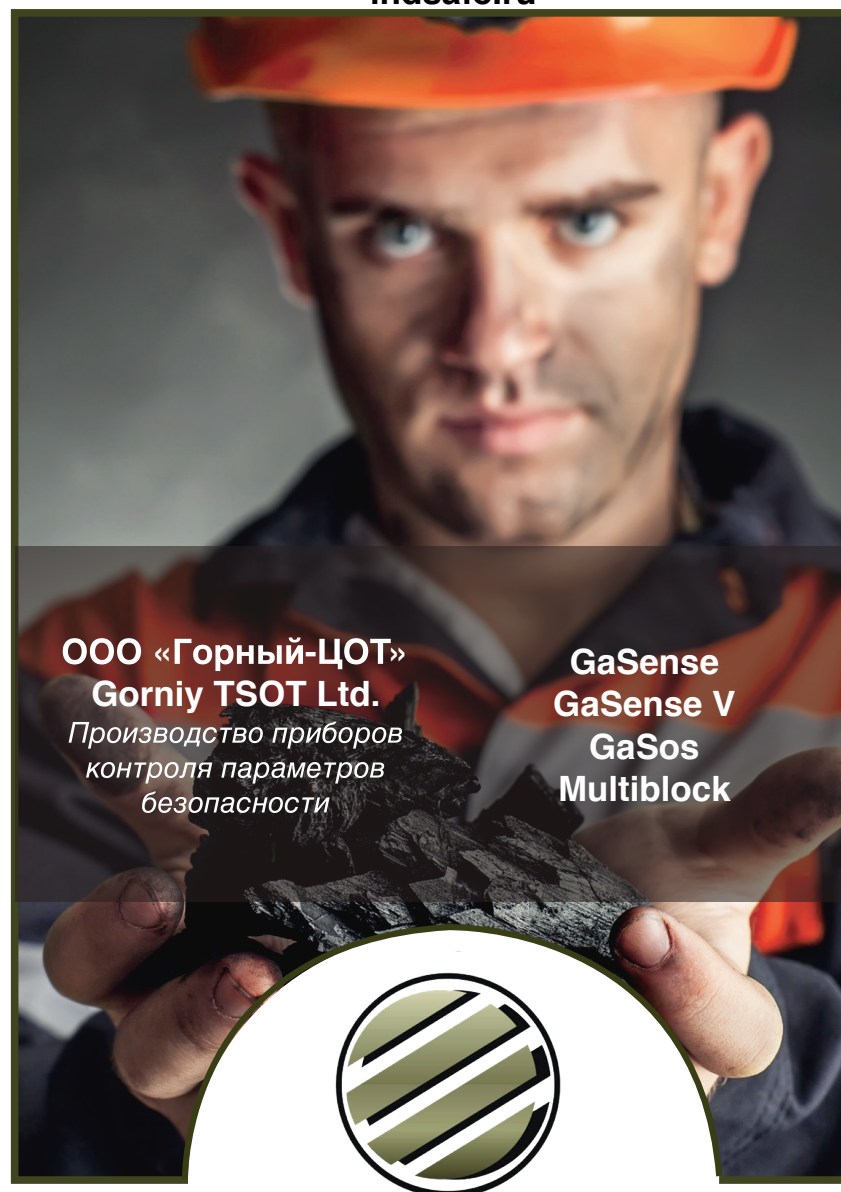
*Ли Анатолий Андреевич  
e-mail: Lee@nc-vostnii.ru*

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

*Ворошилов Алексей Сергеевич  
e-mail: besimply@yandex.ru*


*Прокопенко Сергей Артурович  
e-mail: sibgp@mail.ru*

indsafe.ru



**ООО «Горный-ЦОТ»  
Gorniy TSOT Ltd.**  
Производство приборов  
контроля параметров  
безопасности

**GaSense  
GaSense V  
GaSos  
Multiblock**





### **С.А. Прокопенко**

д-р техн. наук, проф., ведущий научный сотрудник АО «НЦ ВостНИИ», профессор ЮТИ ТПУ



### **В.С. Лудзиш**

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



### **П.А. Шлапак**

инженер, заведующий лабораторией АО «НЦ ВостНИИ»

УДК 622.232.72

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЗЦОВ В ШАХТАХ КУЗБАССА**

*Показано, что использование комбайновых резцов в шахтах Кузбасса в настоящее время находится на низком уровне контроля и организации из-за отсутствия соответствующей системы. Разработаны научные положения для выстраивания системы резцепользования шахты, постановка которой позволяет управлять расходом резцов и затратами на отбойку угля и породы.*

*Ключевые слова: ШАХТА, КОМБАЙН, РЕЗЕЦ, СИСТЕМА, БЕЗОПАСНОСТЬ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ, РЕЗЦЕПОЛЬЗОВАНИЕ*

**С**овременное тяжелое финансовое положение угольных предприятий вынужденно влечет урезание расходов по всем статьям, в том числе и необходимым. Так, например, даже приобретение требуемого для производства горного инструмента (комбайновые резцы, буровые коронки и т.п.) ведется по сокращенным нормам. Подаваемые горными участками месячные заявки на материалы и инструмент при рассмотрении финансистами сокращаются, закупается заведомо меньшее количество ресурсов, а рабочим ставится задача безусловного выполнения производственного плана. В результате рабочие вынуждены использовать резцы и коронки сверх регламентного срока, что влечет дополнительные нагрузки на силовые органы машин, повышение вероятности поломки оборудования, усиление

фрикционного искрения в забоях. Все это снижает уровень безопасности при выполнении подземных горных работ. «Урезание средств» действующими руководителями шахт используется как простой метод повышения эффективности производства. При этом не налажен действенный контроль над расходом резцов по комбайнам, участкам, видам горных работ и шахте в целом. Степень бережливости в обращении комбайновых бригад с горным инструментом не отслеживается; ресурсоэффективность различных марок не оценивается; лучшие результаты в шахте не поощряются; лучшие резцы не изыскиваются.

Основные технологические и многие вспомогательные процессы в угольных шахтах к настоящему времени разработаны до уровня системы, что обеспечивает им упорядоченность,



безопасность, эффективность, управляемость. На шахтах созданы системы: вентиляция, безопасности, электроснабжения, ремонта, водопользования, недропользования и проч. Однако главный процесс до настоящего времени выпал из поля зрения ученых и практиков. Речь идет о процессе резцепользования шахты, который до сих пор не выстроен как система. Существующее низкоэффективное резцепользование шахт обусловлено и отношением к резцам, как к чему-то малозначительному, третьестепенному. Однако именно с резца начинается целевая функция шахты – отбивать от массива полезное ископаемое и выдавать его на поверхность.

Фактически сложившееся состояние использования в шахтах Кузбасса (и других угольных бассейнов) комбайновых резцов не обеспечивает необходимого в современных глобальных конкурентных отношениях темпа повышения эффективности и безопасности угледобычи [1]. Текущий уровень контроля использования резцов сдерживает шахты в их выходе на необходимый для долгосрочной конкурентоспособности и инвестиционной привлекательности уровень технико-экономических показателей. В настоящее время понятие «система резцепользования» на самих шахтах отсутствует и в обороте не используется. Для понимания и постановки ее в шахтах требуется разработка понятия и научных основ такой системы. Под **системой резцепользования предлагается понимать последовательность учетных, расчетных, аналитических и руководящих функций, позволяющую управлять процессом резцепользования в направлении сокращения физических и стоимостных параметров потока резцов в шахту.**

Составляющими элементами **системы резцепользования шахты (СРШ)** выступают:

- процесс использования (эксплуатации) резцов на комбайне;
- процесс мониторинга количества и качества расходуемых резцов;
- процесс оценки экономической эффективности резцепользования;
- процесс планирования целевых показателей и контроля их достижения.

Процесс использования резцов регламентируется техническими условиями эксплуатации шахтных комбайнов. На указанный процесс влияют горно-геологические характеристики обрабатываемого массива; требуемый фракционный состав отбиваемого угля; конструктивные требования комбайна к резцам; качество резцов и степень соответствия их физико-механических свойств горно-геологическим условиям эксплуа-

тации; надежность крепления резцов на исполнительном органе; квалификация персонала, устанавливающего и эксплуатирующего резцы [2].

Мониторинг количества и качества расходуемых резцов требует разработки учетной модели, удобной в применении на горном участке по каждому комбайну. В качестве модели предусматривается использование специального месячного журнала для отражения условий и результатов эксплуатации резцов.

Оценку экономической эффективности СРШ предлагается осуществлять по показателю «удельные затраты за период». Годовые удельные затраты шахты на резцы можно рассчитать по следующей формуле:

$$З_{уд} = \frac{\sum_{i=1}^n N_i^{оч} Ц_i + \sum_{j=1}^f N_j^{прох} Ц_j}{m/Q + LS}, \text{ р/м}^3; \quad (1)$$

где  $N_i^{оч}$  - количество резцов  $i$ -ой марки, израсходованных шахтой за год на очистных работах, шт;

$Ц_i$  - цена резцов  $i$ -ой марки для очистных комбайнов, р/шт;

$N_j^{прох}$  - количество резцов  $j$ -ой марки, израсходованных шахтой за год на проходческих работах, шт;

$Ц_j$  - цена резцов  $j$ -ой марки для проходческих комбайнов, р/шт;

$n$  - количество марок резцов, использованных на очистных комбайнах за год, ед.;

$f$  - количество марок резцов, использованных на проходческих комбайнах за год, ед.;

$m$  - масса добытого за год угля, т;

$Q$  - объемный вес угля, т/м<sup>3</sup>;

$L$  - протяженность пройденных за год выработок, м;

$S$  - среднее сечение пройденных за год выработок, м<sup>2</sup>.

**Годовые удельные затраты резцов на очистных работах шахты** можно рассчитать по формуле:

$$З_{уд}^{оч} = \frac{\sum_{i=1}^l \sum_{i=1}^p \sum_{i=1}^n N_i^{оч} Ц_i}{\sum_{i=1}^l \sum_{i=1}^p \sum_{i=1}^n m/Q}, \text{ р/м}^3; \quad (2)$$

где  $l$  - количество очистных участков на шахте, шт.;

$p$  - количество комбайнов на  $l$ -ом участке, шт.

По аналогичной формуле рассчитываются удельные затраты резцов на проходческих работах шахты.

Расчет по формуле (1) для условий ОАО

«Шахта Заречная» по итогам 2010 г. показал, что удельные затраты резцов составили 0,75 р. на 1 м<sup>3</sup> отбитой горной массы. Или 1 рубль, вложенный шахтой в закупку резцов, позволил отбить от массива недр 1,4 м<sup>3</sup> горной массы.

Для оценки **уровня эффективности СРШ** предлагается использовать шкалу (таблица 1), предусматривающую 5 уровней на основе анализа **динамики общих и удельных затрат шахты на резцы**. Высший уровень эффективности СРШ достигается при одновременном снижении за период общих затрат шахты на резцы и затрат в расчете на единицу отбитой горной массы. При одновременном росте значений указанных показателей уровень эффективности характеризуется как низкий.

**Коэффициент эффективности резцепользования шахты** можно рассчитать через эффективность данного процесса на производственных участках (комбайнах) по формуле:

$$K_p^w = \frac{\sum_{i=1}^n \kappa_i B}{5K}, \text{ ед.} \quad (3)$$

где  $\kappa_i$  – фактическое количество участков (комбайнов) с Т-уровнем эффективности, шт.;  
 B- балльная оценка уровня эффективности, баллы;  
 K – общее количество участков (комбайнов) на шахте, шт.

Приведенные выше научные положения позволили разработать технологию функционирования системы резцепользования шахты (рис. 1).

Для постановки системы в изучаемом процессе к существующим функциям пользования и учета резцов требуется освоение блока расчетных функций и блока управленческих функций. Из 15 необходимых для системы функций в настоящее время на шахтах выполняются лишь 5

начальных. Отсутствие расчетных и аналитических процедур не позволяет руководству шахты владеть полной и глубокой картиной этого процесса для управления его состоянием.

С использованием приведенного выше математического аппарата освоение расчетных процедур не представляет сложности. В качестве отчетного периода в блоке расчетных функций вначале целесообразно принять квартал, а на последующих этапах довести эти функции до исполнения по результатам месячного периода.

Для выполнения оценки эффективности СРШ требуется регулярное получение исходной информации о количестве, типах и ценах закупки резцов шахтой, типах и количестве выданных резцов подземным участкам, расходе резцов участками и комбайнами. Информационными уровнями в этой системе выступают:

- 1.Уровень закупок резцов (ОМТС).
2. Уровень выдачи резцов в пользование (склад МТР).
- 3.Уровень пользования и расходования резцов (горные участки).

Информация о марках и расходе резцов комбайнами от звеньевых через горных мастеров поступает на участки, где ежемесячно фиксируется в журналах мониторинга. Журнал мониторинга, заверенный начальником участка, не позднее 5 числа следующего месяца передается главному инженеру. В эти же сроки перед главным инженером отчитываются заведующий складом и бухгалтер своей информацией. Аккумулированная главным инженером информация обобщается, рассчитываются показатели эффективности, выполняется анализ. В последующем, после постановки и освоения СРШ, расчетно-аналитическая функция выполняется одним из инженеров шахты. Отчет директору шахты предоставляется не позднее двух недель по прошествии квартала.

Таблица 1 – Уровни эффективности системы резцепользования шахты (участка, комбайна)

| Общие затраты на закупку резцов Z (р) при сравнении с предыдущим периодом | Удельные затраты Z <sub>уд</sub> (р/м <sup>3</sup> ) при сравнении с предыдущим периодом | Уровень эффективности Т | Баллы |
|---|--|-------------------------|-------|
| ↓   | ↓  | ВЫСОКИЙ                 | 5     |
| →   | ↓  | ВЫШЕ СРЕДНЕГО           | 4     |
| ↓   | →  | СРЕДНИЙ                 | 3     |
| ↑   | ↓  | НИЖЕ СРЕДНЕГО           | 2     |
| ↑   | ↑  | НИЗКИЙ                  | 1     |

↑ - затраты выросли;  
 ↓ - затраты уменьшились;  
 → - затраты не изменились.

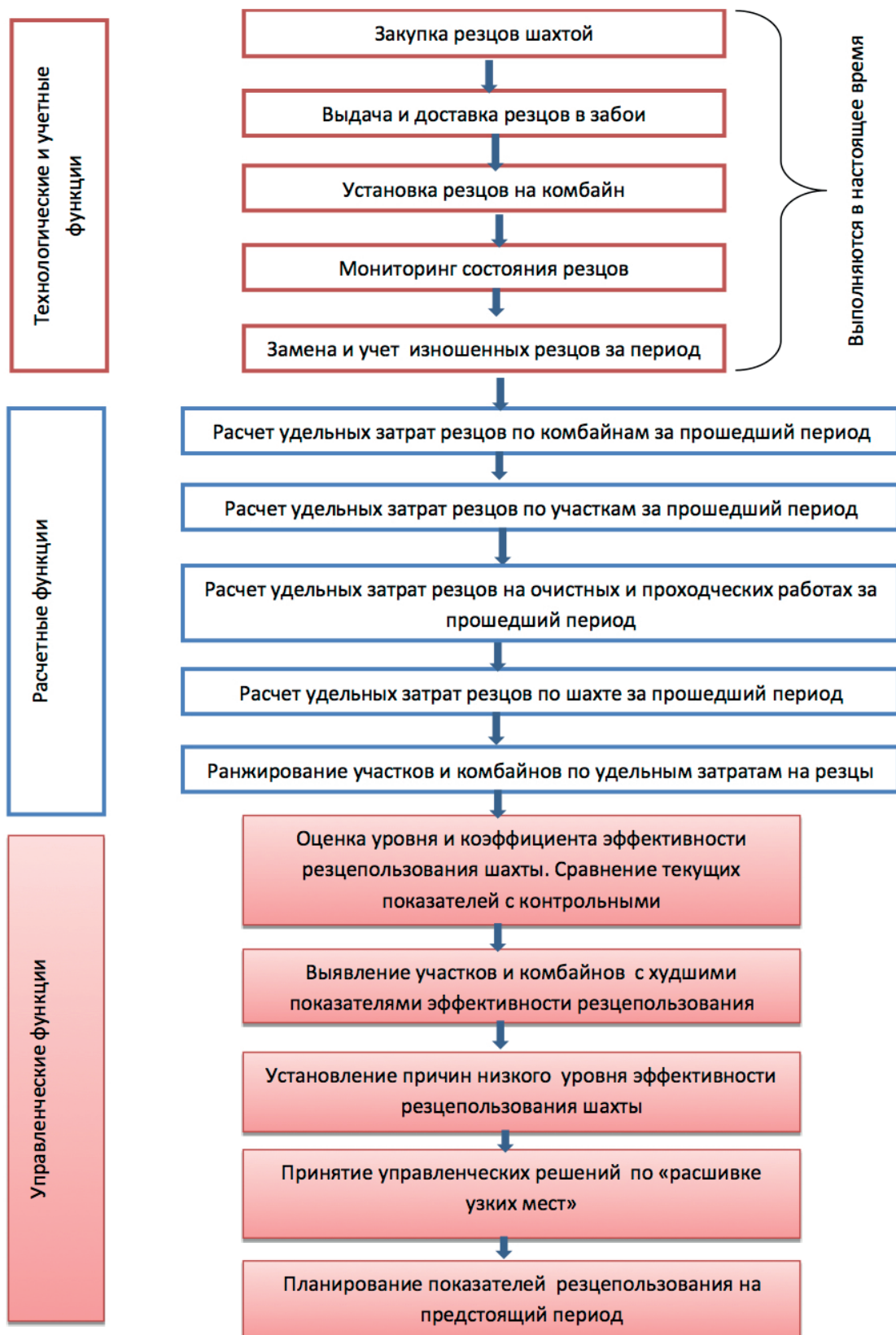


Рисунок 1 – Технология функционирования системы резцепользования шахты

Собранная, переработанная и оцененная информация, поступающая на верхний уровень руководства, выступает базой для принятия управленческих решений по выявлению мест неэффективного вложения денежных средств,

«расшивке» узких мест, поощрению эффективных начальников участков и комбайнеров, выбору поставщиков высокоресурсных и экономичных резцов, корректировке объемов закупок и т.д. Таким образом, достигается прозрачность,

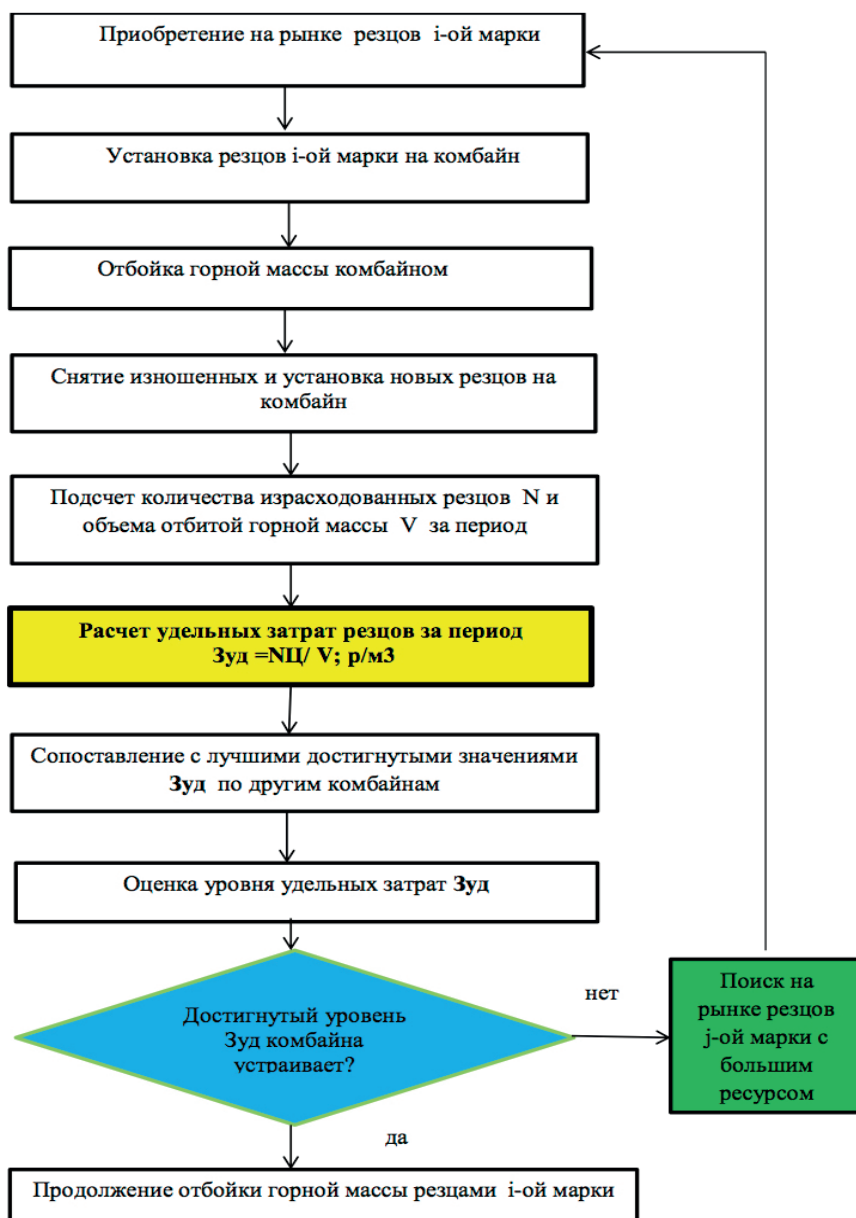


Рисунок 2 – Алгоритм совершенствования системы резцепользования шахтного комбайна

упорядоченность и эффективность процесса резцепользования в шахте.

Направленное повышение эффективности системы резцепользования шахты достигается постановкой этого процесса на каждом комбайне. На рисунке 2 представлен алгоритм повышения эффективности резцепользования шахтного комбайна (СРШК).

Ключевым этапом этого алгоритма является «**расчет удельных затрат за период**», позволяющий выполнить оценку эффективности резцов и принять корректирующие действия. Использование разработанного алгоритма на всех комбайнах шахты позволяет взять под контроль расход резцов, повысить ответственность рабочих за надежную их установку в резцедержатели и бережное обращение с горно-режущим ин-

струментом, инициировать поиск экономичных резцов.

Организованная таким образом СРШ выступает для директора и главного инженера шахты инструментом планирования, мотивации и контроля процесса резцепользования в направлении сокращения расхода резцов и затрат на отбойку горной массы. Достижимая системность процесса способствует повышению эффективности, безопасности и культуры горного производства.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Tashchiyan, G.O. Organizing automated dialogue on the competitiveness of science-intensive products // Applied Mechanics and Materials. - 2013 - Vol. 379. - p. 240-243.
2. Хорешок, А. А. Производство и эксплуатация разрушающего инструмента горных машин: монография / А. А. Хорешок, М. Е. Маметьев, А. М. Цехин, А. Ю. Борисов, [и др.] - Юрг. технолог. ин-т. - Томск: Изд-во Том. политехн. ун-та.- 2013. - 296 с.

CUTTER USAGE MONITORING SYSTEM  
DEVELOPMENT AT KUZBASS MINES

**Prokopenko S.A., Ludzish V.S., Shlapakov  
P.A.**

*It is shown that at Kuzbass mines coal-plough machine cutters usage monitoring and organization is at a low level because of the proper system lack. Scientific regulations are developed to build the mine cutter usage system, which will allow to monitor the cutter usage and expenditures for coal and rock mining.*

**Key words:** MINE, CUTTER, SYSTEM, SAFETY, EFFICIENCY, CUTTER USAGE

*Прокопенко Сергей Артурович  
e-mail: sibgp@mail.ru*

*Лудзиш Владимир Станиславович  
e-mail: ncvostnii@yandex.ru*

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

### III. ПРОБЛЕМЫ И СУЖДЕНИЯ PROBLEMS AND OPINIONS



**А.И. Фомин**

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



**Д.А. Бесперстов**

аспирант ФГБОУ ВПО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности»

УДК 622.822.22

#### **АКТУАЛЬНОСТЬ РАЗРАБОТКИ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СПОСОБА ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТНИКОВ НА УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ И УГЛЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ КУЗБАССА**

*Рассмотрена проблема соответствия требованиям пожарной безопасности зданий и строений угледобывающих и углеперерабатывающих предприятий Кемеровской области. Изложена необходимость совершенствования оценки пожаробезопасности работников.*

*Ключевые слова: УГЛЕДОБЫВАЮЩИЕ ПРЕДПРИЯТИЯ, УГЛЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИЕ ПРЕДПРИЯТИЯ, ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ, ПРОТИВОПОЖАРНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ, БЕЗОПАСНОСТЬ РАБОТНИКОВ*

**П**одземные пожары на угольных шахтах относятся к наиболее опасным техногенным явлениям. Особо опасное проявление данных пожаров возникает в тех местах, где в настоящее время даже не ведутся подземные горные работы. Опасение вызывает то, что вследствие возникновения подземных пожаров производится консервация значительных запасов угля, который впоследствии выгорает [1]. Из-за значительных затрат на предупреждение и локализацию подземных пожаров собственники шахт не всегда проводят комплекс исчерпывающих мероприятий по надлежащей консервации неиспользуемых горных выработок, что приводит к распространению подземных пожаров, а также ведет за собой усадку грунта и, как следствие, зачастую приводит к выходу пожара на поверхность. Данная ситуация наиболее актуальна для таких муниципальных образований Кемеровской области как Новокузнецкий, Прокопьевский и Киселевский городские округа, Прокопьевский муниципальный район. Подземные пожары, вышедшие на поверхность на территориях данных муниципальных обра-

зований, наносят не только материальный, но и значительный природный ущерб. Зачастую данные пожары выходят на поверхность в местах расположения жилых домов и предприятий, что приводит к риску возгорания зданий и строений.

В связи с тем, что большинство горных выработок проводится под поверхностными зданиями технологического комплекса угледобывающих организаций, то и риск возникновения пожара вышедшего на поверхность значительный. Пожары на данных типах объектов могут нести резонансный характер, так как они являются объектами жизнеобеспечения не только Кемеровской области, но и населения Российской Федерации. Функционирование данных объектов в значительной мере влияет на обеспечение страны каменным углем, электроэнергией, металлом, углехимической и другой продукцией в результате использования угля.

Вместе с этим далеко не все угледобывающие и углеперерабатывающие предприятия соответствуют требованиям пожарной безопасности. Особенно актуален вопрос по обеспечению пожаробезопасности людей, находящихся в

зданиях высотой 2 и более этажа, так как невозможно их самоспасение через оконные проемы без специальных устройств.

Рассмотрим наиболее подробно здания угледобывающих и углеперерабатывающих предприятий Кузбасса на предмет соответствия их требованиям пожарной безопасности.

Распределение зданий I-II степени огнестойкости угледобывающих и углеперерабатывающих предприятий Кемеровской области по количеству этажей можно представить в виде следующей диаграммы (рис. 1).

Распределение зданий III-IV степени огнестойкости угледобывающих и углеперерабатывающих предприятий Кемеровской области по количеству этажей изображено в виде данной диаграммы (рис. 2).

Как мы видим из диаграмм, представленных на рисунках 1, 2, преимущественное количество зданий относится к I-II степени огнестойкости. Наибольшее количество зданий всех степеней огнестойкости 2-х и 3-х этажные.

Общее количество зданий I-IV степени огнестойкости и соответствие их требованиям пожарной безопасности угледобывающих и углеперерабатывающих предприятий Кемеровской области по количеству этажей представлено в виде диаграммы (рис. 3).

Общее количество зданий I-II степени огнестойкости и соответствие их требованиям пожарной безопасности угледобывающих и углеперерабатывающих предприятий Кемеровской области по количеству этажей можно представить в виде следующей диаграммы (рис. 4).

Общее количество зданий III-IV степени огнестойкости и соответствие их требованиям пожарной безопасности угледобывающих и углеперерабатывающих предприятий Кемеровской области по количеству этажей отражено в диаграмме (рис. 5).

Из вышеизложенного видно, что данные здания не всегда имеют I-II степень огнестойкости (железобетонные стены и перекрытия), а зачастую они имеют деревянные и пустотные стены и перекрытия, что относится к III-IV степеням огнестойкости. Из диаграмм, представленных на рисунках 3-5 видно, что всего около 50% зданий соответствуют требованиям пожарной безопасности.

Хотелось бы отметить, что пожары в зданиях с деревянными и пустотными стенами и перекрытиями характеризуются высоким уровнем опасности и зачастую полностью уничтожают строение. Кроме того, из-за непрочных несущих стен и перекрытий данные здания являются значительным источником гибели участников туше-

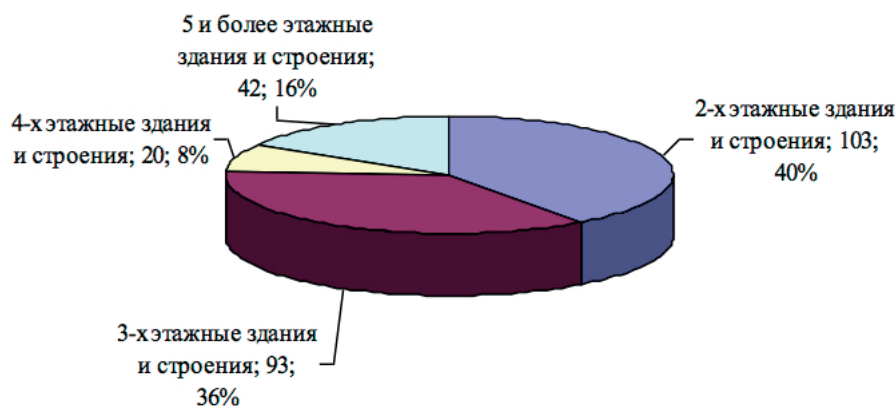


Рисунок 1 – Распределение зданий I-II степени огнестойкости



Рисунок 2 – Распределение зданий III-IV степени огнестойкости

ния пожара и лиц, участвующих в ликвидации.

Пустоты в стенах и перекрытиях усложняют эвакуацию людей, так как не всегда возможно определить маршрут эвакуации, не видя огня и дыма, который непредсказуемо развивается внутри стен и перекрытий, что обуславливает эвакуацию не в том направлении, а также усложняется локализация и ликвидация пожара, в связи с тем, что личному составу подразделений пожарной охраны фактически приходится разбирать полностью здания с пустотными стенами и перекрытиями, чтобы пожар не возник снова. Осложнившаяся противопожарная обстановка, на объектах данной категории, указывает на недостаточную эффективность профилактических мероприятий, установленных в результате ошибочной оценки пожаробезопасности людей. В свою очередь ошибочные оценки приводят к разработке неверных, малоэффективных или социально-экономически не целесообразных мероприятий.

Анализ соответствия зданий угледобывающих и углеперерабатывающих предприятий Кузбасса требованиям пожарной безопасности позволил сделать вывод о том, что на пожаробезопасность работников повышение степени огнестойкости зданий и сооружений с пустотными стенами и перекрытиями, что не является достаточно эффективным профилактическим мероприятием, разработанным на основе ошибочных решений по оценке пожароопасности людей и зданий. Это следует из того, что около 50% зданий не соответствуют требованиям пожарной безопасности независимо от степени их огнестойкости.

В данном случае целью оценки пожароопасности является определение вероятности возникновения риска гибели людей в случае возникновения пожара, а допустимый уровень пожарной опасности должен быть не более 10-й [2].

В противном случае разрабатывается план противопожарных мероприятий, включающий все требования пожарной безопасности, установленные федеральными законами о технических регламентах и требованиями норма-

тивных документов по пожарной безопасности [3].

В настоящее время пожароопасность всех объектов, в том числе с пустотными стенами и перекрытиями, осуществляется на основе методик, имеющих сложные математические расчеты, что зачастую обуславливает получение ошибочных выводов [4, 5].

Кроме того, анализ гибели людей, а также причин возникновения пожаров показывает, что исполнение в полном объеме требований без конкретизации потенциально возможных условных причин и обстоятельств возникновения возгорания приводит к непредсказуемым последствиям [6].

«Слепое» исполнение требований в области пожарной безопасности зачастую вредит пожаробезопасности объекта из-за отсутствия адресного подхода. Реализация данного подхода очевидна из-за существующего множества требований. Увеличение требований в области пожарной безопасности обусловлено тем, что невозможна разработка единого, эффективного требования как для различных зданий и сооружений, так и для одного функционального назначения или для единого типа конструкции.

Фактически не представляется возможным привести к современным требованиям пожарной безопасности здания с деревянными и пустотными стенами и перекрытиями, но и оставлять их в том виде, котором они существуют нельзя, в связи с тем, что опасные факторы пожара наступают до окончания эвакуации людей при условии выполнения всех требований в области пожарной безопасности. Необходима новая нестандартная система защиты людей в случае возникновения пожара.

На основании вышеизложенного назрела потребность совершенствования нормативного регулирования оценки соответствия объектов защиты требованиям пожарной безопасности и обеспечения пожаробезопасности людей в целях достижения требуемого качества выполняемых мероприятий для недопущения ошибочных и малоэффективных решений.



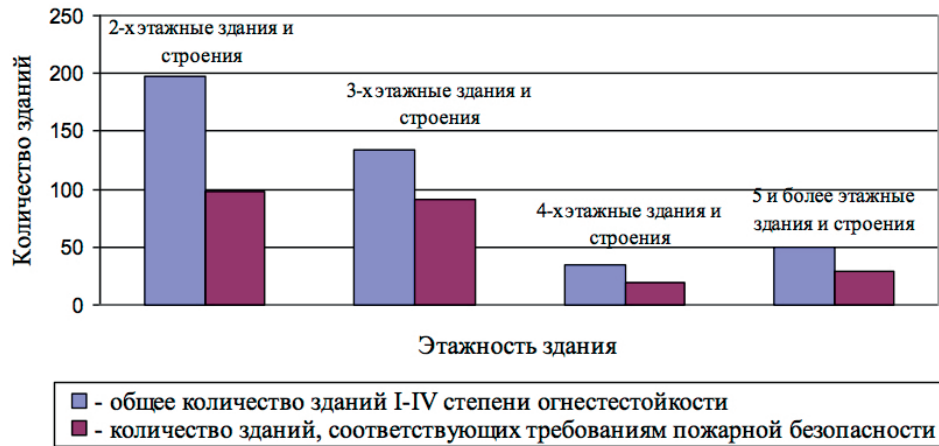


Рисунок 3 – Общее количество зданий I-IV степени огнестойкости и соответствие их требованиям пожарной безопасности



Рисунок 4 – Общее количество зданий I-II степени огнестойкости и соответствие их требованиям пожарной безопасности

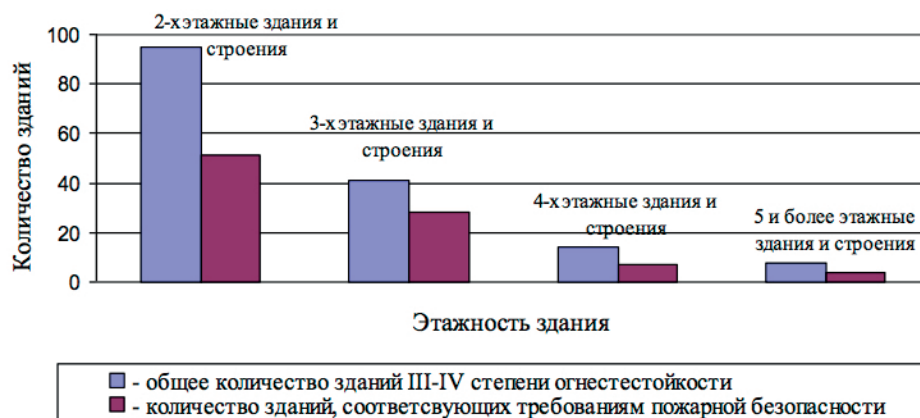


Рисунок 5 – Общее количество зданий III-IV степени огнестойкости и соответствие их требованиям пожарной безопасности

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Голик, А. С. Анализ аварийности на предприятиях угольной промышленности России за 2001 год / А. С. Голик, В. В. Мячин, В. А. Зубарева. – Кемерово: РосНИИГД, 2002. – 21 с.
2. ГОСТ 12.1.004-91. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования [Текст]. Взамен ГОСТ 12.1.004-85; введ. 1992-07-01; ред. от 01.10.1993. – М.: Стандартиформ, 2006.
3. Российская Федерация. Законы. Федеральный закон 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. Приказ МЧС России от 30.06.2009г. № 382 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности».– М:«Российская газета». – 2009. – № 161. – 32 с.
5. Приказ МЧС России от 10.07.2009г № 404 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах».– М:«Российская газета» - 2009. – № 37. – 38 с.
6. Оценка деятельности государственных инспекторов по пожарному надзору при расследовании пожаров с гибелью людей: Краткий анализ материалов уголовных дел / В.И. Козлачков. – М.: Академия ГПС МЧС России. – 2006. – 53 с.

URGENCY OF DEVELOPMENT AND IMPROVEMENT OF THE WAYS TO INCREASE THE WORKERS OF KUZBASS COAL ENTERPRISES SAFETY

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

*The problem of buildings and structures of Kemerovo region coal enterprises compliance with fire safety regulations is reviewed. The necessity to improve the assessment of people fire protection is described.*

**Key words:** COAL EXTRACTING ENTERPRISES, COAL WASHING ENTERPRISES, FIRE PROTECTION, FIRE PROTECTION MEASURES, SAFETY OF WORKERS

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

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

**В.А. Зубарева**

канд. техн. наук, директор ООО «ЦСЭ»

**Л.М. Поляк**

канд. мед. наук, доцент Кемеровского института (филиала) ФГБОУ ВПО «РЭУ им. Г.В. Плеханова»

УДК 331.45

## АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ УСЛОВИЙ ТРУДА ПРИ РАБОТЕ С ОРГТЕХНИКОЙ

*Приведены вредные производственные факторы и дана характеристика их действия на здоровье пользователя персональным компьютером (ПК). Отмечаются противоречия в документах нормативно-правовой базы, действующей в области охраны труда в части экспертизы условий труда.*

*Ключевые слова: УСЛОВИЯ ТРУДА, СПЕЦИАЛЬНАЯ ОЦЕНКА, ВРЕДНЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ФАКТОРЫ, ЗДОРОВЬЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ПК*

**В**едущим направлением государственной политики в области охраны труда является сохранение жизни и здоровья работающих в процессе их трудовой деятельности, что соответствует одному из постулатов Конституции РФ – «Каждый имеет право на труд в условиях, отвечающих требованиям безопасности и гигиены...». В соответствии с чем, Трудовой Кодекс РФ обязывает работодателя обеспечивать условия труда, отвечающие государственным требованиям охраны труда, на каждом рабочем месте.

В настоящее время экспертиза условий труда проводится в соответствии с Федеральным законом от 28.12.2013 № 421-ФЗ «О специальной оценке условий труда» [1]. Специальная оценка условий труда (СОУТ) является единым комплексом последовательно осуществляемых мероприятий по идентификации вредных и (или) опасных факторов производственной среды и трудового процесса, а также по оценке уровня их воздействия на работника с учетом отклонения их фактических значений от гигиенических нормативов. Идентификация факторов производственной среды осуществляется в соответствии с «Классификатором вредных и (или) опасных производственных факторов» [2].

Анализ правил, методик и процедур проведения СОУТ, а также классификатора вредных и

опасных факторов позволил сделать вывод, что на ряде рабочих мест влияние условий труда, как совокупность факторов производственной среды и трудового процесса на здоровье работающего не может быть оценено полностью.

Так, например, к содержащемуся в «Классификаторе ...» [2] производственному фактору «Неионизирующие излучения» дается ссылка, о том, что на рабочих местах, где работники исключительно заняты на персональных компьютерах (ПК) и (или) эксплуатируют аппараты копировально-множительной техники настольного типа, используемые периодически для нужд самой организации, и иную офисную организационную технику этот фактор не учитывается.

Вместе с тем ПК широко используются во всех организациях, в т. ч. в качестве вспомогательного средства обработки информации. Внедрение компьютерных технологий принципиально изменило характер труда специалистов, а, следовательно, и требования к организации и охране труда. Работники, использующие компьютерную технику, на своем опыте оценили ее громадные возможности, при этом возникла определенная беспечность при ее эксплуатации. В то же время проблема безопасности ПК является многогранной и включает различные аспекты влияния комплекса специфических факторов на организм человека.

В настоящее время в медицине разрабатывается направление, связанное с изучением общих регуляторных нарушений, а не с локальными эффектами от воздействия специфического фактора ПК. Показано, что работа с ПК приводит к изменению гормонального статуса и влияет на газообмен. В результате проведенных физиологических экспериментов установлено, что при работе на ПК происходит активизация вегетативной нервной системы, причем количество жалоб связано со степенью ее выраженности. На основании этого было выдвинуто предположение, что при работе с ПК в первую очередь меняется состояние регуляторных центров, вследствие чего развиваются вторичные нарушения на уровне различных органов и систем.

Результаты исследований установили высокую распространенность заболеваний среди работников, чья профессиональная деятельность была связана с работой на ПК. Распространенность заболеваний на 1000 человек в группе пользователей ПК, выявленная по результатам целевого медицинского осмотра, превышала популяционные уровни в 2,6 раза, а значения соответствующего показателя контрольной группы – в 1,2 раза. Достоверно высокие риски, связанные с использованием видеодисплейных терминалов (ВДТ), составили 1,66 (от 1,39 до 1,98) для психических расстройств и расстройств поведения, 1,69 (1,41 – 2,01) для болезней нервной системы, 2,09 (от 1,65 до 2,64) для болезней костно-мышечной системы и соединительной ткани.

Люди, работающие на ПК, испытывают неприятные ощущения в области глаз, определяемые как проявления астенопии. Под этим термином понимаются, прежде всего, зрительные симптомы, например, пелена перед глазами, неясные очертания предметов. Второй компонент этого понятия – глазные симптомы: ощущение усталости глаз, дискомфорта или боли, повышение температуры тела. По данным обширных исследований, частота астенопии у пользователей ПК в разное время работы составляет от 40 до 90%, а ежедневно – от 10 до 40%.

Данные изменения в зрительной системе связаны с тем, что экранное изображение информации на дисплее отличается от бумажного изображения рядом особенностей: оно самосветящееся, имеет значительно меньший контраст; состоит из отдельных точек-пикселей; мерцающее, не имеет таких границ как на бумаге. Именно эти особенности создают затруднение работы аккомодационного аппарата глаза.

Также неблагоприятным фактором для

здоровья пользователей ПК является статический режим работы. Эта характерная особенность сопровождается тем, что большинство групп мышц у работающих за ПК находится в постоянном напряжении, что способствует развитию патологических изгибов позвоночника. Так как эта работа носит малоподвижный характер и нередко осуществляется в течение достаточно продолжительного времени, то часто вызывает жалобы на мышечный дискомфорт: боли в области шеи, плечевых суставов, спины. Однако данные об динамометрических исследованиях нагрузки на опорно-двигательный аппарат у взрослых пользователей отсутствуют. Изучение нагрузки становых мышц у подростков показало следующее. Остисто-крестцовая мышца при работе на ПК испытывает увеличение нагрузки на уровне 8,5 %, а трапецевидная – 13,5% от максимальной произвольной силы этих мышц, что соответствует значительной нагрузке на нервно-мышечный аппарат.

Значительное количество движений рук при работе на клавиатуре (количество движений может достигать 60-80 тыс.) приводит к утомлению, переутомлению и развитию профессионального заболевания – карпального туннельного синдрома [3].

По данным физиологов труда [3] такие нарушения происходят в результате недостаточного восстановления работоспособности организма в периоды между работой на ПК. Скорость процессов восстановления и быстрота смены фаз восстановительного периода зависят от интенсивности предшествующей деятельности. Чем интенсивнее и короче была работа до утомления, тем выше скорость восстановления. После медленно развивающегося утомления восстановление происходит тоже медленно, так как локальная работа кистями рук характеризуется небольшими величинами, но выполняется достаточно длительно, то и восстанавливается медленно. При этом неблагоприятные сдвиги суммируются, переходят в переутомление, являющееся, по сути дела, предпатологическим состоянием нервно-мышечного аппарата рук.

Неблагоприятное влияние работы на ПК на костно-мышечную систему связано с действием следующих факторов:

- длительная статическая нагрузка в условиях дополнительного сочетанного влияния комплекса специфических факторов ВДТ;
- нерациональная с эргономической точки зрения рабочая поза;
- зрительно напряженная работа;
- сопутствующие стрессовые нагрузки;

- большое количество однообразных движений с участием мелких групп мышц (мышцы кисти, предплечья);

- неоптимальный с гигиенической точки зрения режим работы и отдыха;

- отсутствие контроля использования эффективных профилактических средств снятия психоэмоционального и статического напряжения и стресса.

Практически все исследователи отмечают, что работа с использованием ПК приводит к напряжению центральной нервной системы. Отмечается также появление других сопутствующих и поведенческих симптомов. Частота психических расстройств в виде тревоги, раздражительности, подавленности у операторов компьютеров колеблется от 25 до 70%. Нарушения сна обнаруживались у 15 – 45% операторов.

Работа на ПК является фактором риска нарушений сердечно - сосудистой системы. Уменьшение вариативности сердечного ритма, повышение тонуса периферических сосудов и ухудшение условий кровообращения с развитием хронической тканевой гипоксии, а также развитие системных гемодинамических изменений по гиперкинетическому типу, связанные с работой за ВДТ, создают неблагоприятный фон, способствующий повышению сердечно - сосудистой заболеваемости.

Важной характеристикой для оценки риска здоровью пользователя ПК является изучение индивидуальной чувствительности организма к воздействию факторов риска. Однако исследований, посвященных изучению связи между конституциональными факторами и риском для здоровья при работах с устройствами отображения информации (ВДТ всех типов) немного.

Сегодня мы являемся участниками полной компьютеризации многих сторон жизни страны, перевода на новую ступень технической вооруженности. В любых современных организациях (предприятиях) значительное количество рабочих мест оснащены персональными компьютерами, в частности, такие подразделения как отделы кадров, экономические, рабочие места секретарей, референтов имеются везде. Кроме того, можно привести довольно значительный перечень профессий, где при выполнении служебных обязанностей необходимо использование ПК.

Как уже отмечалось, при специальной оценке условий труда эти рабочие места оцениваются по производственным факторам, входящих в «Классификатор ...», за исключением воздействия на пользователя специфических

факторов работы за ПК. В то же время согласно п. 13.1 Санитарных правил 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы» лица, работающие с ПЭВМ более 50% рабочего времени (профессионально связанные с эксплуатацией ПЭВМ), должны проходить обязательные предварительные при поступлении на работу и периодические медицинские осмотры в установленном порядке. Такой порядок утвержден приказом Минздравсоцразвития РФ от 12.04.2011 г. № 302н «Об утверждении перечней вредных и (или) опасных производственных факторов и работ, при выполнении которых проводятся обязательные предварительные и периодические медицинские осмотры (обследования), и Порядка проведения обязательных предварительных и периодических медицинских осмотров (обследований) работников, занятых на тяжелых работах и на работах с вредными и (или) опасными условиями труда» [4].

Кроме того, в Приказе № 302 н содержится такой вредный производственный фактор, как электромагнитное поле широкополосного спектра частот от ПЭВМ под воздействием которого находится пользователь ПК.

В соответствии с пунктом 4 «Классификатора...» «Тяжесть трудового процесса» идентифицируется как вредный и (или) опасный фактор только на рабочих местах, на которых работниками осуществляется выполнение обусловленных технологическим процессом (трудовой функцией) работ по поднятию и переноске грузов вручную, работ в вынужденном положении или положении «стоя», при перемещении в пространстве.

Для работающих за ПК характерно нахождение в нерациональной с эргономической точки зрения рабочей позе и осуществление большого количества однообразных движений с участием мелких групп мышц (мышцы кисти, предплечья). Однако эта длительная статическая нагрузка в условиях дополнительного сочетанного влияния комплекса специфических факторов ВДТ на пользователя ПК по «Классификатору...» не идентифицируется.

В соответствии с Санитарными правилами 2.2.2/2.4.1340-03 этот вид трудовой деятельности относится к 3 категории тяжести и напряженности работы с ПЭВМ для группы Б - по суммарному числу считываемых или вводимых знаков за рабочую смену, но не более 40000 знаков за смену [5].

Из вышесказанного следует, что работа сотрудников с использованием персональных

электронно-вычислительных машин (компьютеров) официально признана оказывающей негативное воздействие на здоровье, то есть является работой, связанной с вредными и (или) опасными условиями труда.

В связи с тем, что по федеральному закону [1] не идентифицируются специфические факторы работы за ПК как вредные, то и профилактических мероприятий по улучшению условий труда пользователя персональным компьютером работодатель может не проводить.

Таким образом, правила проведения СОУТ, при наличии фактического негативного воздействия выше перечисленных производственных факторов на пользователя ПК, позволяют их не идентифицировать, что может способствовать развитию профессиональной патологии. Последняя из-за существующего подхода к оценке условий труда не может быть установлена, что в свою очередь делает недостижимой основную цель охраны труда – сохранение жизни и здоровья человека в процессе трудовой деятельности.

Кроме того, следует отметить, что положения Федерального закона «О специальной оценке условий труда» позволяют работодателю нарушать требования «Трудового кодекса РФ» [6], например, некоторые положения ст. 212 «Обязанности работодателя по обеспечению безопасных условий и охраны труда».

В настоящее время нормативно-правовая база, действующая в области охраны труда, содержит санитарные нормы и правила, устанавливающие гигиенические нормативы прак-

тически для всех производственных факторов. Обязательность выполнения которых утверждается ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» - индивидуальные предприниматели и юридические лица обязаны осуществлять санитарно-противоэпидемические (профилактические) мероприятия по обеспечению безопасных для человека условий труда и выполнению требований санитарных правил.

Одним из направлений в организации работ по улучшению условий труда является проведение гигиенического производственного контроля, процедура которого изложена в санитарных правилах 1.1.1058-01 1.1. «Организация и проведение производственного контроля за соблюдением санитарных правил и выполнением санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий», которые определяют порядок организации и проведения производственного контроля за соблюдением санитарных правил и выполнением санитарно - противоэпидемических (профилактических) мероприятий и предусматривают обязанности юридических лиц и индивидуальных предпринимателей по выполнению их требований.

Данная статья посвящена оценке условий труда пользователей персональным компьютером, но следует отметить, что по этим же причинам на значительном числе рабочих мест экспертиза условий труда не выявит все производственные факторы, негативно воздействующие на здоровье работников.

#### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Российская Федерация. Законы. Федеральный закон от 28.12.2013 г. № 426 «О специальной оценке условий труда» [Текст]: федер. закон: по состоянию на 23 июня 2014 г./ М-во юстиции РФ. - М.: Маркетинг, 2014.
2. Методика проведения специальной оценки условий труда, Классификатор вредных и (или) опасных производственных факторов, формы отчета о проведении специальной оценки условий труда и инструкции по ее заполнению [текст]: утв. Приказом Минтруда России от 24.01.2014 № 33н.
3. Кучма, В.Р. Гигиена детей и подростков / В. Р. Кучма.- М.: ГЭОТАР-Медиа, 2008. - 473 с.
4. Приказ Минздравсоцразвития РФ от 12.04.11 № 302н «Об утверждении перечней вредных и (или) опасных производственных факторов и работ, при выполнении которых проводятся обязательные предварительные и периодические медицинские осмотры (обследования), и Порядка проведения обязательных предварительных и периодических медицинских осмотров (обследований) работников, занятых на тяжелых работах и на работах с вредными и (или) опасными условиями труда» (в ред. Приказа Минздрава России от 15.05.13 № 296н).
5. СанПиН 2.2.2/2.4 1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы [текст]: санитарные нормы и правила : утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 30 мая 2003 г.: - дата введ. 30 июня 2003 г. - М. : ГУП ЦПП, 2003.
6. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30 декабря 2001 года № 197-ФЗ (в ред. 31.12.2014) [электронный ресурс].- Режим доступа: <http://www.consultant.ru/popular/tkrf/>.

ASSESSMENT ASPECTS OF WORKING  
CONDITIONS WHEN WORKING WITH OFFICE  
EQUIPMENT


**Zubareva V.A., Polyak L.M.**

*Harmful industrial factors are described and characteristics of their impact on the personal computer (PC) user's health are given. The contradictions in the regulation documents in force in the field of occupational safety in particular the expertise of the working conditions are stressed.*

**Key words:** LABOUR CONDITIONS, SPECIAL ASSESSMENT, HARMFUL INDUSTRIAL FACTORS, PC USER'S HEALTH

*Зубарева Вера Андреевна  
e-mail: kemmaneb@rambler.ru*

*Поляк Людмила Михайловна  
e-mail: plm01061946@mail.ru*



**НИИ ГОРНОСПАСАТЕЛЬНОГО ДЕЛА**

*Безопасность горняков  
- наша работа*

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

**Экспертиза промышленной  
безопасности**

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

**Аэрологическая съемка рудничной  
и промышленной атмосферы**

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

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



**В.П. Баскаков**

канд. техн. наук, генеральный директор АО «НЦ ВостНИИ»



**В.Г. Игишев**

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

УДК: 622.822.22.

## ЗАЩИТА ШАХТ ОТ САМОВОЗГОРАНИЯ УГЛЯ. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

*Выполнен анализ разделов «термины и их определения» новых нормативных документов, регламентирующих защиту шахт от самовозгорания угля. Установлено несоответствие отдельных терминов основным понятиям пожарной безопасности, научному обоснованию путей решения проблемы и практике обнаружения и тушения эндогенных пожаров. Предложено гармонизировать термины при разработке Федеральной «Инструкции по предупреждению и тушению эндогенных пожаров в угольных шахтах».*

*Ключевые слова: ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ, САМОВОЗГАРАНИЕ УГЛЯ, ТЛЕНИЕ, СКЛОННОСТЬ ШАХТОПЛАСТА К САМОВОЗГАРАНИЮ, ЭНДОГЕННАЯ ПОЖАРООПАСНОСТЬ ВЫЕМОЧНОГО ПОЛЯ, ИНКУБАЦИОННЫЙ ПЕРИОД САМОВОЗГАРАНИЯ УГЛЯ*

**В** 2012–2014 гг. Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору введён в действие ряд нормативных документов, регламентирующих меры защиты шахт от самовозгорания угля [1, 2, 3, 4, 5]. Эффективность этих мер достигается при однозначности их восприятия и применения на стадиях проектирования, строительства и контроля за эксплуатацией угольных шахт.

Необходимая однозначность обеспечивается в условиях гармоничности используемых терминов и определений основных понятий пожарной безопасности в самих нормативных документах. Проиллюстрируем это утверждение терминами «склонность угля к самовозгоранию», «склонность шахтопласта<sup>1</sup> к самовозгоранию», «эндогенная пожароопасность выемочного поля» и «инкубационный период самовозгорания угля».

**Склонность угля к самовозгоранию** – это природная способность угля возгораться при отработке пластов, хранении, транспортировке и переработке в результате реакции окисления кислородом воздуха, сопровождающейся выделением тепла.

<sup>1</sup> Шахтопласт – часть угольного пласта в пределах горного отвода шахты.

Генерация тепла является следствием превращения химической энергии угля в тепловую. Химическая активность угля при окислении на воздухе оценивается по константе скорости сорбции кислорода ( $U_{25}$ , мл/г·ч). По этому показателю для фракции (-3 +1) мм угли разделяются на три группы:

- мало опасные (антрациты) – менее 0,015;
- умеренно опасные (каменные) – 0,015 – 0,080;
- опасные (бурые) – более 0,080.

Согласно [6] самовозгораются угли всех марок. Наиболее часто самовозгораются бурые угли, имеющие высокую химическую активность. Случаи самовозгорания антрацита редки и приурочены к местам внезапных выбросов и хранения в штабелях.

Экзотермический эффект окисления обуславливает самовозгорание каменных углей Кузбасса всех марок. С учётом этого положения в бассейне с 1998 г. склонность угля к самовозгоранию не определялась. Введённая с 01.05.1998 г после утверждения Госгортехнадзором России и Минтопэнерго РФ «Методика оценки склонности шахтопластов угля к самовозгоранию», опубликована в [7], учитывала лишь химическую активность угля.



В противовес утверждению о самовозгорании углей всех марок в «Инструкции ...» [4] проведено их категорирование с выделением группы не склонных к самовозгоранию (весьма склонные, склонные, не склонные). К числу последних отнесены угли с инкубационным периодом самовозгорания более 80 суток. Следует отметить, что подобное категорирование не соответствует практическим данным. В частности в Донбассе имело место самовозгорание скопления антрацита через 3,5 месяца после выброса около 500 т угля в откаточном штреке [8].

Характерен тот факт, что ни в одном из указанных нормативных документов в разделе «терминология» нет термина склонность угля к самовозгоранию и его определения. Соответственно в них нет и классификации мер профилактики, которые регламентировали бы обозначенное категорирование углей по склонности к самовозгоранию. Поэтому п. 4 в дальнейшем следовало бы убрать из «Инструкции...» [4].

В настоящее время эндогенная пожаробезопасность шахт может быть обеспечена за счёт постоянного научного сопровождения с оценкой эффективности применения методов прогноза и профилактики пожаров, которые определены в нормативах [1, 2, 3, 4, 5] терминами «склонность шахтопласта к самовозгоранию», «эндогенная пожароопасность выемочного поля» и «инкубационный период самовозгорания угля».

**Склонность шахтопласта угля к самовозгоранию** характеризует потенциальную опасность возникновения эндогенных пожаров при его отработке. По склонности к самовозгоранию шахтопласты в [5] делятся на две категории: склонные и не склонные. Первая из них обозначена нормативными требованиями профилактики. Вторая подразумевается по их отсутствию.

В Кузбассе ежегодно в работе находятся 175 шахтопластов. Из них 124 шахтопласта относятся к склонным к самовозгоранию. В категорию не склонных к самовозгоранию – 51 шахтопласт.

Практический смысл разделения угольных пластов по склонности к самовозгоранию сводится к тому, чтобы с высокой степенью надёжности обосновать необходимость реализации мер по предупреждению эндогенных пожаров. Из-за их большой стоимости весьма значимым представляется выделение шахтопластов категории не склонных к самовозгоранию. Оно позволяет, например, отказаться от проходки полевых вскрывающих выработок при строительстве и реконструкции шахт.

Химическая активность углей Кузбасса,

как правило, изменяется в узких пределах 0,03–0,05 мл/г·ч. Поэтому при отнесении шахтопластов к категории не склонных к самовозгоранию в качестве критерия достаточно использовать фактор отсутствия эндогенных пожаров на исследуемой и граничащих с ней шахтах. Данный принцип реализуется в Кузбассе с 1998 г. Его надёжность контролируется при ежегодном утверждении списка обрабатываемых шахтопластов угля с указанием их категории склонности к самовозгоранию.

Однако выделение не склонных к самовозгоранию и объединение в категорию склонных к самовозгоранию шахтопластов, на которых эндогенные пожары имели место, не полностью решают вопрос обоснованного выбора видов и объёмов профилактических работ. В Прокопьевско-Киселёвском районе Кузбасса, например, около 70 % эндогенных пожаров возникли на трёх шахтопластах, отнесённых к категории склонных к самовозгоранию (Мощный, Горелый, IV Внутренний). Данный пример иллюстрирует необходимость оценки эндогенной пожароопасности части шахтопласта – выемочного поля.

**Эндогенная пожароопасность выемочного поля** характеризуется вероятностью возникновения и развития эндогенных пожаров, оцениваемой по значениям влияющих факторов. К числу последних относятся: мощность и угол падения пласта, наличие пожаров в граничных полях, наличие наносов и горелых пород на выходах пласта, скорость отработки поля по простиранию, потери угля, количество подаваемого воздуха и другие.

Число влияющих факторов и степень их влияния на пожароопасность не одинаковы для условий различных месторождений.

Вероятность возникновения эндогенного пожара в выемочном поле на пластах крутого и крутонаклонного падения определяется по уравнению:

$$P = 0,5 + \Phi[(X - a)/\sigma], \quad (1)$$

где  $\Phi$  – интегральная функция Лапласа.

Величина безразмерного вектора  $X$  находится по зависимости

$$X = n^{-1} \sum_{i=1}^n P_i \quad (2)$$

где  $n$  – число учитываемых факторов;

$P_i$  – частота возникновения по каждому фактору.

Методика вычисления параметров  $a$  и  $\sigma$  для проектируемых и действующих выемочных полей изложена в [9]. Частоты пожаров в интервалах изменения отдельных из учитываемых количественных и качественных факторов приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Распределение пожарных и непожарных выемочных полей в интервалах изменения мощности пласта

| Мощность пласта, м | Число полей |               | $P_i=m/n$ |
|--------------------|-------------|---------------|-----------|
|                    | всего, $n$  | пожарных, $m$ |           |
| менее 2            | 330         | 1             | 0,003     |
| 2 – 4              | 370         | 17            | 0,046     |
| 4 – 6              | 206         | 33            | 0,160     |
| 6 - 8              | 108         | 35            | 0,324     |
| 8 – 10             | 89          | 35            | 0,393     |
| 10 – 12            | 64          | 32            | 0,500     |
| более 12           | 60          | 32            | 0,533     |

Таблица 2 – Частота возникновения пожаров в выемочных полях при наличии или отсутствии сближенных пластов в кровле

| Сближенные пласты в кровле | Число полей |               | $P_i=m/n$ |
|----------------------------|-------------|---------------|-----------|
|                            | всего, $n$  | пожарных, $m$ |           |
| есть                       | 905         | 152           | 0,168     |
| нет                        | 322         | 33            | 0,102     |

По степени эндогенной пожароопасности на крутых и крутонаклонных пластах, отнесённых к склонным к самовозгоранию, выемочные поля разделены на 3 категории: первая (малоопасная) при вероятности возникновения пожара менее 0,049; вторая (опасная) – при  $P=0,049-0,192$ ; третья (особо опасная) – при  $P > 0,192$ . Фактические частоты возникновения эндогенных пожаров в пределах каждой категории полей составляют: первая – 0,010; вторая – 0,151; третья – 0,432.

Прогнозируемая вероятность, рассчитанная по уравнению (1), характеризует степень риска возникновения аварий типа «эндогенный пожар». Возможности управления этим риском можно оценить по снижению частоты возникновения пожаров при реализации мер профилактики в пределах выемочных полей каждой из трёх категорий. В частности, при времени отработки выемочных полей третьей категории не более 6 месяцев частота пожаров не превышает 0,050. В случае увеличения времени отработки до 18 месяцев частота пожаров возрастает до 0,539.

Уменьшение эндогенной пожароопасности выемочных полей на практике достигается при реализации общетехнических и специальных мер профилактики. К числу последних следует отнести управление кровлей полной или частичной закладкой, заиливание выработанного пространства глинистой пульпой, объёмную или объектную инертизацию атмосферы в местах формирования скоплений угля и угольной пыли, непрерывный (от начала ведения горных работ)

дистанционный мониторинг признаков самонагревания угля и др.

Эффективность мер профилактики, наряду со снижением частоты возникновения пожаров в группе полей, где они применяются, оценивается также по инкубационному периоду самовозгорания углей.

**Инкубационный период самовозгорания угля**, согласно терминологическому словарю [10], характеризует время скрытой стадии самовозгорания, предшествующей его переходу в возгорание. Его продолжительность зависит от «...естественной склонности к окислению кислородом воздуха (химической активности) и от внешних условий ...». В инструкциях [1,4] термин «инкубационный период самовозгорания» определён как время нарастания температуры от естественной до критической, равной 90-130 °С. В [4] данный период обозначен как «ранняя стадия эндогенного пожара». Длительность периода (сутки) в условиях адиабатического процесса окисления угля оценивается по зависимости:

$$\tau_{\text{инк}} = \frac{C_y (T_{\text{кр}} - T_0) + 0,6\lambda \cdot W_0 / 100 + q_d X_0}{24\alpha \cdot K^{0,45} C_{O_2} \cdot q_{O_2}}, \quad (3)$$

где  $C_y$  – теплоёмкость угля, Дж/(кг °С);

$T_{\text{кр}}$  – критическая температура самовозгорания угля, °С;

$T_0$  – начальная температура скопления угля, °С;

$\lambda$  – скрытая теплота испарения воды, кал/г;

$W_0$  – начальная влажность угля, %;

$q_d$  – удельная теплота десорбции метана кал/мл;

$X_0$  – природная метаноносность, мл/г;

$\alpha$  – коэффициент усвоения кислорода воздуха;  
 $K$  – константа скорости сорбции кислорода углем, м<sup>3</sup>/(кг с);

$C_{O_2}$  – концентрация кислорода на входе в угольное скопление, доли единицы;

$q_{O_2}$  – удельная теплота сорбции кислорода воздуха углем, кал/мл.

В «Положении об аэрогазовом контроле ...» [2] «ранней стадией возникновения пожара» обозначена стадия тления или термического разложения материала. Тление – беспламенное горение твёрдого вещества, обычно опознаваемое по появлению дыма. Температура тления – температура материала, при которой происходит резкое увеличение экзотермической реакции окисления, заканчивающееся возникновением тления [11].

Сравним критическую температуру самовозгорания (90°C) и температуру тления для угля марки «Д». Температура тления пыли угля марки «Д» в состоянии аэрогеля (осевшая пыль) равна 149°C. Превышение температуры тления над критической температурой самовозгорания угля марки «Д» составляет 59 °С. Подстановка более высокой температуры  $T_{кр}$  в уравнение (3) приведёт к увеличению инкубационного периода самовозгорания.

Однако имеющиеся расхождения в терминологии и значениях критической температуры не замыкают перечень тех недостатков, которые снижают эффективность использования этого понятия для защиты выемочных полей от самовозгорания угля. В нормативе [4] отсутствует требование, регламентирующее начало отсчёта времени инкубационного периода. В [6] его предложено отсчитывать от начала работ в выемочном поле. Инкубационный период в таком случае разбивается на две стадии. На первой стадии в отработанной части поля за определённый промежуток времени формируется геометрически компактная масса угля, в которой скорость генерации тепла начинает превышать скорость его отвода [12]. Длительность второй стадии определяется по уравнению (3).

В этом случае очевидна рекомендация профилактики эндогенных пожаров путём секционирования выработанного пространства на части, в которых инкубационный период каждый раз увеличивается за счёт времени формирования пожароопасного скопления угля.

В практике отработки пластов угля в шахте, его хранении и транспортировке на поверхности имеют место случаи, когда время формирования скоплений известно. К их числу относятся внезапные выбросы и обрушения в подготови-

тельных выработках, невыгруженные камеры, бункера-накопители, железнодорожные вагоны, морские суда. Фактическое возгорание угля при внезапных выбросах происходит через 15 – 105 суток. В подготовительных выработках при обрушении кровли, представленной углем, эндогенные пожары фиксируются через 5 – 6 месяцев. При транспортировке угля в железнодорожных вагонах из Кузбасса в Европу и на Дальний Восток имеют место его самовозгорания через 14 – 20 суток после отгрузки.

В «Инструкции ...» [4] инкубационный период используется в качестве критерия для оценки склонности угля к самовозгоранию. Согласно [4] при инкубационном периоде более 80 суток уголь считается не склонным к самовозгоранию. Данное требование входит в противоречие с современными научными представлениями по рассматриваемой проблеме [6, 7, 9, 12].

Как указано выше, самовозгораются угли всех марок. Поэтому п. 477 «Правил безопасности...» [5] требует оценки склонности к самовозгоранию не угля, а пластов, отработанная часть которых играет роль бункеров-накопителей. Некорректность отнесения к не склонным к самовозгоранию углей с инкубационным периодом более 80-ти суток подтверждается практикой.

Таким образом, отдельные термины и определения, используемые в новых нормативных документах, регламентирующих защиту шахт от самовозгорания угля, не соответствуют современным научным представлениям и практическим данным:

- в противовес положению о том, что уголь любой марки может самовозгореться в условиях добычи, хранения и перевозки в «Инструкции ...» [4] при инкубационном периоде самовозгорания более 80 суток требуется считать его не склонным к самовозгоранию;

- ранней стадией эндогенного пожара в [1, 4] предложено считать стадию самовозгорания (инкубационный период) критической температурой 90 – 130°C. В «Положении...» [2] ранней стадией возникновения пожара обозначена стадия тления угля, температура которой превышает критическую на 59°C (марка «Д»);

- в нормативах не определена нижняя граница времени отсчета инкубационного периода. Предлагаемое в [4] аналитическое решение его продолжительности не учитывает время формирования пожароопасного скопления после начала работ по выемке угля;

- в «Инструкции...» [3] приведены термин и определение «эндогенной пожароопасности

выемочного поля (шахты)». Методика её прогноза в Кузбассе разработана в 1973 г. для пластов крутого и крутонаклонного падения. Она устарела и не вписывается в многофункциональную систему безопасности шахты т. к. в ней нет критериальной оценки допустимого риска<sup>2</sup> и не обозначены пути его достижения.

Методика прогноза эндогенной пожароопасности выемочных полей, отрабатывающих пологие и наклонные пласты угля, в России не разработана.

### Выводы

1. Термины и определения основных понятий защиты шахт от самовозгорания угля, обозначенные в нормативных документах [1, 2, 3, 4, 5], следует гармонизировать как по тексту самих документов, так и в части их соответствия основным положениям теории и практики борьбы с эндогенными пожарами при добыче, хранении, переработке и транспортировании угля.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Инструкция по применению схем проветривания выемочных участков шахт с изолированным отводом метана из выработанного пространства с помощью газоотсасывающих установок / Нормативные документы в сфере деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору.- Сер. 05.- Вып. 21.-М.: НТЦ ПБ, 2012.- 125 с.

2. Положение об аэрогазовом контроле в угольных шахтах / Нормативные документы в сфере деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору.- Сер. 05.- Вып. 23.-М.: НТЦ ПБ, 2012.- 106 с.

3. Инструкция по прогнозу, обнаружению, локации и контролю очагов самонагревания угля и эндогенных пожаров в угольных шахтах / Нормативные документы в сфере деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору.- Сер. 05.- Вып. 28.-М.: НТЦ ПБ, 2013.- 16 с.

4. Инструкция по определению инкубационного периода самовозгорания угля / Нормативные документы в сфере деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору.- Сер. 05.- Вып. 38.-М.: НТЦ ПБ, 2013.- 20 с.

5. Правила безопасности в угольных шахтах / Нормативные документы в сфере деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору.- Сер. 05.- Вып. 40.-М.: НТЦ ПБ, 2014.- 196 с.

6. Веселовский, В. С. Самовозгорание промышленных материалов / В. С. Веселовский [и др].- М.: Наука, 1964.-246 с.

7. Горбатов, В. А. Защита угольных шахт от самовозгорания угля / В. А. Горбатов, В. Г. Игишев, В. Б. Попов [и др].- Кемерово: Кузбассвуиздат, 2001.- 132 с.

8. Саранчук, В. И. Теоретические основы самовозгорания угля / В. И. Саранчук, Х. А. Баев. - М.: Недра, 1976.-150 с.

9. Игишев, В.Г. Борьба с самовозгоранием угля в шахтах / В. Г. Игишев. - М.: Недра, 1987.-177 с.

10. Лидин, Г. Д. Горное дело: Терминологический словарь / Г. Д. Лидин, Л. Д. Воронина, Д. П. Каплунов [и др.]- М.: Недра, 1990.-694 с.

11. Межгосударственный стандарт. ГОСТ 12.1.033-81. (ИСО 4589-84). Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения[Текст]; введ. 01.01.91, ред. от 26.08.1983

12. Кольцов, К. С. Самовозгорание твёрдых веществ и материалов и его профилактика / К. С. Кольцов, Б. Г. Попов.- М.: Химия, 1978.- 160 с.

<sup>2</sup> Риск – сочетание вероятности возникновения риска (пожара) и причиняемого им ущерба.

Гармонизация может быть выполнена при разработке на Федеральном уровне «Инструкции по предупреждению и тушению эндогенных пожаров в угольных шахтах».

2. Необходимо разработать единую методику оценки эндогенной пожароопасности выемочных полей, учитывающую специфику ведения горных работ на склонных к самовозгоранию шахтопластах в последние годы: высокие нагрузки и скорости подвигания очистных работ, до 200 м/мес. и более, и преодоление «газового барьера» путём отвода части струи по выработанному пространству с формированием скоплений угольной пыли. При использовании рискоориентированного подхода такая методика может быть интегрирована в многофункциональную систему безопасности шахт.

MINE PROTECTION FROM COAL SELF-IGNITION.

TERMS AND DEFINITIONS

**Baskakov V.P., Igishev V.G.**

*Analysis of «Terms and their definitions» Sections of new regulations governing the protection of spontaneous combustion of coal mines is fulfilled. The non-correspondence of individual terms to the basic concepts of fire safety, to scientific substantiation of ways to solve problems and of detection and suppression of endogenous fires practice is detected. It is suggested to harmonize the terms when developing the Federal «Regulations for prevention and suppression of endogenous fires in underground mines».*

**Key words:** TERMS AND DEFINITIONS, COAL SPONTANEOUS COMBUSTION, SMOULDERING, COALSEAM PRONENESS TO SPONTANEOUS COMBUSTION, EXTRACTION COALFIELD ENDOGENOUS FIRE DANGER, COAL SPONTANEOUS COMBUSTION INCUBATION PERIOD

*Баскаков Владимир Петрович  
e-mail: vp.baskakov@yandex.ru*

*Игисhev Виктор Григорьевич*



**Н.М. Шаулева**

канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева»



**И.А. Лобур**

канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева»



**А.А. Дружинин**

канд. техн. наук, и. о. генерального директора ОАО «НИИГД»

УДК 622:621.311.019.3

## **О ВЛИЯНИИ КВАЛИФИКАЦИИ ОБСЛУЖИВАЮЩЕГО ПЕРСОНАЛА НА НАДЕЖНОСТЬ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ УГОЛЬНЫХ РАЗРЕЗОВ**

*Приведены результаты исследования влияния уровня квалификации и стажа работы обслуживающего персонала на надежность систем электроснабжения угольных разрезов.*

*Ключевые слова: ПЕРСОНАЛ, НАДЕЖНОСТЬ, УГОЛЬНЫЕ РАЗРЕЗЫ, СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, КОРРЕЛЯЦИЯ, РЕГРЕССИЯ*

**Б**есперебойная подача напряжения питания потребителям позволяет обеспечить не только производительную работу разрезов, но и способствует поддержанию высокого уровня безопасности ведения горных работ. При разработке мероприятий, направленных на повышение надежности систем электроснабжения (СЭС), необходимо располагать результатами анализа факторов, оказывающих влияние на безаварийную работу распределительных сетей разрезов.

Высокий уровень надежности систем электроснабжения и их элементов – один из решающих факторов, обеспечивающих эффективность использования горной техники.

Анализ аварийных отключений в распределительных сетях угольных разрезов Кузбасса

показал [1], что большинство из них происходит по причинам неправильной эксплуатации электрических сетей, низкого уровня профилактических работ, из-за воздействия погодноклиматических и других факторов, в числе которых квалификация и стаж работы обслуживающего персонала.

Квалификационный состав персонала, обслуживающего распределительные сети угольных разрезов, входящих в состав ОАО «УК «Кузбассразрезуголь»» имеет следующее распределение:

- со средним общим образованием 30,1 %;
- с начальным профессиональным образованием 13,7 %;
- со средним профессиональным образо-

ванием 34,3 %;  
– с высшим профессиональным образова-  
нием 21,9 %.

При этом разряды с третьего по четвертый имеют 67 %, а пятый и шестой – 33 % сотрудни-  
ков. Третью и четвертую группу допуска имеют 65 % электрослесарей.

Для определения зависимости числа отка-  
зов СЭС разрезов от квалификации обслуживаю-  
щего персонала были сопоставлены статистиче-  
ские данные об отказах в сетях десяти разрезов

ОАО «УК «Кузбассразрезуголь»» с данными по  
квалификации электрослесарей, оцененных по  
системе баллов, приведенной в работе [2]. При  
определении среднего квалификационного бал-  
ла Кср. (табл. 1) учитывались возраст, образова-  
ние, стаж работы общий и по специальности, а  
также квалификационный разряд.

В таблице 2 приведены данные, характе-  
ризующие квалификацию электрослесарей, ко-  
личество отказов системы электроснабжения,  
принятых на одно комплектное распредели-

Таблица 1 – Зависимость среднего квалификационного балла от различных критериев

| Вид оценоч-<br>ного крите-<br>рия    | Критерии оценки/баллы    |                              |                                    |                                  |                                   |            |
|--------------------------------------|--------------------------|------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|------------|
|                                      | Уровень об-<br>разования | Среднее<br>(полное)<br>общее | Начальное<br>профессио-<br>нальное | Среднее<br>профессио-<br>нальное | Высшее про-<br>фессиональ-<br>ное | –          |
| Образова-<br>ние                     | баллы                    | 2                            | 3                                  | 4                                | 5                                 | –          |
|                                      | лет                      | 0-3                          | 3-5                                | 5-10                             | 10-15                             | 15 и более |
| Общий стаж<br>работы                 | баллы                    | 1                            | 2                                  | 3                                | 4                                 | 5          |
|                                      | лет                      | 0-3                          | 3-5                                | 5-10                             | 10-15                             | 15 и более |
| Стаж работы<br>по специаль-<br>ности | баллы                    | 1                            | 2                                  | 3                                | 4                                 | 5          |
|                                      | лет                      | До 25                        | 25-30                              | 30-40                            | 40-50                             | 50 и более |
| Возраст                              | баллы                    | 1                            | 2                                  | 4                                | 5                                 | 3          |
|                                      | уровень                  | 2                            | 3                                  | 4                                | 5                                 | 6          |
| Квалифи-<br>кационный<br>разряд      | баллы                    | 1                            | 2                                  | 3                                | 4                                 | 5          |

Таблица 2 – Влияние квалификации электрослесарей на количество отказов системы электроснабжения

| № п/п                   | Средняя квалификация электрослесарей, Кср. | Количество отказов на один приключательный пункт (КРУ) | Количество отказов на 1 км ВЛ | Количество отказов на 1 км КЛ | Количество отказов на 1 экскаватор | Количество отказов на 10 тыс. т. добычи | Количество отказов на 1 млн кВт·ч |
|-------------------------|--|--|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|---|-----------------------------------|
| 1                       | 4,1  | 1,1  | 3,1                           | 8,0                           | 7,4                                | 0,8                                     | 1,5                               |
| 2                       | 3,9  | 2,9  | 6,8                           | 19,2                          | 6,1                                | 0,9                                     | 5,2                               |
| 3                       | 3,5  | 4,0  | 7,0                           | 21,3                          | 13,2                               | 1,2                                     | 3,9                               |
| 4                       | 3,4  | 3,2  | 9,7                           | 22,3                          | 15,2                               | 1,7                                     | 7,6                               |
| 5                       | 3,8  | 1,6  | 8,4                           | 4,3                           | 13,1                               | 0,3                                     | 2,8                               |
| 6                       | 3,6  | 1,5  | 8,6                           | 9,8                           | 6,1                                | 0,5                                     | 2,9                               |
| 7                       | 4,0  | 1,9  | 6,8                           | 5,0                           | 5,1                                | 0,6                                     | 4,2                               |
| 8                       | 3,9  | 0,2  | 1,6                           | 14,2                          | 12,7                               | 0,4                                     | 1,8                               |
| 9                       | 3,7  | 0,9  | 3,8                           | 16,7                          | 7,2                                | 0,8                                     | 1,3                               |
| 10                      | 3,7  | 4,0  | 6,7                           | 10,4                          | 14,1                               | 1,4                                     | 6,2                               |
| <b>Средние значения</b> | <b>3,7</b>                                 | <b>2,1</b>   | <b>6,3</b>                    | <b>13,1</b>                   | <b>10,0</b>                        | <b>0,8</b>                              | <b>3,7</b>                        |

Таблица 3 – Результаты корреляционного и регрессионного анализа

| Число отказов на единицу | $\bar{x}$ | $\bar{y}$ | Уравнения регрессии           | Корреляционное отношение | Остаточное средне-квадратическое отклонение |
|--------------------------|-----------|-----------|-------------------------------|--------------------------|---|
| одно КРУ                 | 3,7       | 2,1       | $y = -2,7882K_{ср.} + 12,764$ | 0,2803                   | 1,19  |
| км ВЛ                    | 3,7       | 6,3       | $y = -6,6452K_{ср.} + 31,312$ | 0,3298                   | 2,61  |
| км КЛ                    | 3,7       | 13,1      | $y = -16,704K_{ср.} + 76,01$  | 0,3289                   | 6,58  |
| один экскаватор          | 3,7       | 10,0      | $y = -9,7378K_{ср.} + 46,64$  | 0,2983                   | 3,96  |
| 10 тыс. т добычи         | 3,7       | 0,8       | $y = -1,1841K_{ср.} + 5,3136$ | 0,2945                   | 0,48  |
| млн кВт·ч                | 3,7       | 3,7       | $y = -4,6793K_{ср.} + 21,36$  | 0,2475                   | 2,09  |

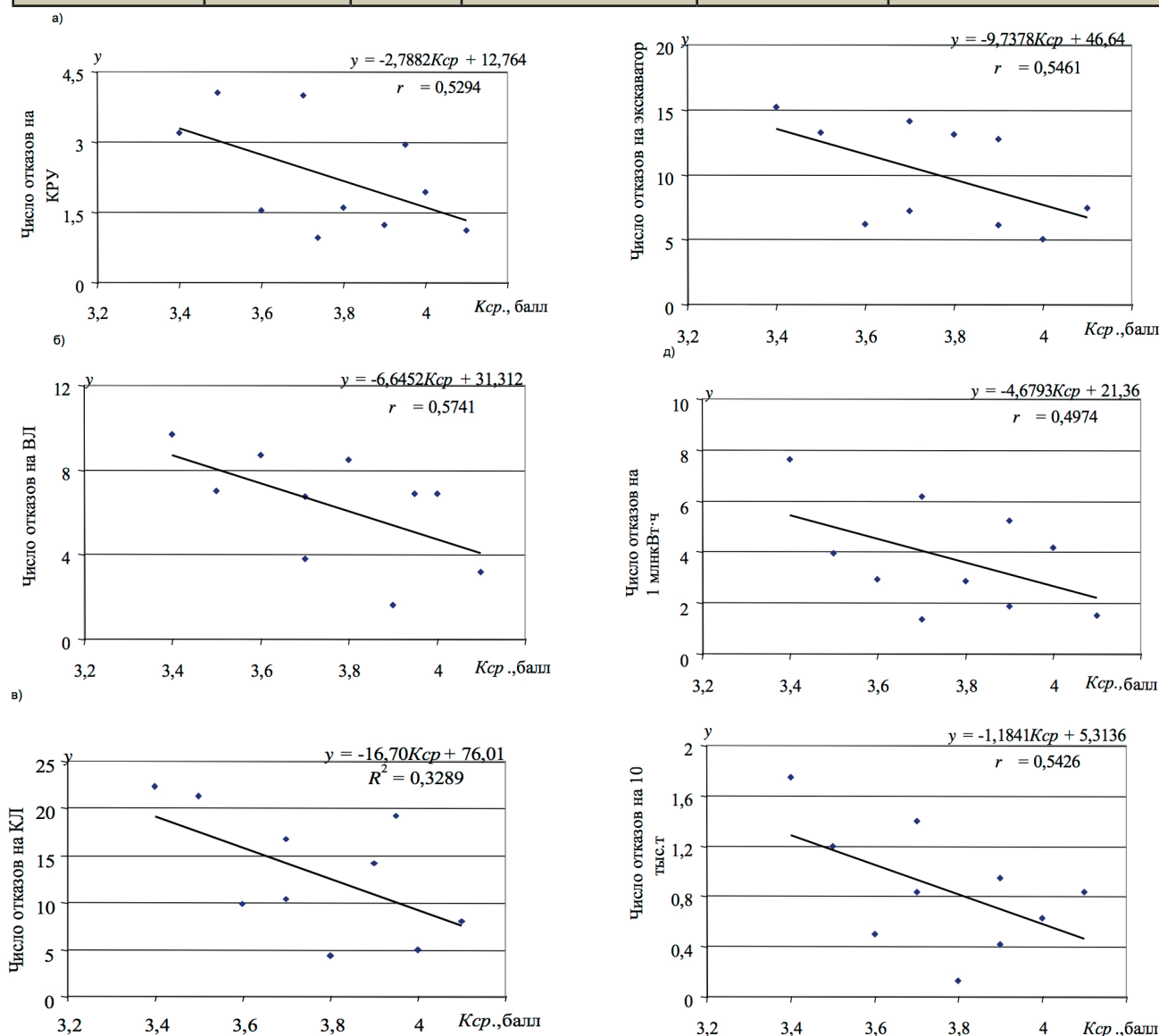


Рисунок 1 – Корреляционные поля и линии регрессии, характеризующие количество отказов системы электроснабжения в зависимости от квалификации обслуживающего персонала, принятых на: а) одно КРУ; б) километр ВЛ; в) километр высоковольтного экскаваторного кабеля; г) один экскаватор; д) млн кВт·ч; е) 10 тыс. т добычи.



тельное устройство (КРУ), километр воздушных линий (ВЛ) и высоковольтного экскаваторного кабеля (КЛ), один экскаватор, млн кВт·ч, 10 тыс. т добычи. Компьютерная обработка статистических данных известными методами позволила выявить зависимость аварийных отключений распределительных сетей 6 кВ разрезов от уровня квалификации обслуживающего их персонала.

В таблице 3 представлены результаты расчетов в виде уравнений регрессии и корреляционных отношений, отражающих тесноту связи между аварийностью СЭС и квалификацией. Наиболее тесная связь выявлена между числом отказов систем электроснабжения разрезов, отнесенная к одному километру воздушной и кабельной линий (коэффициенты корреляции  $r=0,574$  и  $r=0,573$  соответственно).

Относительно низкие значения коэффициентов корреляции (от  $r=0,497$  до  $r=0,574$ ) указывают на то, что аварийность СЭС угольных

разрезов Кузбасса зависит не только от квалификации обслуживающего персонала, но и от ряда других факторов. На рисунке 1 приведены линии регрессии, построенные по данным таблицы 2.

Увеличение добычи угля открытым способом приводит к увеличению парка горнодобывающих машин, росту установленной мощности и соответствующему расширению системы энергоснабжения.

Для обеспечения бесперебойности электроснабжения всех звеньев технологического процесса разрезов необходимо своевременно проводить техническое обслуживание и планово-предупредительные ремонты, профилактические испытания, строго соблюдать правила технической эксплуатации СЭС. Для выполнения всех этих требований необходим обслуживающий персонал, обладающий соответствующим уровнем профессиональной подготовки.

#### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Захарова, А. Г. Оценка показателей надежности элементов систем электроснабжения угольных разрезов / А. Г. Захарова, Н. М. Шаулева // Безопасность жизнедеятельности предприятий в промышленно развитых регионах: Материалы VII Междунар. науч.-практ. конф., Т. 1. – Кемерово, ГУ КузГТУ, 15-16 нояб. 2007. – С. 286–288.

2. Гимельшейн, Л. Я. О влиянии квалификации обслуживающего персонала на надежность шахтного оборудования / Л. Я. Гимельшейн, Б. С. Никешин // Уголь. – 1985. – № 2. – С. 16–18.

ON SKILL LEVEL OF SERVICE STUFF  
INFLUENCE ON RELIABILITY OF OPEN CAST  
COAL MINES POWER SUPPLY SYSTEMS

**Shauleva N.M., Lobur I.A., Druzhinin A.A.**

*The service stuff skill level and period of work influence on reliability of open cast coal mines power supply study results are shown.*

**Key words:** STUFF, RELIABILITY, OPEN CAST COAL MINES, POWER SUPPLY SYSTEMS, CORRELATION, REGRESSION

*Шаулева Надежда Михайловна*  
e-mail: [anaa5283@mail.ru](mailto:anaa5283@mail.ru)

*Лобур Ирина Анатольевна*  
e-mail: [lovuriska@mail.ru](mailto:lovuriska@mail.ru)

*Дружинин Андрей Александрович*  
e-mail: [drujininsnd@mail.ru](mailto:drujininsnd@mail.ru)



## Г.Е. Седельников

заместитель директора НП «Кузбасс-ЦОТ»,  
аспирант ОАО «НЦ ВостНИИ»

УДК 622.864:614.8.01:658.382.3

### ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ ФАКТОР В ОХРАНЕ ТРУДА

*В данной статье рассматривается шкала оценки уровня некомпетентных действий работников в области охраны труда, которую можно использовать совместно с любой из систем оценки рисков, применяемых в конкретных компаниях.*

*Ключевые слова: КОМПЕТЕНТНОСТЬ, КОМПЕТЕНЦИИ, РИСК, УРОВНИ КОМПЕТЕНТНОСТИ, ШКАЛА, ОЦЕНКА*

**Н**аучно-технический прогресс приводит к возрастанию роли техники и технологии в производстве, и вместе с тем все большее значение приобретает человеческий фактор в охране труда. С развитием средств производства многократно возросла «цена ошибки» человека (работника): если раньше он «мог» упасть с лошади на мягкую замелю, то теперь он «может» упасть с небоскреба на твердый асфальт, если раньше, работая в поте лица, промахнувшись киркой он «мог» попасть себе по ноге, то теперь, сидя в кресле, промахнувшись по кнопке он «может» спровоцировать аварию, которая унесет множество жизней. Учитывая все возрастающую роль человеческого фактора в охране труда (ОТ) возникает острая необходимость управления им.

Что же такое человеческий фактор в охране труда?

В науке нет общепринятого определения человеческого фактора, поэтому рассмотрим существующие:

1. Человеческий фактор – это психологические и др. характеристики человека, его возможности и ограничения, определяемые в конкретных условиях его деятельности; причина несчастного случая, аварии, происшествия в результате неправильных действий человека [1].

2. Человеческий фактор в широком смысле – понятие, используемое в социально-экономических дисциплинах для характеристики ком-

плекса факторов, оказывающих определяющее влияние на эффективность общественного производства, связанных с мотивацией, системой ценностей, материальными и духовными условиями существования человека.

В узком смысле – понятие, означающее интегральные характеристики связи человека и технического устройства, проявляемые в конкретных условиях их взаимодействия при функционировании системы эргатической [2].

3. Человеческий фактор – многозначный термин, описывающий возможность принятия человеком ошибочных или алогичных решений в конкретных ситуациях [3].

4. Человеческий фактор – это наука о людях в той обстановке, в которой они живут и трудятся, об их взаимодействии с машинами, процедурами и окружающей обстановкой, а также о взаимодействии людей между собой [4].

Отсутствие единого понимания сущности человеческого фактора, в частности в области охраны труда, на наш взгляд, затрудняет разработку и внедрение механизмов управления им с целью повышения безопасности работ. Для того чтобы дать определение, попробуем разобраться в структуре человеческого фактора.

В «Основных принципах учета человеческого фактора в руководстве по проведению проверок безопасности полетов», принятых в международной организации гражданской авиации, рассматриваются следующие наиболее

важные факторы, оказывающие влияние на работоспособность индивидуума [5]:

а) Физические факторы включают в себя физические возможности в той мере, в которой они связаны с выполнением необходимых задач, такие как сила, рост, способность дотянуться до чего-нибудь, зрение и слух. Конструкционные решения должны учитывать физические различия людей в пределах норм как с точки зрения конструирования физического рабочего места, так и выполняемых задач. Это также требует признания индивидуальных допустимых отклонений в том, что касается перепада температуры, давления, освещения, шумов, вибрации, времени суток и т. д.

б) Физиологические факторы – факторы, влияющие на внутренние физические процессы. Эти факторы часто называются физическими. Например, в начале развития авиации эти факторы были главными при изучении человеческого фактора в целях подготовки людей к полетам на больших высотах во враждебной среде. Существует несколько физиологических факторов, способных оказывать влияние на физическую деятельность людей, такие как наличие кислорода, общее состояние здоровья и физическая форма, питание, болезни или недомогания, употребление табака, наркотиков или алкоголя, личный стресс, усталость, беременность.

в) Психологические факторы – факторы, оказывающие влияние на психологическую готовность к действиям в любых обстоятельствах, которые могут сложиться в ходе полета. Среди них: надлежащая подготовка, знания и опыт, зрительные или вестибулярные иллюзии и рабочая нагрузка. Индивидуальная психологическая подготовленность к выполнению профессиональных задач включает мотивацию, отношение к вызывающему риск поведению, уверенность в себе, стресс и т. д. Каждый из этих факторов влияет на эффективность суждений, умение поддерживать общение и принимать решения, а также на способность правильно действовать в аварийных ситуациях. Существует разница в допустимых отклонениях с учетом таких физиологических факторов, как скука, стресс и неопределенность.

г) Психосоциальные факторы включают в себя все внешние факторы социальной системы индивидуума, действующие как в рабочей, так и в нерабочей среде, которые вызывают дополнительную нагрузку, например ссора с начальником, трудовые конфликты, смерть члена семьи, личные финансовые и другие семейные проблемы. Эти психосоциальные факторы могут вли-

ять на подход к рабочей ситуации, способность преодолевать стресс и действовать в случае возникновения непредвиденных обстоятельств.

Рассмотрим структуру человеческого фактора с точки зрения требований законодательства в области охраны труда и выберем те компоненты, которые не поддаются управлению (табл. 1).

Согласно Трудовому кодексу РФ (ТК РФ) работодатель обязан обеспечить в том числе:

- безопасность работников при эксплуатации зданий, сооружений, оборудования, осуществлении технологических процессов, а также применяемых в производстве инструментов, сырья и материалов;

- создание и функционирование системы управления охраной труда;

- обучение безопасным методам и приемам выполнения работ и оказанию первой помощи пострадавшим на производстве, проведение инструктажа по охране труда, стажировки на рабочем месте и проверки знания требований охраны труда;

- недопущение к работе лиц, не прошедших в установленном порядке обучение и инструктаж по охране труда, стажировку и проверку знаний требований охраны труда;

- недопущение работников к исполнению ими трудовых обязанностей без прохождения обязательных медицинских осмотров, обязательных психиатрических освидетельствований, а также в случае медицинских противопоказаний;

- ознакомление работников с требованиями охраны труда и др.

Исходя из вышеизложенного предлагается следующая формулировка человеческого фактора в охране труда:

**Человеческий фактор в охране труда – возможность нарушения работником требований охраны труда и промышленной безопасности в зависимости от личных характеристик (ЛХ) работника и его компетентности (К) в области охраны труда:**

*Человеческий фактор в ОТ = ЛХ + К*

Или более расширенное определение:

**Человеческий фактор в охране труда – возможность нарушения работником требований охраны труда и промышленной безопасности в зависимости от: знаний, умений, опыта, результатов медицинских осмотров, стажа, дисциплины, активных действий по**

Таблица 1 – Структура человеческого фактора

| Человеческий фактор   | Содержание  | Требования законодательства   | Человеческий фактор в ОТ   |
|---|---|---|--|
| (1)   | (2)   | (3)   | (4)  |
| <b>Физические факторы</b> – физические возможности в той мере, в которой они связаны с выполнением необходимых задач  | Сила, рост, зрение, слух, рост. Физическое рабочее место  | Согласно ТК РФ, работодатель обязан обеспечить: - обучение безопасным методам и приемам выполнения работ, оказанию первой помощи пострадавшим на производстве - проведение инструктажа по охране труда; стажировку на рабочем месте - проверку знания требований охраны труда - медосмотры - ознакомление с требованиями ОТ | <b>Личные характеристики:</b><br>- медосмотр<br>- стаж<br>- активные действия по снижению или устранению производственных рисков<br>- дисциплина |
| <b>Физиологические факторы</b> – факторы, влияющие на внутренне физические процессы   | Наличие кислорода, общее состояние здоровья и физическая форма, питание, болезни или недомогания, употребление табака, наркотиков или алкоголя, личный стресс, усталость, беременность        |   |  |
| <b>Психологические факторы</b> – факторы, оказывающие влияние на психологическую готовность к действиям в любых обстоятельствах, которые могут сложиться в ходе работы                          | Надлежащая подготовка, знания, умения и опыт, зрительные или вестибулярные иллюзии и рабочая нагрузка, мотивация, уверенность в себе, способность правильно действовать в аварийных ситуациях |   |  |
| <b>Психосоциальные факторы</b> включают в себя все внешние факторы социальной системы индивидуума, действующие как в рабочей, так и в нерабочей среде, которые вызывают дополнительную нагрузку | Внешние факторы (ссоры, конфликты, смерть близких, трудности). Активные действия/бездействие по снижению или устранению производственных рисков   |   |  |
|   |   |   |  |

**снижению производственных рисков, способности оказывать первую помощь пострадавшим.**

Эта формулировка подтверждается данными статистики Роструда о причинах несчастных случаев с тяжелыми последствиями (табл. 2). Основные причины несчастных случаев

(76,94 %) обусловлены как раз влиянием рассматриваемых компонентов человеческого фактора в охране труда.

Рассмотренные ранее методы оценки компетентности работника в области охраны труда [6] можно использовать и при оценке человеческого фактора в области охраны труда.

Таблица 2 - Причины несчастных случаев с тяжелыми последствиями

| Причины (2012 г.)  | Кол-во | %     |
|--|--------|-------|
| Конструктивные недостатки и недостаточная надежность машин, механизмов, оборудования               | 159    | 1,86  |
| Несовершенство технологического процесса   | 92     | 1,08  |
| Эксплуатация неисправных машин, механизмов, оборудования   | 284    | 3,32  |
| Неудовлетворительное техническое состояние зданий, сооружений, территории                          | 212    | 2,48  |
| Нарушение технологического процесса  | 510    | 5,96  |
| Нарушение требований безопасности при эксплуатации транспортных средств                            | 315    | 3,68  |
| Нарушение правил дорожного движения  | 1086   | 12,7  |
| Неудовлетворительная организация производства работ  | 2612   | 30,54 |
| Неудовлетворительное содержание и недостатки в организации рабочих мест                            | 374    | 4,37  |
| Недостатки в организации и проведении подготовки работников по охране труда, в том числе:          | 434    | 5,07  |
| непроведение инструктажа по охране труда   | 110    | 1,29  |
| непроведение обучения и проверки знаний по охране труда  | 191    | 2,23  |
| Неприменение работником средств индивидуальной защиты, в том числе:                                | 300    | 3,51  |
| вследствие необеспеченности ими со стороны работодателя  | 76     | 0,89  |
| Неприменение средств коллективной защиты   | 21     | 0,25  |
| Нарушение работником трудового распорядка и дисциплины труда, в том числе:                         | 738    | 8,63  |
| нахождение пострадавшего в состоянии алкогольного, наркотического или иного токсического опьянения | 162    | 1,89  |
| Использование пострадавшего не по специальности  | 57     | 0,67  |
| Прочие причины, квалифицированные по материалам расследования несчастных случаев                   | 1359   | 15,89 |

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Словарь терминов МЧС, 2010. – Режим доступа : <http://enc-dic.com/mchs/Chelovecheski-faktor-2315/>.
2. Словарь практического психолога / сост. С. Ю. Головин. – Харвест; Минск, 1998.
3. Википедия. – Режим доступа : [https://ru.wikipedia.org/wiki/человеческий\\_фактор](https://ru.wikipedia.org/wiki/человеческий_фактор).
4. Руководство по обучению в области человеческого фактора.(Дос.9683-AN/950). – Издание первое. – Канада, Монреаль, ICAO, 1998. – 333 с.
5. Дос 9806, «Основные принципы учета человеческого фактора в руководстве по проведению проверок безопасности полетов» Международная организация гражданской авиации с. 2-5 2002г ISBN 978-92-9231-695-2. – Режим доступа : [http://dspk.cs.gkovd.ru/library/data/9806\\_cons\\_ru.pdf](http://dspk.cs.gkovd.ru/library/data/9806_cons_ru.pdf)
6. Седельников Г. Е. Компетенции и компетентность персонала в сфере охраны труда и промышленной безопасности. Оценка компетентности / Г. Е. Седельников // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2014. – № 2. – С. 138–143.

HUMAN FACTOR IN LABOUR PROTECTION  
**Sedelnikov G.Y.**

*This article examines the scale of assessment of the level of incompetent actions of workers in the field of labour protection and health, which can be used in conjunction with any of the risk assessment systems used in specific companies.*

**Key words:** COMPETENCE, COMPETENCES, RISK, COMPETENCE LEVELS, ASSESSMENT SCALE

*Седельников Геннадий Евгеньевич*  
e-mail: video@kuzbasscot.ru



**ООО "ГД "СибПромЭнерго"**

**Торговый Дом  
«СибПромЭнерго»**

ЭКСКЛЮЗИВНЫЙ  
ПРЕДСТАВИТЕЛЬ ООО  
«**ГОРНЫЙ ЦОТ**»  
(ПРИБОРЫ КОНТРОЛЯ  
ПАРАМЕТРОВ БЕЗОПАСНОСТИ)  
MINESAFETY.RU

**ГАЗОАНАЛИЗАТОРЫ  
GASENSE**

653024, КЕМЕРОВСКАЯ  
ОБЛ., Г.ПРОКОПЬЕВСК, УЛ.  
ЛИСТВЯНКА, Д.62  
Т/Ф (3846) 65-91-96  
8(913)327-98-98  
8(923)631-83-44

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS IN ENGLISH

**Balaganskaya Yevgeniya Nikolaevna** – candidate of economical sciences, world economics chair assistant professor of Kemerovo Institute (Branch) FGBOU VPO «REU named after G.V. Plekhanov».

**Baskakov Vladimir Petrovich** – candidate of technical sciences, general director of OAO «ScC VostNII».

**Besperstov Dmitry Aleksandrovich** – post graduate of FGBOU VPO «Kemerovo Technological Institute of Food Industry».

**Domanov Victor Petrovich** – candidate of technical sciences, laboratory head of OAO «ScC VostNII».

**Druzhinin Andrey Aleksandrovich** – candidate of technical sciences, acting general director of OAO «NIIGD».

**Fomin Anatoly Iosifovich** – doctor of Technical Sciences, leading scientific worker of OAO «ScC VostNII» scientific board.

**Igishev Victor Grigorievich** – doctor of technical sciences, scientific consultant OAO «ScC VostNII».

**Kazantsev Vladimir Georgievich** – doctor of technical sciences, professor, chair head of Biysk Technological Institute FGBOU VPO «AltGTU named after I. I. Polzunov».

**Kuliavtsev Yevgeny Yakovlevich** – candidate of technical sciences, leading engineer of FNPC «Altay».

**Li Anatoly Andreevich** – doctor of technical sciences, scientific secretary of OAO «ScC VostNII».

**Lisakov Sergey Anatolievich** – postgraduate of Biysk Technological Institute FGBOU VPO «AltGTU named after I. I. Polzunov».

**Lobur Irina Anatolievna** – candidate of technical sciences, assistant professor of FGOU VPO «KuzGTU named after T. F. Gorbachev».

**Ludzish Vladimir Stanislavovich** – doctor of technical sciences, professor, leading scientific worker of OAO «ScC VostNII» leading scientific worker of OAO «ScC VostNII».

**Massaev Vladislav Yurievich** – candidate of technical sciences, enterprise economics and management chair assistant professor of Kemerovo Institute (Branch) FGBOU VPO «REU named after G.V. Plekhanov».

**Massaev Yury Aleksandrovich** – candidate of technical sciences, underground constructions and mines chair professor of FGBOU VPO KuzGTU.

**Oparin Viktor Nikolaevich** – corresponding member of Russian Academy of Sciences, doctor of physic and mathematic sciences, professor of IGD SB of RASc.

**Ovcharenko Aleksandr Grigorievich** – doctor of technical sciences, professor, mechanical faculty dean of Biysk Technological Institute FGBOU VPO «AltGTU named after I. I. Polzunov».

**Pavlov Andrey Nikolaevich** – candidate of technical sciences, assistant professor of automation and measuring means and methods chair of Biysk Technological Institute FGBOU VPO «AltGTU named after I. I. Polzunov».

**Polyak Liudmila Mikhailovna** – candidate of medical sciences, assistant professor of Kemerovo Institute (Branch) FGBOU VPO «REU named after G.V. Plekhanov».

**Prokopenko Sergey Arturovich** – doctor of technical sciences, leading scientific worker of OAO «ScC VostNII», professor of UTI TPU.

**Sedelnikov Gennady Yevgenievich** – deputy director NP «Kuzbass-COT», post-graduate of OAO «ScC VostNII».

**Shauleva Nadezhda Mikhailovna** – candidate of technical sciences, assistant professor of FGOU VPO «KuzGTU named after T. F. Gorbachev».

**Shlapakov Pavel Aleksandrovich** – engineer, laboratory head of OAO «ScC VostNII».

**Sypin Yevgeny Viktorovich** – candidate of technical sciences, chair professor of Biysk Technological Institute (Branch) FGBOU VPO «AltGTU named after I. I. Polzunov».

**Tupikina Nadezhda Yurievna** – senior teacher of methods and means of measurement and automation chair of Biysk Technological Institute (Branch) FGBOU VPO «AltGTU named after I. I. Polzunov».

**Voroshilov Aleksey Sergeevich** – candidate of technical sciences, deputy director of OAO «Kuzbass-COT».

**Zubareva Vera Andreevna** – candidate of technical sciences, director of OAO «CSE».

**Zyrianova Marina Nikolaevna** – postgraduate of Biysk Technological Institute FGBOU VPO «AltGTU named after I.I. Polzunov».

## ТРЕБОВАНИЯ К РАЗМЕЩЕНИЮ РЕКЛАМНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Научно-технический журнал «Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности» приглашает научные институты, организации и промышленные предприятия разместить информацию о конференциях, выставках, разрабатываемой и выпускаемой продукции в области охраны труда, безопасности в чрезвычайных ситуациях, пожарной и промышленной безопасности в угольной промышленности, контроля природной среды, веществ, материалов и изделий, а также приборостроения.

### РАЗМЕРЫ РЕКЛАМНЫХ МОДУЛЕЙ:

- размер для 1 полосы: 216\*303 мм, включая по 3 мм на обрезку с каждой стороны внешнего периметра, на корешок допуск ставить не нужно.
- 1/2 полосы вертикальная: 103\*303 мм,
- 1/2 полосы горизонтальная: 216\*151 мм
- 1/3 полосы горизонтальная: 216\*92 мм
- 1/4 полосы горизонтальная: 216\*67 мм
- 1/4 полосы вертикальная в верхнем или нижнем внешнем углу страницы: 103\*151 мм

### ТРЕБОВАНИЯ К РЕКЛАМНЫМ СТАТЬЯМ

1. Текст для статьи предоставляется только в текстовом редакторе Word.
2. Объем статьи: не более 4500 печатных знаков с пробелами (без изображений). При использовании фотографий объем текста пропорционально уменьшается.
3. Требования к фотографиям: формат *.eps* или *.tiff* с разрешением 300 dpi.
4. Логотип – в форматах *.cdr*, *.eps*, при этом шрифты должны быть переведены в кривые.
5. Текст рекламной статьи должен включать заголовок (подзаголовок), выходные данные заказчика: название, адрес, телефон, электронный адрес компании.

### ТРЕБОВАНИЯ К РЕКЛАМНЫМ МАКЕТАМ

1. Размер электронного макета должен соответствовать размерам рекламного модуля.
2. Растровые файлы должны быть в форматах *.tif*, *.psd*, *.eps* с разрешением 300 dpi, векторные – *.ai*, *.eps* и *.cdr*.
3. Оригинал-макеты передаются в цветовой модели CMYK без компрессии.
4. Верстка может быть в форматах Adobe Illustrator, Corel Draw, Adobe InDesign (в этом случае должны предоставляться все связанные элементы, а также все используемые шрифты, обязательно макет должен так же прилагаться в pdf).
5. В макете, подготовленном в пакете Corel Draw не допускается наличие следующих эффектов: shadow, transparency, gradient fill, lens, texture fill и postscript fill. Все вышеперечисленные эффекты Corel Draw должны быть конвертированы в bitmap 300 dpi.
6. Черный цвет текста должен состоять только из черного канала – C:0, M:0, Y:0, K:100 или 100 Black в одноцветной шкале Grayscale.
7. Все текстовые элементы оригинал-макета должны быть переведены в кривые.
8. Текст и важные изображения (логотип и т. п.) не должны располагаться ближе 5 мм к обрезному краю.

Информация о расценках на размещение рекламы размещена на сайте [www.indsafe.ru](http://www.indsafe.ru).

**Редакция журнала оставляет за собой право отбора поступивших рекламных материалов.**



## **ТРЕБОВАНИЯ, УСЛОВИЯ И ПОРЯДОК ПРЕДСТАВЛЕНИЯ РУКОПИСЕЙ В НТЖ «Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности»**

### ***I. Порядок представления материалов в редакцию***

1. В журнал принимаются статьи, соответствующие его тематике – охрана труда, безопасность в чрезвычайных ситуациях, пожарная и промышленная безопасность в угольной промышленности, приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий.
2. Статья должна быть оригинальной, не представленной в других изданиях.

### ***II. Форма представления рукописи***

1. Рукопись представляется отпечатанной в текстовом редакторе Word через 1,5 интервала на одной стороне стандартного листа белой бумаги формата А4 и в электронном виде (передается по электронной почте yarosh\_mv@mail.ru или на магнитном носителе).
2. Все страницы рукописи, включая таблицы, список литературы, рисунки должны быть пронумерованы. Рекомендуемый объем статьи 5–7 страниц. Статья должна быть подписана всеми авторами.
3. Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

### ***Подготовка электронной версии материалов***

1. Текст набирается шрифтом Arial, размер шрифта 10, для заголовка 14, полуторный интервал, абзацный отступ 1,25 см, формат листа А4. Поля с левой стороны 3 см, сверху и снизу 2 см, справа 1,5 см;
2. Электронная версия должна быть идентична распечатанному тексту. В случае расхождения за основу берется печатный вариант.

### ***Структура статьи***

1. Индекс УДК.
2. Инициалы и фамилия автора (ов).
3. Место работы.
4. Название статьи.
5. Реферат.
6. Ключевые слова.
7. Текст статьи с таблицами, иллюстрациями, формулами.
8. Библиографический список (оформленный в соответствии с ГОСТ 7.1-2003).

На отдельном листе или в конце статьи размещается «Список авторов», который должен содержать:

- публикуемые сведения об авторах (фамилия, имя, отчество, ученая степень, ученое звание, должность и место работы);
- служебные или домашние адреса с указанием почтового индекса;
- служебный или домашний телефоны (факс, e-mail).

Обращаем ваше внимание, что представление оригинальной статьи к публикации в НТЖ означает согласие авторов на передачу права на воспроизведение, распространение и доведение произведения до всеобщего сведения любым способом.

*Редколлегия*

## СОДЕРЖАНИЕ

|   |    |
|---|----|
| <b>СЛОВО РЕДАКТОРА</b><br>EDITORIAL   | 5  |
| <b>I. ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ГЕОМЕХАНИКА</b><br>INDUSTRIAL SAFETY AND GEOMECHANICS   |    |
| <b>Опарин В.Н.</b> Современные достижения нелинейной геомеханики и методологические основы для построения мониторинговых систем геомеханико-геодинамической безопасности на горнодобывающих предприятиях<br><b>Oparin V.N.</b> Modern achievements of nonlinear geomechanics and methodological basis for geomechanical – geodynamical safety monitoring system construction at mining enterprises  | 6  |
| <b>Доманов В.П., Масаев Ю.А., Масаев В.Ю., Балаганская Е.Н.</b> Исследование условий формирования зоны нарушения законтурного массива и её влияние на устойчивость горных выработок<br><b>Domanov V.P., Massaev Y.A., Massaev V.Y., Balaganskaya Y.N.</b> Perimeter massif disruption zone formation conditions and its impact on mine opening stability study  | 16 |
| <b>Масаев Ю.А., Доманов В.П., Масаев В.Ю.</b> Условия эффективного сооружения подземных горных выработок с применением взрывных работ<br><b>Massaev Y.A., Domanov V.P., Massaev V.Y.</b> Terms of underground mine workings efficient construction by blasting  | 20 |
| <b>II. ПОЖАРНАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ</b><br>FIRE AND INDUSTRIAL SAFETY   |    |
| <b>Фомин А.И., Бесперстов Д.А.</b> Оценка пожарной безопасности и обеспечения средствами спасения при возникновении пожаров работников на угледобывающих и углеперерабатывающих предприятиях Кемеровской области<br><b>Fomin A.I., Besperstov D.A.</b> Workers fire protection evaluation and provision of rescue means for them in case of fire at coal extracting and coal washing enterprises of Kemerovo region                                 | 24 |
| <b>Казанцев В.Г., Овчаренко А.Г., Кулявцев Е.Я., Сыпин Е.В., Тупкина Н.Ю.</b> Моделирование двухфазного истечения газопорошковой смеси через короткие сопла с учетом высокого содержания твердых частиц в газовой фазе<br><b>Kazantsev V.G., Ovcharenko A.G., Kuliavtsev Y.Y., Sypin Y.V., Tupikina N.Y.</b> Modelling of gas-powder mixture biphasic expiration through short nozzles considering the high content of solids in the gaseous phase  | 31 |
| <b>Тупикина Н.Ю., Сыпин Е.В., Кулявцев Е.Я.</b> Методика расчёта параметров оптической системы трёхканального пирометрического прибора с отдельными объективами каналов<br><b>Tupikina N.Y., Sypin Y.V., Kuliavtsev Y.Y.</b> Optic system parameters calculation methods of triple channel pyrometric instrument with separate channel objectives   | 36 |
| <b>Зырянова М.Н., Лисаков С.А., Павлов А.Н., Сыпин Е.В.</b> Применение численного моделирования для решения задачи определения пространственных координат очага возгорания многоточечной оптико-электронной системой<br><b>Zyrianova M.N., Lisakov S.A., Pavlov A.N., Sypin Y.V.</b> Numerical simulation application for the problem of determining the spatial coordinates of the fire ignition solving with multipoint optical-electronic system | 43 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Ли А.А., Шлапаков П.А., Ворошилов А.С., Прокопенко С.А.</b> О возможности проведения вскрывающих выработок по склонным к самовозгоранию пластам угля<br><b>Li A.A., Shlapakov P.A., Voroshilov A.S., Prokopenko S.A.</b> On possibility to drive opening galleries in coal seams prone to self combustion                                | 51 |
| <b>Прокопенко С.А., Лудзиш В.С., Шлапаков П.А.</b> Разработка системы контроля использования резцов в шахтах Кузбасса<br><b>Prokopenko S.A., Ludzish V.S., Shlapakov P.A.</b> Cutter usage monitoring system development at Kuzbass mines   | 56 |
| <b>III. ПРОБЛЕМЫ И СУЖДЕНИЯ</b><br>PROBLEMS AND OPINIONS  |    |
| <b>Фомин А.И., Бесперстов Д.А.</b> Актуальность разработки и совершенствования способа повышения безопасности работников на угледобывающих и углеперерабатывающих предприятиях Кузбасса<br><b>Fomin A.I., Besperstov D.A.</b> Urgency of development and improvement of the ways to increase the workers of Kuzbass coal enterprises safety | 62 |
| <b>Зубарева В.А., Поляк Л.М.</b> Аспекты оценки условий труда при работе с оргтехникой<br><b>Zubareva V.A., Polyak L.M.</b> Assessment aspects of working conditions when working with office equipment   | 67 |
| <b>Баскаков В.П., Игишев В.Г.</b> Защита шахт от самовозгорания угля. Термины и определения<br><b>Baskakov V.P., Igishev V.G.</b> Mine protection from coal self-ignition. Terms and definitions  | 72 |
| <b>Шаулева Н.М., Лобур И.А., Дружинин А.А.</b> О влиянии квалификации обслуживающего персонала на надежность систем электроснабжения угольных разрезов<br><b>Shauleva N.M., Iobur I.A., Druzhinin A.A.</b> On skill level of service staff influence on reliability of open cast coal mines power supply systems                            | 78 |
| <b>Седельников Г.Е.</b> Человеческий фактор в охране труда<br><b>Sedelnikov G.Y.</b> Human factor in labour protection  | 82 |
| <b>СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ</b><br>INFORMATION ABOUT THE AUTHORS IN ENGLISH  | 87 |
| <b>ТРЕБОВАНИЯ К РЕКЛАМНЫМ МАТЕРИАЛАМ</b><br>ADVERTISING MATERIALS REQUIREMENTS  | 88 |
| <b>ТРЕБОВАНИЯ К СТАТЬЯМ</b><br>DEMANDS TO ARTICLES  | 89 |
| <b>СОДЕРЖАНИЕ</b><br>CONTENT  | 90 |

Подписано в печать 15.03.2015. Тираж 1000 экз. Формат 60x90 1/8.  
Объем 7 п. л. Заказ № 1 2015 г. Цена свободная.  
Типография ООО «ИНТ».  
650065, г. Кемерово, пр-т Октябрьский, 28 офис 215  
Тел. 8 (3842) 657889.