

ВЕСТНИК

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

Научно-технический журнал



Кемерово

2-2017

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

№ 2-2017

Выходит 4 раза в год

Подписной индекс
в Каталоге Агентства
«Роспечать» 2017 г. – 35939

ЖУРНАЛ ЗАРЕГИСТРИРОВАН

Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий 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, Россия, Кемеровская область,

г. Кемерово, Сосновый бульвар, 1

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

Компьютерная верстка *Д.А. Трубицына*

тел. 77-86-62, 64-26-51.

e-mail: yarosh_mv@mail.ru

dtrubitsyna@gmail.com

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

Позиция редакции не всегда совпадает
с точкой зрения авторов публикуемых материалов

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

16+

© ООО «ВостЭКО», 2017

Адрес типографии:

650065, Россия, Кемеровская область, г. Кемерово, пр-т

Октябрьский, 28 офис 215

тел. 8 (3842) 657889. ООО «ИНТ».

Главный редактор: Н. В. Трубицына

Редакционная коллегия:

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

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

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

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

Р. Б. Айтхожаев - директор Карагандинского филиала АО "Национальный научно-технический центр промышленной безопасности"

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

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

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

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

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

Д. А. Трубицына – выпускающий редактор ООО "ВостЭКО"

М. В. Ярош – редактор ООО «ВостЭКО»

INDUSTRIAL SAFETY

Scientific-technical magazine

Kemerovo

2 - 2017

INDUSTRIAL SAFETY

ISSN 2072-6554

№ 2-2017

Is issued 4 times a year

Subscription index
in «Rospechat» Agency
Catalogue: Year 2017 – 35939

MAGAZINE IS REGISTERED

by the Federal Service for Supervision in the Sphere of Communications, Information Technologies and Mass Communications. Registration certificate of mass information means PI № 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 «Industrial Safety» scientific-technical magazine:
Co Ltd «VostEKO»

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

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

Tel. 77-86-62, 64-26-51.
e-mail: yarosh_mv@mail.ru
dtrubitsyna@gmail.com

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

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

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

16+

© Co Ltd «VostEKO», 2017

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

Chief editor: N. V. Trubitsyna

Editorial board:

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

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

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

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

R. B. Ajthozhaev - director of the Karaganda branch of JSC "National Science and Technology Center of Industrial Safety"

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

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

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

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

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

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

M. V. Yarosh – OOO «VostEKO» editor

РЕТРОСПЕКТИВА И НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ

Уважаемые коллеги и читатели нашего журнала!

В августе 2017 года отмечается юбилейный 70 День шахтера. В преддверии наступающего праздника в первую очередь, хочется ответить самим себе на один самый главный вопрос: все ли мы сделали для того, чтобы шахтерский труд стал менее опасным? Достаточны ли потраченные усилия на разработку новых безопасных технологий и технических устройств для достижения основной цели – предотвратить череду аварий на предприятиях угольной отрасли.

Поэтому несколько материалов предлагаемого Вашему вниманию выпуска посвящено анализу текущего и ретроспективного состояния промышленной безопасности на угольных предприятиях.

Уровень сложности экономической ситуации в стране и отрасли всегда напрямую связан с аварийностью и травматизмом и самые плохие статистические показатели выпадают на годы экономического спада и являются следствием недостаточного финансирования мероприятий по охране труда и промышленной безопасности, а также ослаблением контроля за их соблюдением. Можно ли уменьшить влияние этой негативной связи мы и пытаемся найти ответ на данный вопрос в публикациях наших авторов на страницах журнала.

Тенденции, наблюдаемые в интеллектуальном пространстве нашей отрасли, с одной стороны вызывают глубокую озабоченность вследствие разобщенности научного сообщества, с другой стороны радует то, что все чаще и чаще в наш журнал обращаются с просьбой о публикации совсем молодые начинающие исследователи, которые искренне хотят донести до научного сообщества свое видение тех или иных вопросов. И наша редакционная коллегия всеми силами пытается помочь начинающим авторам и ученым включиться в решение потенциально значимых научных проблем.

Редакционная коллегия сердечно поздравляет всех, для кого шахтерский труд является важнейшей составляющей повседневной жизни, с наступающим Днем Шахтера 2017!



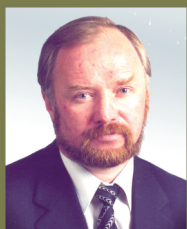
НЭЛЯ ТРУБИЦЫНА,
главный редактор, д.т.н.

АВАРИЙНОСТЬ И ТРАВМАТИЗМ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В 2010-2015 ГОДАХ

ACCIDENT AND TRAUMATISM AT COAL INDUSTRY ENTERPRISES IN 2010-2015



А. Р. Литвинов
Ge_msc@mail.ru



К. С. Коликов
kolikovks@mail.ru



О. Г. Ишкнели
o.ishneli@yandex.ru

А. Р. Литвинов - канд. техн. наук, Директор московского представительства «Научного центра промышленной безопасности», Россия, 127055, г. Москва, ул. Лесная, 43, 436

К. С. Коликов - докт. техн. наук, заведующий кафедрой «Безопасность и экология горного производства» Горного института НИТУ «МИСиС», Россия, 119049, г. Москва, Ленинский пр-т, 4

О. Г. Ишкнели - канд. техн. наук, Заместитель генерального директора «Национальный научный центр горного производства – Институт горного дела им. А.А. Скочинского», Россия, 140004, Люберцы, Октябрьский пр-т, 411

A. R. Litvinov – candidate of technical sciences Director of the Moscow office «Scientific Industrial Safety Center», 436, 43, ul. Lesnaja Moscow, 127055, Russia

K. S. Kolikov - doctor of engineering sciences, Department of Mining safety and ecology NUST MISIS MMI, Head of Department, 4, Leninsky Prospekt, Moscow, 119049, Russia

O. G. Ishkneli - candidate of technical sciences, Deputy General Director Skochinsky Institute of Mining, 411, October prospect, Lyubertsy, 140004, Russia

УДК 622; 613.62

В статье приведены результаты анализа статистической информации по формам 2-ТБ уголь за 2010-2015 гг и основных тенденций развития наиболее значимых факторов, определяющих производственные опасности техногенного и природного происхождения, аварийности и травматизма на предприятиях угольной отрасли. В статье отмечено, что основными причинами аварийности являются: нарушения требований норм безопасности и документации на ведение работ, неисполнение должностных инструкций, низкая производственная дисциплина, недостаточная квалификация работников предприятий, неудовлетворительное содержание рабочих мест и организация работ. Анализ типологии несчастных случаев и заболеваемости на производстве так же свидетельствует о постоянстве их основных причин на протяжении многих лет. Принимаемые меры если и привели к определенным положительным результатам по снижению травматизма, то при этом они не оказали такого же воздействия на профзаболеваемость и ее последствия. Недостаточными оказались и в области оздоровления персонала. Таким образом, показана необходимость перехода угольных компаний на новые современные модели снижения возможных рисков при разработке месторождений, базирующихся на принципах социальной ответственности ведения бизнеса и научном сопровождении развития производства.

The article presents the results of the analysis of statistical information on the forms of 2-TB coal for 2010-2015 and the main trends in the development of the most significant factors that determine the industrial hazards of man-made and natural origin, accidents and injuries at coal industry enterprises. The article notes that the main causes of accidents are: violation of the requirements of safety standards and documentation for the conduct of work, failure to perform job descriptions, low production discipline, inadequate qualification of enterprise employees, unsatisfactory job content and organization of work. The analysis of the typology of accidents and morbidity in the workplace also indicates the permanence of their main causes for many years. The measures taken, if they led to certain positive results in reducing injuries, did not have the same effect on occupational morbidity and its consequences. Inadequate, they were in the field of health improvement of personnel. Thus, the necessity of transferring coal companies to new modern models for reducing possible risks in the development of deposits based on the principles of social responsibility of doing business and scientific accompaniment of production development is shown.

Ключевые слова: УГОЛЬНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ, СПОСОБ ДОБЫЧИ, АВАРИЙНОСТЬ, ТРАВМАТИЗМ, АНАЛИЗ

Key words: COAL MINING INDUSTRY, METHOD MINING, EMERGENCY, TRAUMATISM, ANALYSIS

Объемы добычи угля в 2015 году достигли 373,36 млн.т., что превысило объем добычи 2014 года на 4,2%. На протяжении долгих лет продолжается рост как объемов, так и доли относительно более безопасного открытого способа добычи угля. В 2015 году добыча открытым способом выросла на 6,6% до 269,7 млн. т., подземным способом – уменьшилась на 1,6% до 103,7 млн.т. В течение 2015 года доля открытого способа добычи возросла примерно на 1% и составила 72,2% (рис. 1). За год переработано 169254,2 тыс.т. угля. Увеличение добычи и переработки угля, главным образом, обусловлено его поставками на экспорт.

Добычу вели (на 01.01.2016г.) на 58 угольных шахтах и 258 разрезах, обогащение осуществлялось на 109 обогатительных фабриках. В рамках реструктуризации отрасли ликвидационные работы проводились на 12 шахтах и на 12 шахт работы приостановлены (законсервированы).

Наиболее высокопроизводительные 20 шахт и 20 разрезов добывают свыше 60% угля подземным способом и 50-55% открытым соответственно.

Большая часть угля добывается в шахтах сверхкатегорных, опасных по внезапным выбросам и шахтах 3 категории, причём в целом их доля добычи постоянно растёт.

На текущее время потенциал развития отрасли ограничивается, главным образом стареющими основными фондами, технологическим несовершенством производства и относительно низкой автоматизацией процессов. Так, например, средний срок службы угольных шахт без проведения реконструкции к 2015г.

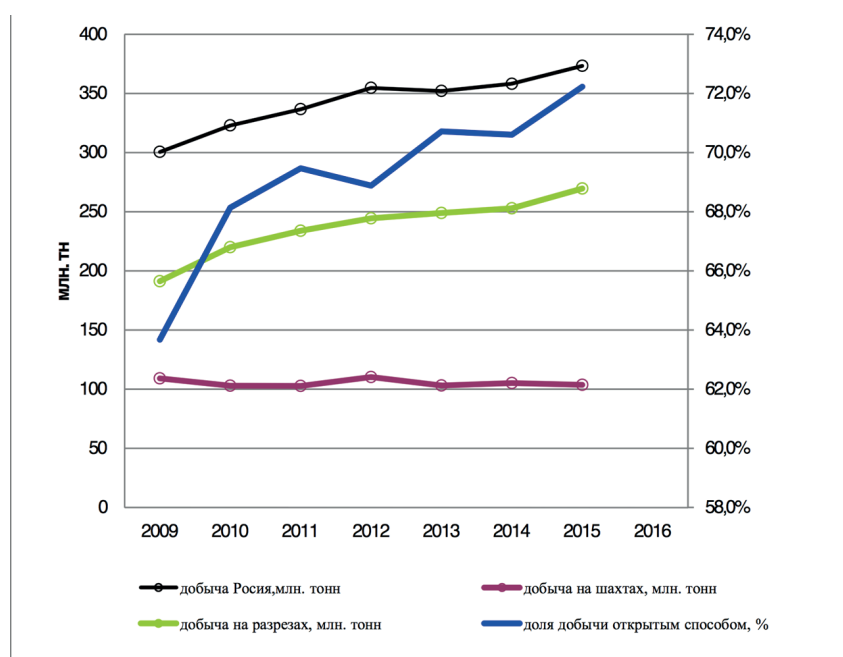


Рисунок 1 - Объемы добычи угля в 2009-2015 годы
Figure 1 - The volume of coal production in 2009-2015

составил 21,8 года, для разрезов – 19,4 года. По сравнению с предыдущими годами этот средний срок службы шахт и разрезов, в 2015 году снизился, однако, 63,5% шахт и 47,8% предприятий, добывающих уголь открытым способом, работают без реконструкции 15 и более лет. При этом 27 шахт (42,9%) не реконструировались 25 и более лет (рис. 2). Закрытие ряда предприятий, реконструкция, введение в эксплуатацию новых объектов за последние годы привели к снижению среднего срока службы без реконструкции и шахт, и объектов, добывающих уголь открытым способом. Например, еще в 2013 году он составлял для шахт 30,5 лет, а для разрезов – 26,6 лет.

Общая тенденция последних десятилетий – это снижение числа

технических единиц по добыче и общей численности работающих в отрасли, сопровождающиеся ростом добычи и производительности труда (рис. 3) и усложнение условий ведения работ.

Оценка условий ведения горных работ и их изменения на угледобывающих предприятиях России, показывает, что они и в дальнейшей перспективе будут оставаться потенциально опасными и вредными для работников.

Наиболее сложными и опасными условия добычи угля продолжают оставаться на шахтах. Основные опасности и риски аварий формируются в результате комплексного многоаспектного воздействия природных факторов (рис. 4).

На фоне снижения общего числа

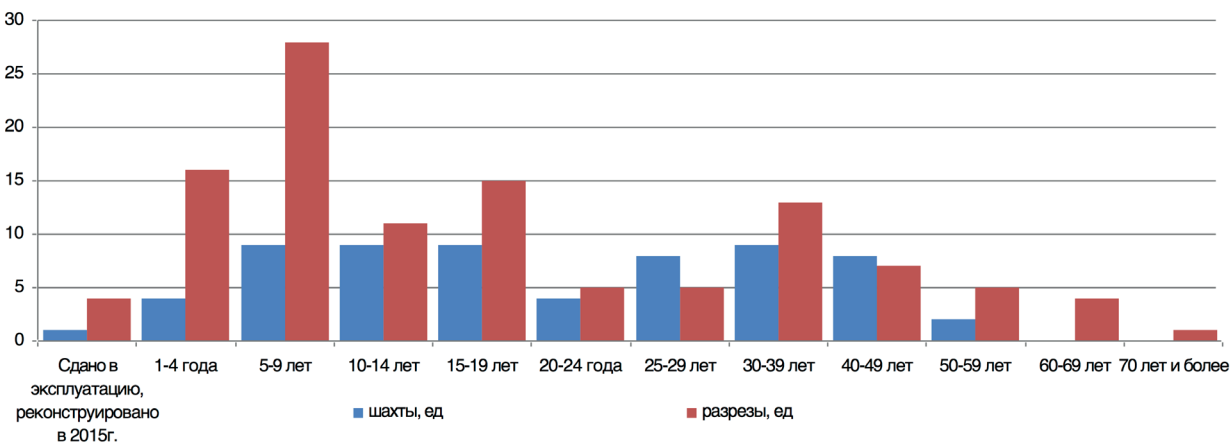


Рисунок 2 - Распределение числа шахт и разрезов в зависимости от срока эксплуатации без реконструкции
Figure 2 - Distribution of the number of mines and sections as a function of life without reconstruction

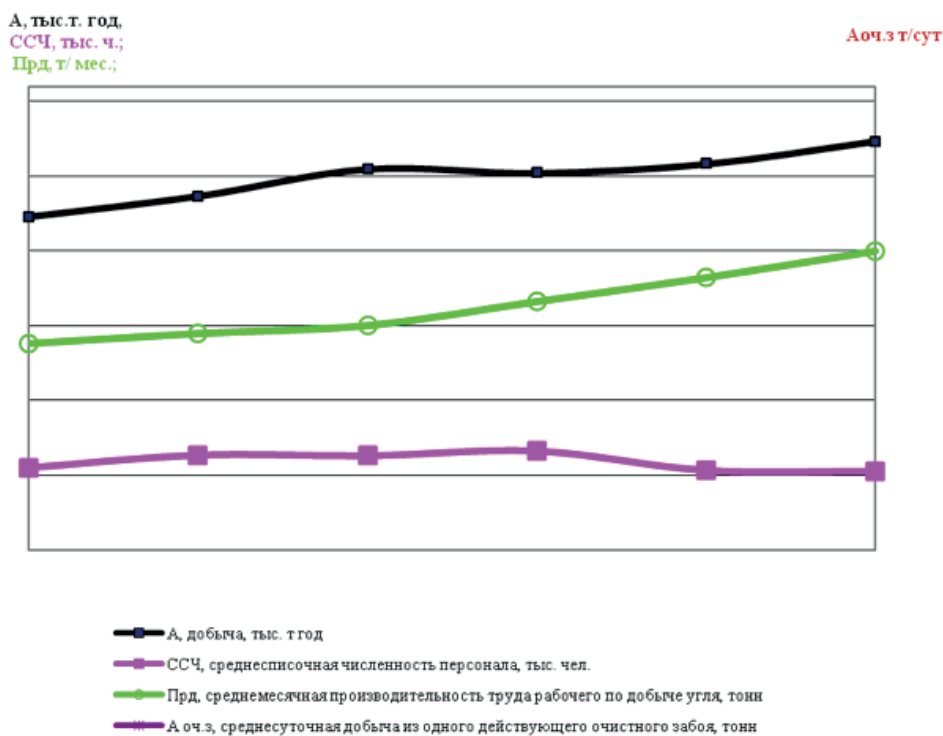


Рисунок 3 - Некоторые показатели работы угольной отрасли
Figure 3 - Some indicators of the coal industry

отрабатываемых пластов в отрасли доля пластов с такими опасными факторами, как взрывчатость пыли (90-91 % пластов) и склонность к самовозгоранию (60-65 %) продолжает оставаться стабильно высоким. Далее в структуре разрабатываемых пластов по признаку долевого участия следуют - метаноопасные пласты, пласты опасные по горным ударам и угрожаемые и опасные по внезапным выбросам. Число пластов опасных по взрывчатости пыли, склонных к самовозгоранию и угрожаемых по внезапным выбросам снижалось практически синхронно со снижением общего числа отрабатываемых пластов. Численность рабочих пластов, требующих проведения дегазации на начало 2016 года достигла минимума с 2007 (45 пластов). Однако, интенсификация ведения горных работ предопределяет расширение применения дегазации, что в конечном счете, привело к наиболее интенсивному росту их доли до 43 % среди отрабатываемых в 2015 году. Рост доли характерен и для пластов опасных по горным ударам. Несмотря на снижение их числа, доля в структуре рабочих пластов за этот период выросла с 15 % до 34 %. Незначительно изменилось в структуре пластов относительное участие опасных по внезапным выбросам. Общие тенденции исключе-

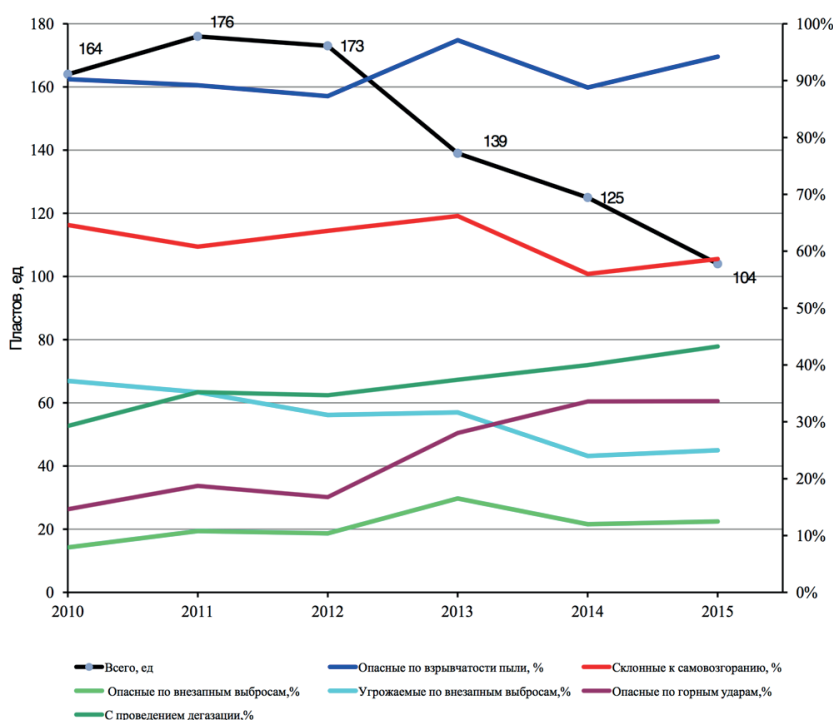


Рисунок 4 - Структура разрабатываемых пластов по основным природным опасным факторам
Figure 4 - Structure of the developed seams for the main natural hazards

ния из отработки угольных пластов привели к снижению в общем балансе только доли пластов угрожаемых по внезапным выбросам.

Все разрабатываемые в настоящее время угольные пласты, исключая шахты Южного федерального округа, являются опасными хотя бы

по одному из перечисленных выше факторов. Как и в предшествующие годы, наиболее высоким уровнем газовой опасности характеризуются шахты Воркутского месторождения и Западно-Сибирского региона. На территории Кузбасса действуют 9 (69,2 %) из 13 шахт, опасных по вы-

бросам угля и газа, 19 (86,4 %) из 22 сверхкатегорных шахт. При этом абсолютно все шахты, на которых в 2015 году велись горные работы, опасны по газу.

На наш взгляд, метаноопасность угольных шахт продолжает оставаться одной из наиболее острых и не решенных проблем.

Увеличение глубины ведения работ и рост нагрузки на забой обусловили рост и абсолютной и относительной метанообильности. Так, уровни средних по отрасли относительной метанообильности последних двух лет ($18,60 \text{ м}^3/\text{м}$) превышает среднее значение за последние 10 лет ($17,72 \text{ м}^3/\text{м}$), а абсолютная метанообильность в 2015 году выросла до $50,6 \text{ м}^3/\text{мин}$. На многих шахтах эти показатели значительно превышают среднеотраслевые.

Следует отметить, что при ведении дегазационных работ приоритетным является дегазация выработанного пространства и недостаточное внимание уделяется разрабатываемым пластам. Это определяется структурой газового баланса добычных участков и высокой эффективностью (60-90 %) способов текущей дегазации, в то время как эффективность предварительной дегазации разрабатываемого пласта, как правило, не превышает 20 %. В большинстве случаев доля метана разрабатываемого пласта в газовом балансе добычного участка составляет менее 10 %, что приводит к недооценке роли данного источника. Особенно ярко это проявляется при высоких нагрузках, когда для нормализации обстановки приостанавливают добычу.

Большинство угольных пластов характеризуется низкой газоотдачей. Это требует выполнения специальных мер по ее повышению. К сожалению, технологичные и высокоэффективные методы повышения газоотдачи угольных пластов до сих пор не вышли из стадии опытно-промышленных испытаний. Это приводит к тому, что даже при газоносности более $25 \text{ м}^3/\text{м}$ на шахтах Воркутского месторождения предварительная пластовая дегазация не применяется, хотя в Карагандинском бассейне она используется даже при проницаемости угольного пласта до $0,005 \text{ мД}$.

Изменение горно-геологических условий и повышение интенсивности ведения работ приводит не только к усложнению условий про-

ведения дегазации, но и к повышению роли системы управления газовойделением при обеспечении безопасности по газовому фактору на угольных шахтах России.

Продолжающееся существенное отставание нормативного и методического обеспечения метанобезопасности, вынуждает продолжать применять старые испытанные и консервативные способы снижения газообильности горных выработок - подачу в подготовительные и, особенно, в очистные забои значительного количества воздуха с большим резервом или приостановку ведения горных работ.

В определенной мере на степень метановой опасности шахты могут оказывать влияние устойчивость режима ее проветривания и схема вентиляции горных работ в уклонных полях.

Подавляющее число шахт 92 % имеют II категорию устойчивости схем проветривания и только на протяжении уже длительного времени на шахте «Джебарики-Хая» - филиал ОАО ХК «Якутуголь» (Дальневосточный ФО), наименее устойчивая схема проветривания III категории.

Из 4 шахт с наиболее устойчивой схемой проветривания I категории 3 шахты относятся к 1 категории по метану и 1 шахта (филиал АО «Черниговец» «Шахта Южная») ко 2 категории по метану. Таким образом, на всех шахтах наиболее опасных по метановому фактору проветривание организовано по схемам со средней степенью устойчивости.

Согласно пункту 29 [1] предпочтению вентиляции горный выработок в уклонных полях отдано бремсберговым схемам. По представленным данным в 2015 году на 49 шахтах отрасли вели работы в 99 уклонных полях, из которых 54 проветривались по бремсберговой и 45 - по уклонной схемам. За рассматриваемый период в 2015 г. в отрасли достигнуто минимальное число рабочих уклонных полей, при максимуме в 122 поля в 2013 году. Снижение общего числа разрабатываемых уклонных полей сопровождалось более интенсивным выбытием полей, проветриваемых по бремсберговой схеме.

Среди положительных фактов в обеспечении метанобезопасности можно отметить сокращение схем управления газовойделением с применением газоотсоса (с 21 установ-

ки в 2010 г до 13 в 2015 г.).

На угольных шахтах возрастает потенциальная опасность воспламенения метановоздушной смеси от фрикционного искрения. Так, в 2015 году в отрасли действовало 288 очистных и подготовительных забоев (63 и 225 соответственно) опасных по данному фактору. За последние 5 лет число забоев характеризующихся этим видом опасности в общем числе достигло 74 % (против 49 % в 2010 году), а подготовительных выросло с 59 % до 78 %. При этом необходимо отметить, что не соблюдение требований по обеспечению фрикционной безопасности привели к вспышкам метана в очистных забоях в 2008 году и в подготовительных в 2006 (по 1 вспышке соответственно).

Из разрабатываемых 104 угольных пластов к числу склонных к самовозгоранию отнесен 61 пласт. Среднедействующее число очистных забоев работающих на них достигает 32,9 в год. Наибольшее число шахт разрабатывающих пласты, опасные по самовозгоранию сосредоточены в Кузбассе. Здесь их число достигает 58 из 61 по России (95,1 %). Таким образом, практически на всех шахтах Кузбасса, продолжают сохраняться высокие риски самовозгорания угольных пластов.

Несмотря на постоянное снижение в последние годы действующих пожаров в угольных шахтах их число продолжает оставаться достаточно высоким. Так, в 2015 году их число составляло 10, при этом в течение года было потушено 7 и выявлено 5 эндогенных пожаров.

К числу основных причин возникновения пожароопасных ситуаций можно отнести применение проектных решений, не в полной мере соответствующие конкретным условиям добычи, несвоевременное и недостаточное проведение профилактических мероприятий, достаточно высокие эксплуатационные потери угля. Недостаточное понимание протекания процессов обуславливающих и сопровождающих самонагревание и самовозгорание угля усложняет принятие решений при недопущении их возникновения и ликвидации.

Одним из наиболее значимых факторов производственной опасности техногенного и природного происхождения, определяющих величину рисков подземных аварий является угольная пыль. Из 104

пластов, обрабатываемых в шахтах в 2015 г., общее число пластов опасных по взрывчатости пыли составляло 98 или 94 %. Таким образом, в целом по отрасли подавляющее число разрабатываемых пластов опасны по взрывчатости угольной пыли, а в Северо-Западном, Сибирском и Дальневосточном федеральных округах к таким пластам относятся все разрабатываемые.

В последние годы в отрасли при усложняющихся условиях ведения горных работ происходит повышение их концентрации и интенсификации, в результате чего существенно изменились объемы образования пыли, ее дисперсный состав, закономерности переноса и интенсивности пылеотложения в горных выработках. Рост содержания наиболее опасных тонких фракций пыли приводит к росту рисков профзаболевания и аварийности, тяжести последствий аварий.

Например, если ранее процессы добычи угля характеризовались содержанием пылевых фракций 0-1 мм от 1 до 3 %, то применение современной техники привело к увеличению содержания этих фракций на выходе из лавы до 8 % и до 14-21 % при транспортировке по горным выработкам [2].

В результате применения высокопроизводительной и высокоэнерговооруженной техники возросло содержание наиболее опасных тонких фракций пыли. При одновременном увеличении скорости подаваемого в забой воздуха происходит увеличение протяженности горных выработок с повышенным риском взрывоопасности пыли. По данным ВостНИИ на большинстве шахт Кузбасса и Воркуты интенсивность пылеотложения достигает уровня, при котором работы по приведению выработок во взрывобезопасное состояние необходимо проводить каждые 15-30 минут работы.

В большинстве случаев требуемый комплекс мер по борьбе с пылью и обеспечению пылевзрывобезопасности выполнить достаточно сложно. Поэтому, зачастую, фактически принимаемые меры не в полной мере соответствуют фактической пылевой обстановке и принимаются не всегда своевременно. Контроль запыленности рудничной атмосферы и пылевзрывоопасности горных выработок продолжает оставаться малоэффективным.

Традиционно считается более

безопасным открытый способ добычи угля. Проведенный анализ условий ведения добычи угля открытым способом показал, что:

- продолжает увеличиваться глубина работ. Общее число разрезов с глубиной ведения горных работ более 100 м достигло 50 (19,4 %);

- в течение 2010-2015 годов снизилось количество опасных зон, обусловленных геологическими факторами, опасных по прорыву воды и у затопленных выработок. Увеличилось на 59 % число опасных зон, обусловленных горнотехническими факторами;

- количество пожароопасных разрезов за последние три года уменьшилось, соответственно снизилось и количество возгораний угля в породных отвалах.

В наиболее сложных условиях в 2015 году работали разрез «Красногорский» АО «Южный Кузбасс», где горные работы ведутся в 29 опасных зонах: 23 обусловлены горнотехническими факторами и 6 - геологическими факторами; глубина карьера до 200 м, 5 возгораний угля в породных отвалах за отчетный год, оползневых явлений не было. В филиале «Бачатский угольный разрез» ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» - 26 опасных зон: 23 - обусловленных геологическими факторами, 1 - опасная по прорыву воды и у затопленных выработок, 2 - обусловленных горнотехническими факторами; глубина карьера до 270 м, 2 возгорания угля в породных отвалах и 10 оползневых явлений за отчетный год. Более 20 опасных зон имеют также Талдинский и Моховский угольные разрезы АО «УК «Кузбассразрезуголь», а также АО «УК «Разрез Степной».

В течение 2015 года на разрезах произошло 66 случаев оползневых явлений. Наибольшее количество таких происшествий зарегистрировано в филиале «Бачатский угольный разрез» ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» - 10 случаев, в АО «Черниговец» - 9 случаев и на угольном разрезе «Коркинский» АО «Челябинская угольная компания» - 7 случаев. В совокупности количество оползневых явлений по этим предприятиям составляет 38,5 % от общего их числа в отрасли. Крупнейший оползень (авария без пострадавших) зарегистрирован на разрезе «Заречный» АО «СУЭК-Кузбасс» где, по данным организации, экономический ущерб оценивается в 2,1 млрд. рублей.

В течение 2010-2015 годов произошло 56 аварий, в которых погибли 51 человек, что составляет 20,2 % всех несчастных случаев со смертельным исходом. Этот период функционирования отрасли характеризуется, как и предыдущие годы, нестабильной положительной динамикой ряда показателей травматизма и аварийности. С 2013 начался очередной цикл снижения аварийности и смертельного травматизма в угольной промышленности (рис. 5).

В 2015 году, как и в 2014 году, на угледобывающих предприятиях зарегистрировано наименьшее с 2005 года число аварий - 8 аварий, из которых 6 произошли на шахтах и 2 - на разрезах. Существенное влияние на снижение аварийности оказало прекращение работ за последние годы более чем на 25 шахтах, уменьшение количества очистных и подготовительных забоев с наиболее сложными и опасными условиями ведения работ.

В авариях в 2015 году погибло 3 человека (в 2014 г. погибли 3 человека и 6 травмировано). Семь аварий произошли в организациях Сибирского федерального округа и 1 - Дальневосточного. Экономический ущерб от аварий составил 3,5 млрд. рублей.

Половина аварий в 2015 году (4 случая) классифицированы как пожары на шахтах и 2 случая как оползни и обрушения бортов на разрезах. Кроме того произошло 1 выделение газов на участке с пожаром и 1 затопление горных выработок.

По отношению к 2010 году количество лиц, получивших производственные травмы, уменьшилось с 1308 до 637 человек в год (в 2,1 раза). За этот период общий травматизм на 1 млн. т добычи уменьшился с 4,05 до 1,7 человек и смертельный 0,45 до 0,09 человек, а на 1 тысячу работающих по основному виду деятельности общий травматизм с 7,9 до 4,5 человек, а смертельный - с 0,87 до 0,22 человек.

В 2015 году была достигнута минимальная численность травмированных смертельно и в 2014 году отраслевой минимум общего травматизма (табл. 1).

В 2014-2015 годах при отсутствии крупных аварий число погибших при добыче угля снизилось в 1,8 раза по сравнению со средним уровнем за 2011-2013 годы; с 2011

по 2015 год количество погибших на 1 млн. т добычи уменьшилось с 0,17 до, а на 1 тысячу работающих по основному виду деятельности – с 0,36 до.

Снижение показателей травматизма сопровождается продолжающимся сокращением численности занятых в отрасли.

Наиболее травмоопасным продолжает оставаться подземный способ добычи. Здесь в рассматриваемом периоде произошло от 51,6 (2015 г.) до 62,7 % (2010 г.) случаев общего и от 34,3% (2015 г.) до 79,2 (2010 г.) и 77 % (2013 г.) смертельного травматизма (табл. 1). При этом не менее 40 % случаев общего и 36 % смертельного травматизма происходит при ведении очистных и подготовительных работ.

В течение 2010-2015 годов на предприятиях угольной отрасли произошло 63 случая группового травматизма, в которых всего пострадал 521 человек. Наибольшее число групповых случаев произошло в 2010 году - 21 случай, в которых пострадали 300 человек. В этом же году произошла и одна из наиболее крупных аварий в отрасли на шахте Распадская. В 2015 году зарегистрировано 9 случаев, против 7 в 2014 и 2013 годах (минимально достигнутый уровень). Всего в 2015 году пострадало 52 человека, в том числе смертельно - 10. При ведении горных работ на разрезах в 2015 году произошло 2 случая группового травматизма и на угольных шахтах таких случаев не зарегистрировано. В период 2011-2015 годы преобладают групповые случаи травматизма на автомобильном транспорте при доставке работников на или с работы.

Несмотря на положительные тенденции угольная отрасль продолжает оставаться наиболее «рискованной» отраслью для здоровья и жизни работающих среди отраслей Российской Федерации. Число смертельно травмированных на 1000 работающих в отрасли в отдельные годы сопоставимо только с аналогичным показателем в рыболовстве (рыбоводстве) (рис. 6) и за период с 2008 года по 2014 превышает общероссийский показатель в отдельные годы от 2 до 10 раз [3-6]. В эти же годы он существенно выше и среднеотраслевого показателя горнодобывающей отрасли.

Частота общего травматизма на

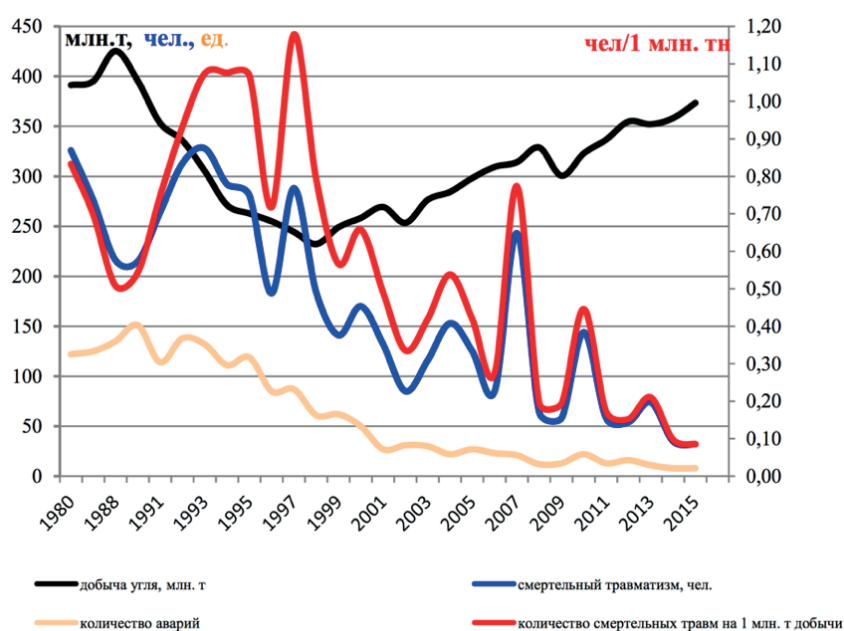


Рисунок 5 - Динамика аварийности и травматизма на угольных шахтах России
Figure 5 - Dynamics of accidents and injuries in the coal mines of Russia

1000 работающих в отрасли в 2015 году по угольным компаниям изменялась от 0,65 до 25,28 чел. (при среднем по отрасли 4,18) и смертельного от 0,073 до 3,39 чел. (при среднем по отрасли 0,259).

Компании, в которых уровни коэффициента общего и смертельного производственного травматизма на 1000 работающих превысили среднеотраслевого приведены на рисунке 7.

В рассматриваемом периоде согласно представленным данным прослеживается тенденция снижения абсолютных потерь рабочего времени от несчастных случаев на производстве. Одновременно потери рабочей силы из-за перевода травмированных на инвалидность и тяжесть полученных травм (оцениваемая количеством дней нетрудоспособности 1 травмированного в год) не имеют такой выраженной тенденции снижения. Они колеблются в определенных пределах и превышают показатели базового 2010 года для рассматриваемого периода (табл. 2).

Характерными для 2015 года видами происшествий при угледобыче (не учитывая «прочие»), продолжают оставаться, как и в прежние годы:

- воздействие машин и механизмов (21,7 % от общего числа полученных травм, 28,1 % всех смертельных случаев);

- падение предметов, техники (11,5 % общего травматизма, 3,1 %

смертельного);

- падение пострадавшего с высоты (11,0 % общего травматизма, 6,3 % смертельного);

- обвалы и обрушения горных пород (11,0 % общего травматизма, 21,9 % смертельного);

- происшествия на наземном транспорте (10,7 % общего травматизма, 21,9 % смертельного).

Наиболее частыми организационными причинами травм в 2015 году, как и в предыдущие годы, остаются:

- неудовлетворительная организация труда, в результате которой пострадало 138 человек, 12 из них погибли;

- нарушение трудовой и производственной дисциплины (75 несчастных случаев, из них 3 смертельных);

- неудовлетворительное содержание рабочих мест (51 случай, 1 смертельный);

- нарушение требований безопасности при эксплуатации транспортных средств (49 случаев, 5 смертельных);

- нарушение технологического процесса (35 случаев, 2 смертельных);

Число травмированных по техническим причинам в 2015 году снизилось по сравнению с 2014 годом:

- при эксплуатации неисправных машин, механизмов, оборудования – с 14 до 9 человек (в 1,6 раза);

- из-за несовершенства техноло-

Таблица 1. Динамика травматизма по основным категориям работников, чел.

Год, травматизм	ВСЕГО	Служащие	ИТР		Рабочие				
			Всего	подземные	всего	подземные	на разрезах	на ОФ	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2010*	Всего, в т.ч.	1308	5	107	86	1176	868	135	62
	травмировано смертельно	144	0	13	9	111	91	13	4
	переведено на инвалидность	101	0	11	9	90	70	12	1
2011**	Всего, в т.ч.	948	7	77	52	864	576	125	47
	травмировано смертельно	58	0	5	3	53	33	17	1
	переведено на инвалидность	83	0	13	10	70	54	10	0
2012	Всего, в т.ч.	977	6	101	78	870	609	111	52
	травмировано смертельно	54	0	5	5	49	26	15	3
	переведено на инвалидность	85	1	15	9	69	53	8	3
2013	Всего, в т.ч.	808	4	82	62	722	488	98	44
	травмировано смертельно	74	1	8	6	65	51	9	3
	переведено на инвалидность	74	1	14	10	59	49	6	0
2014	Всего, в т.ч.	565	2	63	40	500	331	91	32
	травмировано смертельно	35	0	6	3	29	15	8	3
	переведено на инвалидность	68	0	12	9	56	41	7	3
2015	Всего, в т.ч.	637	5	61	42	571	345	125	43
	травмировано смертельно	32	1	4	1	27	9	15	3
	переведено на инвалидность	60	1	7	5	52	44	4	2

* В 2010 г. при ликвидации аварии на ш. Распадская погибло 20 сотрудников ВГСЧ.

** В 2011 г. при добыче угля погибло 9 работников подрядных организаций.

Таблица 2. Относительные среднеотраслевые показатели последствий случаев общего травматизма в угольной промышленности

Наименование	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.
Потери рабочего времени от несчастных случаев на производстве, человеко-дней в год	96 662	79 427	70 729	67 909	51 484	51 028
Количество дней нетрудоспособности 1 травмированного работника, дней /чел в год	74	84	72	84	91	80
Количество работников переведенных на инвалидность на 1 травмированного, чел. /чел. травм. в год	0,077	0,088	0,087	0,092	0,120	0,094

гического процесса – с 11 до 5 человек (в 2,2 раза);

- по причине неудовлетворительного технического состояния зданий, сооружений, территории – с 31 до 14 человек (в 2,2 раза).

Увеличилось с 7 до 11 человек количество работников, травмированных из-за конструктивных недостатков, несовершенства, недостаточной надежности машин, механизмов, оборудования.

В 2015 году не было травм, вызванных взрывами, вспышками газа

и угольной пыли, а также затоплениями и прорывами воды.

Стабильно высокая в 2010-2012 годы доля рабочих мест с вредными условиями труда (около 89 %) за последние три года (2013 – 2015 гг.) начала снижаться. По сравнению с уровнем 2010 года эта доля уменьшилась на 9,7%; причем с 2013 года – на 7,6 %. В целом с 2010 года по 2015 уменьшилось число работников, занятых во вредных и опасных условиях с 91,2 % до 86,8 %.

На 31.12.2015 года из 65 356 ра-

бочих мест прошли аттестацию или специальную оценку условий труда (далее - СОУТ) 61167, что составляет 93,6 %. Среди них 48687 мест или 79,6 % (2014 г. – 84,2 %) не соответствовали санитарно-гигиеническим нормам по одному или нескольким факторам: пыли, шуму, вибрации, температуре и влажности воздуха, освещенности и интенсивности физической нагрузки, а 9 рабочих мест были отнесены к классу 4 (опасные). В шахтах доля рабочих мест не соответствующих санитарно-гигиени-

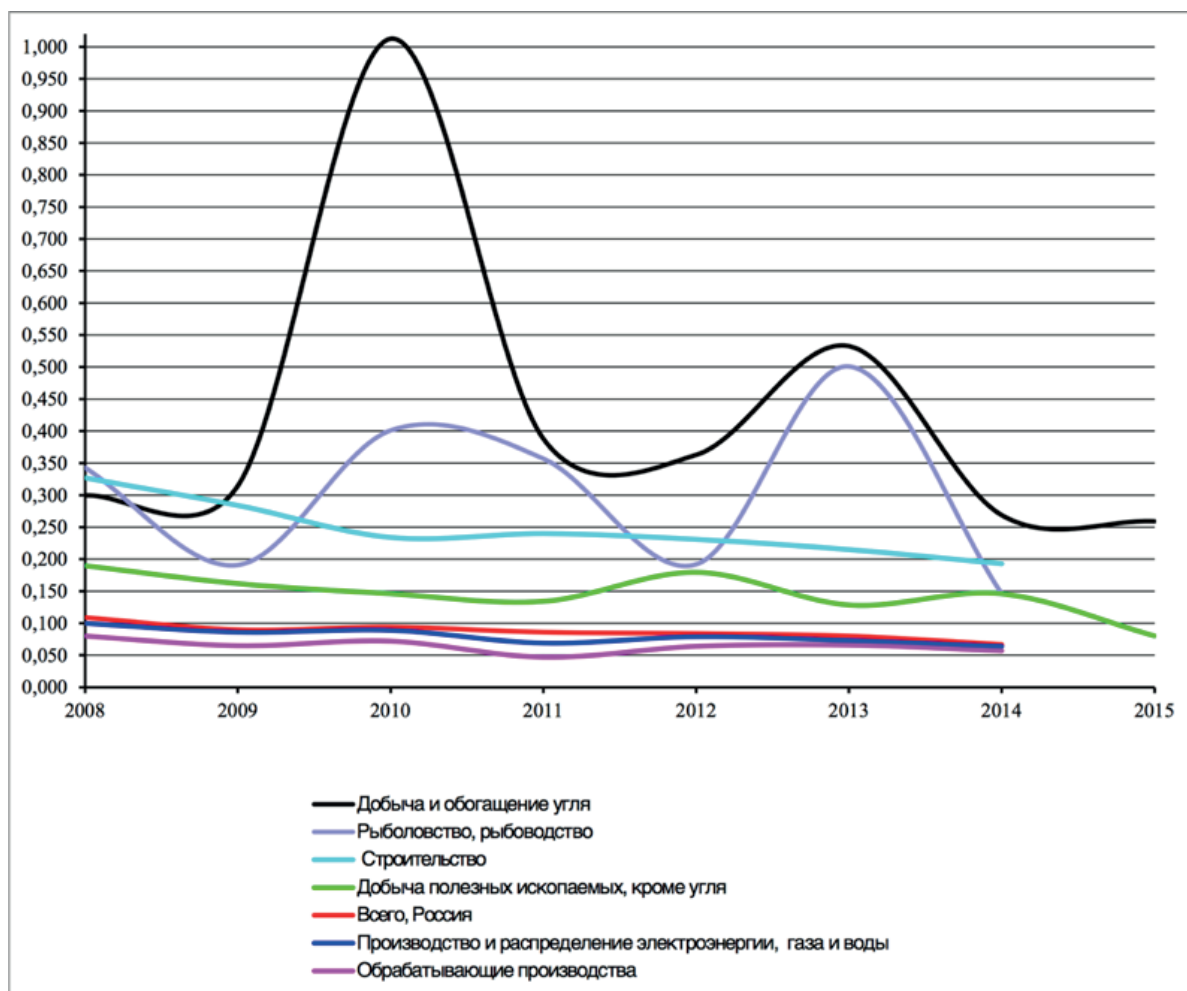


Рисунок 6 - Динамика смертельного производственного травматизма (на 1000 работающих) по основным отраслям России
Figure 6 - Dynamics of fatal industrial injuries (per 1000 employees) by major industries in Russia

ческим нормам составила 87,2 % (в 2014 г. – 90,5 %), на разрезах – 76,5 % (в 2014 г. – 81,5 %), на обогатительных фабриках – 87,0 % (в 2014 г. – 89,7 %). Наиболее тяжелые условия труда зарегистрированы в горных выработках шахт, где 93,9 %, рабочих мест отнесены к классу «вредные».

На рабочих местах с вредными и опасными условиями трудились 130267 работников, или 86,8 % из 150061, занятых на рабочих местах, которые были обследованы (в 2014 г. – 89,7 %).

В сумме по результатам СОУТ и аттестации рабочих мест, проводившейся до введения специальной оценки, из 61167 рабочих мест 3425 мест (5,6 %) не соответствовали условиям по обеспеченности средствами индивидуальной защиты.

Анализ результатов СОУТ показал, что обеспеченность СИЗ была проверена на 26485 рабочих местах, что составило 77,0 % от общего числа обследованных. При этом эффективность СИЗ проверена лишь

на 12564 рабочих местах, или на 36,5 %. Одновременно было установлено, что недостаточно эффективные СИЗ применяют на 1016 рабочих местах, или на 8 %, где эта проверка проводилась.

Несмотря на сокращение доли рабочих мест с вредными факторами снижения числа работников, занятых во вредных и опасных условиях, сохраняются тенденции частоты выявления профзаболеваний. Количество установленных профзаболеваний на 1 тыс. работников за период с 2010 года (4,65) по 2015 год (9,16) увеличилось в 1,97 раз. Эта тенденция наиболее выражена в АО «Донской антрацит», АО «Замчаловский антрацит», АО «Донуголь», ООО «Шахта им. Дзержинского», АО «Шахтоуправление «Обуховская».

Уровень коэффициента тяжести профзаболеваний в отрасли с 2011 по 2014 год вырос почти в 4 раза. В 2015 году этот показатель снизился на 22 %, но при этом остался выше, чем в 2011 году, в 3 раза. Сохраня-

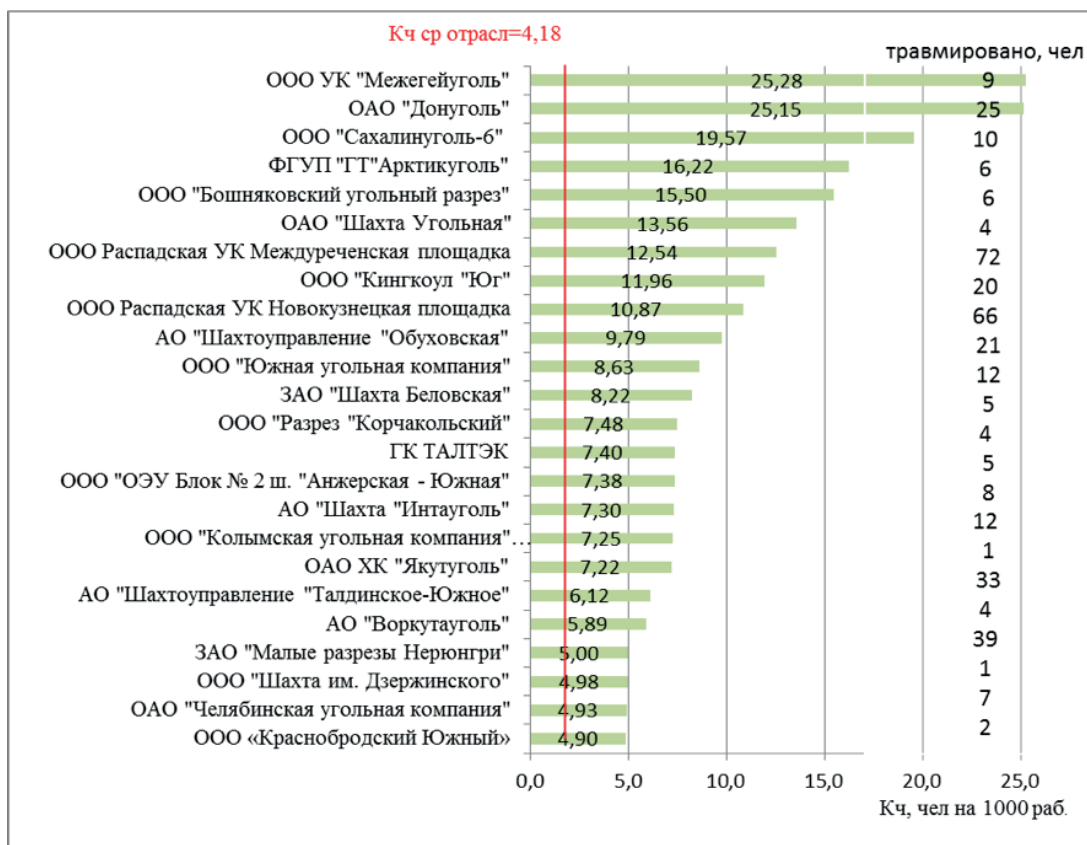
ется тенденция ежегодного увеличения количества профбольных, переведенных на инвалидность: за последние 4 года оно выросло более чем в 2 раза.

В 2015 году среди работавших на угольных предприятиях профессиональные заболевания имели 1804 человек (в 2014 г. – 1825 чел.). Подавляющее большинство из них составляли рабочие – 1668 человек (92,5 %), из которых 860 человек (51 %) были заняты на подземных работах.

Впервые в 2015 году профзаболевания были выявлены у 1396 работников (-9 человек к 2014 г.) Наибольшее количество впервые выявленных случаев профзаболеваний в этом году было в: ООО «Распадская УК» – 214 сл. (15,3 % от общего количества установленных случаев профзаболеваний); АО «Воркутауголь» – 138 сл. (9,9 %); АО «Южный Кузбасс» – 127 сл. (9,1 %); АО «Шахтоуправление «Обуховская» – 93 сл. (6,7 %).

Значение относительного пока-

а



б

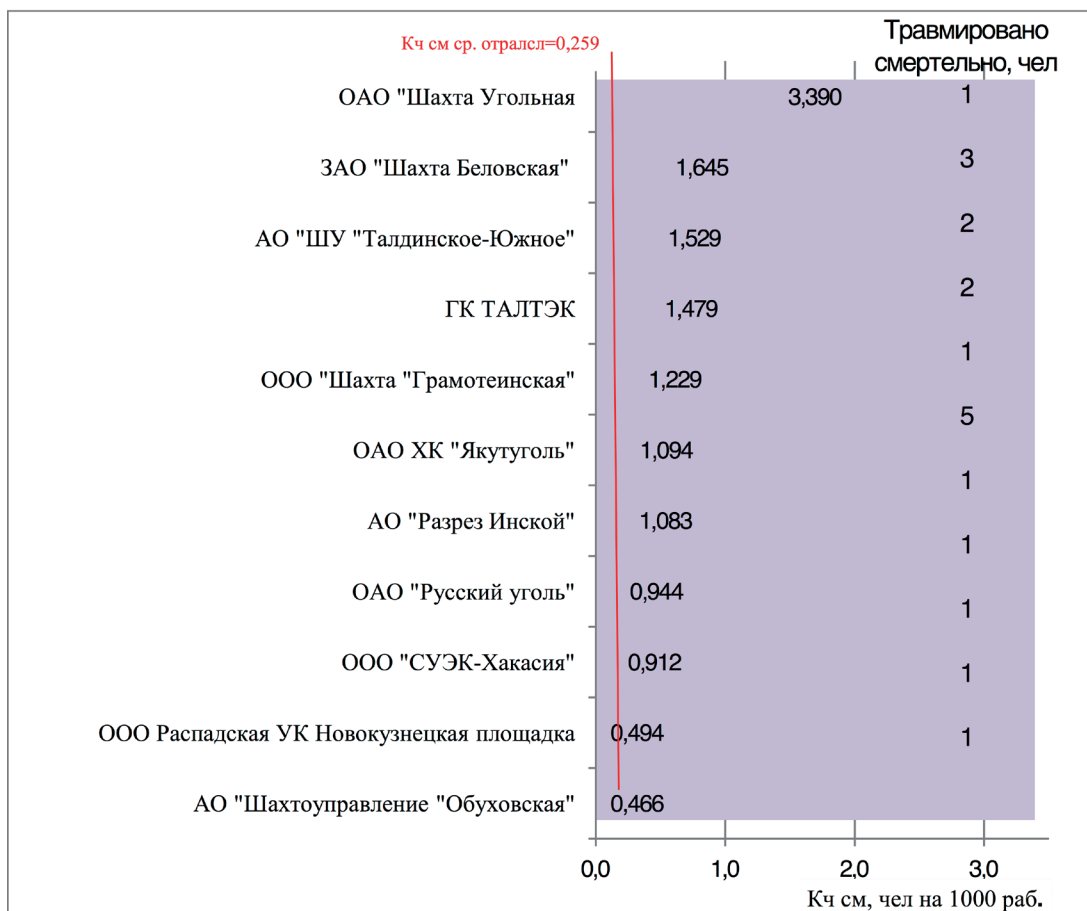


Рисунок 7 - Общий (а) и смертельный (б) производственный травматизма на 1000 работающих
 Figure 7 - Total (a) and fatal (b) occupational injuries per 1000 workers

зателя выявления профзаболеваний на 1000 работающих в 2015 году (9,16) практически осталось по отношению к 2014 году (9,18) неизменным. Наиболее высокие значения этого показателя зарегистрированы на угольных предприятиях Южного (37,5 сл./1000 раб.), Уральского (18,7 сл./1000 раб.) и Северо-Западного (19,0 сл./1000 раб.) федеральных округов.

Временная потеря трудоспособности из-за профзаболеваний в 2015 году составила 34558 чел. дней (меньше, чем в 2014 году, на 9495 чел. дн.), или каждый из работающих профбольных в течении года освобождался от работы на 19,2 дня (2014 г. – 24,1 дня в год). На инвалидность из-за профзаболевания переведено 202 работника, что на 9 человек больше, чем в 2014 году.

В целом по отрасли в 2015 году, как и в предыдущие годы, преобладали заболевания от физических перегрузок – 615 чел. (2014 г. – 614 чел.), на втором месте – вибрационная болезнь – 428 чел. (2014 г. – 395 чел.), на третьем месте заболевания органов дыхания – 361 чел. (2014 г. – 349 чел.). Нейросенсорная тугоухость выявлена у 281 человека (рис.8). Начиная с 2012 года в отрасли преобладают заболевания, обусловленные физическими перегрузками. При этом, число заболевших по этой причине на открытых работах постоянно снижается, а на подземных растет. Устойчиво продолжают оставаться высокими болезни, обусловленные повышенным уровнем вибрации на рабочих местах и органов дыхания (главным образом пылевой итеологии).

Количество вновь выявленных случаев профзаболеваний на шахтах (1248 сл.) оказалось в 3,7 раза больше, чем на разрезах (336 сл.). В шахтах больше всего было установлено заболеваний от физических нагрузок (518 сл.) и заболеваний органов дыхания (336 сл.), на разрезах – вибрационная болезнь (162 сл.) и нейросенсорная тугоухость (82 сл.).

Профзаболеваниям наиболее подвержены рабочие следующих профессий:

в шахтах – горнорабочие очистного забоя (284 случая заболеваний), проходчики (288 случаев), машинисты горных выемочных машин (187 случаев) и электрослесарь подземный (154 случая);

на открытых работах – машинист экскаватора (132 случая) и водитель

автомобиля (71 случай).

Ежегодно уменьшается как абсолютное, так и относительное число работников, получающих хотя бы один вид компенсации за вредные условия труда. С 2011 по 2015 год доля этих работников в списочной численности занятых на работах, связанных с вредностью и опасностью, уменьшилась на 7,9 %: с 94,0 % до 86,1 % (133410 работника).

Доля работников, прошедших медосмотры, в списочной численности занятых по основному виду деятельности в 2015 году несколько выросла по отношению к предыдущим четырем годам. С 2011 года она увеличилась на 8,7 %.

В 2015 году количество работников, прошедших медосмотр, составило 122449 чел., или 85,7 % от списочной численности занятых по основному виду деятельности. В процентном отношении это больше, чем в 2014 г. (80,1 %) и в 2013 г. (77,6 %). Низкий уровень охвата медосмотрами был отмечен в организациях: АО «Донуголь» (осмотрено 40 % работающих по основному виду деятельности), ЗАО «Сибирский антрацит» (33 %), ЗАО «Стройсервис» (45 %). В ООО «Кингкоул Юг» осмотры в 2015 году не проводились.

Стабильно низким остается оздоровление работников за счет организации. В рассматриваемые годы численность оздоровленных мало изменилась и составляет от 7 % до 9 % от списочной численности занятых по основному виду деятельности.

В 2015 за счет предприятия было оздоровлено свыше 11 тысяч человек или всего 7,8 % занятых на основных видах деятельности. Даже в компаниях, традиционно проводящих наиболее активно оздоровительное лечение работников, максимальное число оздоровленных составляло от 4,6 % до 19,3 % занятых на этих работах. Очевидно, что этого недостаточно для полноценной профилактики заболеваний и лечения заболевших. Осложняется положение и тем, что на 28 шахтах и 36 разрезах ни один работник в 2015 году не был оздоровлен за счет организации.

В связи с тем, что в 2015 году медосмотр прошло только около 85 % от среднесписочной численности занятых по основному виду деятельности, можно полагать, что фактическая профзаболеваемость в отрасли выше.

Учитывая, что в организациях сохраняется большое количество рабочих мест с вредными и опасными условиями труда, недостаточное качество медицинских осмотров и охват работающих оздоровительными мероприятиями, снизить уровень профессиональной заболеваемости в отрасли в ближайшее время мало вероятно.

Начиная с 2014 года наметилось снижение количества работников, не прошедших обучение по промышленной безопасности, при этом такой положительной тенденции не наблюдается в подготовке специалистов в сфере охраны труда. Однако радикального изменения общей картины в области обязательного обучения по промышленной безопасности и охране труда не произошло. Количество работников, не прошедших это обязательное обучение, остается весьма высоким и насчитывает тысячи человек.

Так, в 2015 году подлежало обучению, аттестации или сдаче экзаменов по промышленной безопасности 8 748 специалистов и 61589 рабочих. Из них не прошли обучение и проверку знаний 461 специалист (2014 г. – 700) и 1388 рабочих (2014 г. – 2925). Среди работников, подлежащих обучению и проверке знаний по охране труда (125980 человек: 11698 специалистов и 114282 рабочих), эти процедуры не прошли 4088 человек (2014 г. – 3383 чел.): 940 специалистов и 3148 рабочих.

Количество работников, не прошедших вовремя обучение, продолжает оставаться недопустимо высоким.

В 2015 г. затраты на промышленную безопасность и охрану труда составили 9992,1 млн. руб. По сравнению с уровнем 2014 года они увеличились в номинальном выражении на 289,4 млн. руб., или на 3,0 %, однако в ценах 2014 г. – уменьшились на 852,3 млн. руб., или на 8,8 %. Наибольшая часть средств была затрачена на мероприятия по предупреждению опасных и вредных производственных факторов – 41,9 % от суммы затрат и по статье расходов «Прочие» – 22,7 %.

Удельный показатель затрат на промышленную безопасность и охрану труда на сто тонн добычи по сравнению с уровнем предыдущего года уменьшился с 2,71 до 2,68 тыс. руб. и оказался наименьшим за последние четыре года, а с учетом инфляции – за весь период с 2009

года. На фоне постоянно увеличивающейся полной себестоимости тонны угля доля затрат на промышленную безопасность и охрану труда в ней уменьшается (рис. 9)

Необходимо отметить, что затраты на мероприятия по охране труда и промышленной безопасности в угольных организациях России за последние 15 лет в ценах 2001 года выросли в 1,4 раза.

Концентрация и интенсификация ведения горных работ, рост производительности в усложняющихся условиях ведения горных работ, приводят к существенному изменению уровня рисков и повышению их значимости.

Для снижения уровня рисков возникновения аварий и травматизма необходимо постоянно усложнять и увеличивать объемы мероприятий по обеспечению безопасности. Квалификация персонала, инновационность технологий обеспечения безопасности, своевременность и качество принимаемых мер, приобрели решающее значение. Все большую роль играют «человеческий фактор», системы управления газовыделением, пылевым режимом, пожарной безопасностью.

Многие годы основными причинами аварийности являются: нарушения требований норм безопасности и документации на ведение работ, неисполнение должностных инструкций, низкая производственная дисциплина, недостаточная квалификация работников предприятий, неудовлетворительные содержание рабочих мест и организация работ.

Системно нарушаются требования промышленной безопасности при эксплуатации шахтного транспорта и энергомеханического хозяйства; проветривании и обеспечении пылегазового режима; обеспечении противопожарной защиты; ведении проектной, технологической и эксплуатационной документации; маркшейдерском обеспечении горных работ.

Анализ типологии несчастных случаев и заболеваемости на производстве так же свидетельствует о постоянстве их основных причин на протяжении многих лет.

По сравнению с 80-м годом прошлого столетия число погибших в отрасли сократилось практически в 10 раз и аварий в 15. Однако все еще не достигнуто стабильное снижение аварийности, смертельного

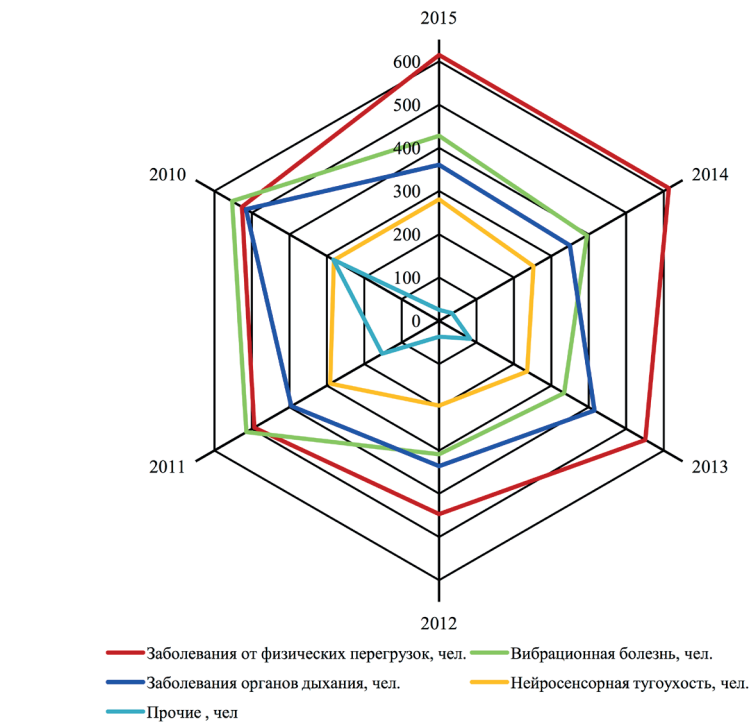


Рисунок 8 - Изменения заболеваемости на предприятиях угольной отрасли
Figure 8 - Changes in morbidity in coal industry enterprises

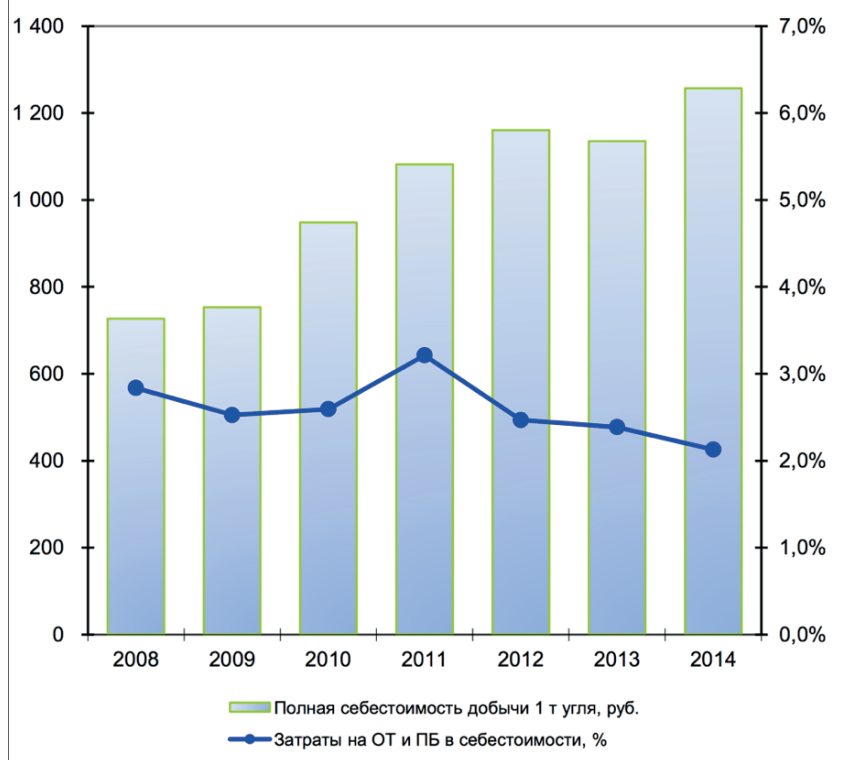


Рисунок 9 - Динамика изменения полной себестоимости тонны угля и доли в ней затрат на промышленную безопасность и охрану труда
Figure 9 - Dynamics of changes in the total cost of a ton of coal and its share in the costs of industrial safety and labor protection

травматизма, тяжести последствий аварий. Продолжает оставаться на неприемлемом уровне травматизм и профессиональная заболеваемость. Если принимаемые меры и привели к определенным положительным результатам по снижению травматизма, то при этом они не

оказали такого же воздействия на профзаболеваемость и ее последствия. Недостаточными они оказались и в области оздоровления персонала.

Сложившиеся подходы обеспечения безопасности работ в значительной мере инерционны и не

приводят к требуемым результатам. Производственный травматизм и аварийность, профессиональная заболеваемость приводят не только к материальным и моральным потерям для работников и работодате-

лей, но и влияют на формирование облика отрасли. Назрела необходимость перехода угольных компаний на новые современные модели снижения возможных рисков при разработке месторождений, базиру-

ющихся на принципах социальной ответственности ведения бизнеса и научном сопровождении развития производства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нормативные требования по применению способов и схем проветривания угольных шахт, утверждены приказом Ростехнадзора от 31.05.2011 № 262 // Российская газета. - № 168. - 2011.
2. Лебецки К.А., Романченко С.Б., Пылевая взрывоопасность горного производства. М.: Издательство "Горное дело", 2012. 464 с.
3. Доклад «О реализации государственной политики в области условий и охраны труда в Российской Федерации в 2012 году». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.rosmintrud.ru/docs/mintrud/salary/9>
4. Доклад «О реализации государственной политики в области условий и охраны труда в Российской Федерации в 2013 году». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.rosmintrud.ru/docs/mintrud/salary/15>
5. Доклад «О реализации государственной политики в области условий и охраны труда в Российской Федерации в 2014 году». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.rosmintrud.ru/docs/mintrud/salary/24>
6. Статистические формы 2-ТБ уголь за 2010-2015 годы.

REFERENCES

1. Normativnyye trebovaniya po primeneniyu sposobov i skhem provetrivaniya ugol'nykh shakht, utverzhdeny prikazom Rostekhnadzora ot 31.05.2011 № 262 [Normative requirements for the application of methods and schemes for the ventilation of coal mines, order of Rostekhnadzor of 31.05.2011 № 262]. (2011). *Rossiiskaia hazeta - Russian Newspaper*, 168 [In Russian]
2. Lebetzki, K. A., & Romanchenko, S. B. (2012). *Pylevaya vzryvoopasnost' gornogo proizvodstva [Dust explosiveness of mining]*. Moscow: Izdatel'stvo "Gornoye delo" .. [In Russian]
3. *Doklad «O realizatsii gosudarstvennoy politiki v oblasti usloviy i okhrany truda v Rossiyskoy Federatsii v 2012 godu» [Report "On the implementation of the state policy in the field of labor conditions and labor protection in the Russian Federation in 2012"]*. (2013, July 09). Retrieved from <http://www.rosmintrud.ru/docs/mintrud/salary/9>
4. *Doklad «O realizatsii gosudarstvennoy politiki v oblasti usloviy i okhrany truda v Rossiyskoy Federatsii v 2012 godu» [Report "On the implementation of the state policy in the field of labor conditions and labor protection in the Russian Federation in 2013"]*. (2014, July 02). Retrieved from <http://www.rosmintrud.ru/docs/mintrud/salary/15> [In Russian]
5. *Doklad «O realizatsii gosudarstvennoy politiki v oblasti usloviy i okhrany truda v Rossiyskoy Federatsii v 2012 godu» [Report "On the implementation of the state policy in the field of labor conditions and labor protection in the Russian Federation in 2013"]*. (2015, October 03). Retrieved from <http://www.rosmintrud.ru/docs/mintrud/salary/24> [In Russian]
6. *Statisticheskiye formy 2-TB ugol' [Statistical forms of 2-TB charcoal] (Rep.)*. (2010-2015). Moscow.



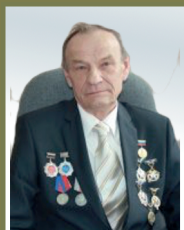
на правах рекламы

I. ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ГЕОМЕХАНИКА INDUSTRIAL SAFETY AND GEOMECHANICS

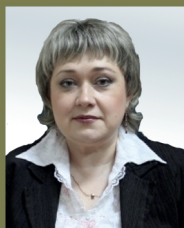
УДК 622.121

ИЗУЧЕНИЕ ГАЗОКИНЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ КУЗБАССА

STUDY OF GAS-KINETIC CHARACTERISTICS OF KUZBASS COAL-BASED PLASTS



Г. Я. Полевщиков
gas_coal@icc.
kemsc.ru



Е. Н. Козырева
gas_coal@icc.
kemsc.ru



А. А. Рябцев
gas_coal@icc.
kemsc.ru



Р. И. Родин
gas_coal@icc.
kemsc.ru



Е. С. Непенна
gas_coal@icc.
kemsc.ru

Г. Я. Полевщиков - доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник ФГБНУ «ФИЦ УУХ СО РАН», Россия, 650065, г. Кемерово, пр-т Ленинградский, 10

Е. Н. Козырева - канд. техн. наук, заведующий лабораторией, ИУ ФИЦ УУХ СО РАН, Россия, 650065, г. Кемерово, пр-т Ленинградский, 10

Е. С. Непенна - ведущий инженер, ИУ ФИЦ УУХ СО РАН, Россия, 650065, г. Кемерово, пр-т Ленинградский, 10

А. А. Рябцев - ведущий инженер, ИУ ФИЦ УУХ СО РАН, 650000, Россия, 650065, г. Кемерово, пр-т Ленинградский, 10

Р. И. Родин - младший научный сотрудник, ИУ ФИЦ УУХ СО РАН, Россия, 650065, г. Кемерово, пр-т Ленинградский, 10

G. Ya. Polevshchikov - Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher, FRC CCC SB RAS, 10, Leningradsky Avenue, Kemerovo, 650065, Russia

E. N. Kozyreva - Cand. Tech. In Science, Head of Laboratory, FRC CCC SB RAS, 10, Leningradsky Avenue, Kemerovo, 650065, Russia

E. S. Nepeina - Leading Engineer, FRC CCC SB RAS, 18, Leningradsky Avenue, Kemerovo, 650065, Russia

A. A. Ryabtsev - Lead Engineer, FRC CCC SB RAS, 10, Leningradsky Avenue, Kemerovo, 650065, Russia

R. I. Rodin - junior researcher, FRC CCC SB RAS, 10, Leningradsky Avenue, Kemerovo, 650065, Russia

Представлены результаты разработки методов и изучения газокинетических характеристик угольных пластов. Доказано, что наиболее приемлемой моделью состояния метана в угле являются представления о существовании твердых углеметановых растворов. Газоносность блоков угля в приконтурной части выработки зависит от действующих напряжений и при их снижении пропорционально снижается, формируя давление свободного газа в фильтрующих трещинах и активизируя поверхностную сорбцию. Приведены данные о газоносности приконтурной части пласта, удельной энергии и начальной мощности газовыделения из проб газоносного угля, механизме и значимости влияния сорбционных свойств угля на возникновения динамических газопроявлений.

The results of developing methods and studying gas-kinetic characteristics of coal seams are presented. It is proved that the most acceptable model of the state of methane in coal is the idea of the existence of solid carbon methane solutions. The gas content of coal blocks in the contour part of the mine depends on the operating stresses and decreases proportionally as they decrease, forming a free gas pressure in the filter cracks and activating surface sorption. The data on the gas content of the near-bed part of the reservoir, the specific energy and initial power of gas evolution from gas-bearing coal samples, the mechanism and significance of the effect of the sorption properties of coal on the occurrence of dynamic gas manifestations are given.

Ключевые слова: УГОЛЬНЫЙ ПЛАСТ, ГАЗОНОСНОСТЬ, ТВЕРДЫЙ УГЛЕГАЗОВЫЙ РАСТВОР, ГАЗОВЫДЕЛЕНИЕ ПРИ РАЗРУШЕНИИ, УДЕЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ И НАЧАЛЬНАЯ МОЩНОСТЬ, МЕТАНОЕМКОСТЬ, НАПРЯЖЕНИЯ, ВЫБРОСООПАСНОСТЬ

Key words: COAL PLASTER, GAS STABILITY, SOLID UGLE-GAS SOLUTION, GAS DIVISION WITH DESTRUCTION, SPECIFIC ENERGY AND INITIAL CAPACITY, METALLICITY, VOLTAGES, EMISSIONS

Основой проектирования режимов проветриваний шахт и оценки эффективности технологических решений по управлению метанообильностью и газодинамической безопасностью является информация о газокинетических характеристиках угольных пластов (газоносность, скорость газотдачи при снижении напряжений и разрушении, удельная энергия выделяющегося газа и начальная мощность). Актуальность этой задачи значительно возросла при широком внедрении в практику горных работ высокопроизводительных технологий добычи угля. В динамично изменяющихся горнотехнологических условиях стало явно недостаточно геологоразведочных данных на основе весьма редкой сети пробуренных с поверхности скважин и применения закономерностей, установленных накопленным в предшествующие десятилетия горным и научным опытом. Все большее количество работ ориентируется на оценку свойств и состояний пласта непосредственно при проведении горных выработок. Отходят на второй план представления о газоносности пласта как системе сорбатов - сорбент [1], разрабатываются новые модели состояний многокомпонентного геоматериала в т.ч. и весьма оригинальные: генерация метана в угольных пластах [2, 3], синтеза радикалов при разрушении угля [4], кристаллогидратная форма существования метана [5].

Физическая модель состояний метана в угольных пластах.

Фундаментальный научный задел в области описания газоносных пластов как углеметановых геоматериалов сформулирован российскими учеными в 80-х годах прошлого века [6, 7],

а в 90-х годах он признан научным открытием [8] и в последние годы активно развивается [9-12]. Открыто свойство «органического вещества угля образовывать с газами метастабильные однофазные системы по типу твердых растворов, возникновение которых происходит как в результате метаморфизма угля, так и в результате внедрения газа в межмолекулярное пространство угля при совместном воздействии газового давления и механической нагрузки».

Из приведенной формулы открытия твердых углегазовых растворов (ТУГР) следует, что (рис. 1) при неизменных напряжениях газ в пласте может сохраняться сколь угодно долго. При снижении напряжений в зоне влияния горных работ метан выделяется из блоков твердого раствора в трещинно-пористую систему, формируя в трещинах градиент давления свободного газа и, соответственно, фильтрационный поток в направлении к обнаженной поверхности.

Поскольку исходная механическая нагрузка (литологическое давление) в 2,5 раза больше гидродинамического давления в трещинах (кливаж), по которым фильтруются подземные воды, то потенциально возможное повышение давления, выделяющегося из блоков метана (диффузия), в значительной мере определяется снижением механических напряжений. В результате давление газа в пустотности блока возрастает, соответствующая часть перешедшего в свободное состояние метана дополнительно адсорбируется поверхностью макропор и микротрещин, снижая прирост давления газа. Чем выше активный сорбционный потенциал угля, тем больше его влияние на «демпфирование» динамики давления свободного метана. Повы-

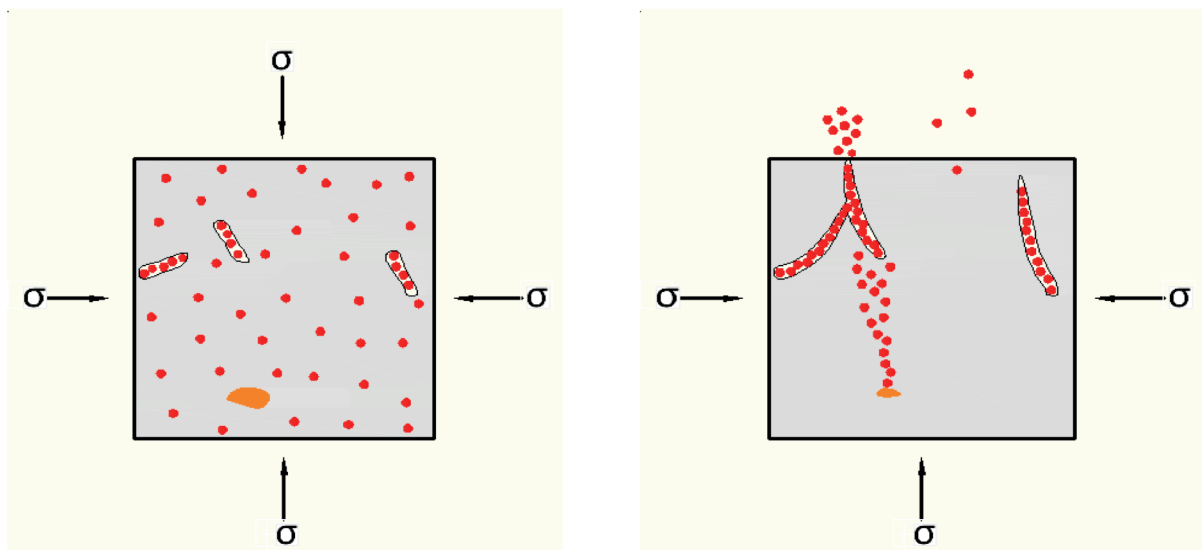


Рисунок 1 – Физическая модель состояний углеметановых геоматериалов
Figure 1 - Physical model of states of carbon methane geomaterials

шенное давление в пустотах блока относительно давления в трещинах инициирует развитие в нем микродислокаций в микро и мезотрещины с их выходом на берега фильтрующих трещин. Формируется градиент давления для движения газа к поверхности выработки или скважины с вытеснением воды. Согласно закону фильтрации влияние газопроницаемости линейно, а давления газа квадратично, следовательно, динамика газоистощения пласта определяется преимущественно интенсивностью распада ТУГР при снижении напряжений. Отметим:

- градиент давления в системе фильтрующих трещин определяет условие газодинамической устойчивости приконтурной части пласта [13, 14], а давление газа в микро и мезотрещинах блока относительно давления в оконтуривающих трещинах определяет условие его диспергирования до частиц, способных перемещаться в потоке расширяющегося газа («волна дробления», «волна выброса» [15, 16]);

- в силу меньшей связанности адсорбированного метана с поверхностью угля по сравнению с «растворенным» при, например, разрушении предварительно разгруженного, но не дегазированного угля начальная скорость газовой выделения будет значительно выше [13].

Согласно вышеизложенному, принимаем, что снижение механических напряжений предшествует распаду ТУГР. Тогда, для изолированного от выработки блока справедливы соотношения

$$\sigma_2 + P_0 \leq \sigma_1, \text{ МПа}, P_0 = X_{ce} P_{am} / \Pi_y, \text{ МПа}, \quad (1)$$

где $\sigma_1 > \sigma_2$ – соответственно начальные и действующие напряжения, МПа; P_0 – избыточное давление свободного газа, МПа; X_{ce} – приведенное к нормальным условиям количество свободного метана в пустотах блока угля, $\text{м}^3/\text{м}$; P_{am} – атмосферное давление, МПа; Π_y – объем пустот в блоке угля, $\text{м}^3/\text{м}$.

Размеры блока угля соответствуют расстоянию между фильтрующими трещинами в пласте, обеспечивающими его водопроницаемость. При распаде ТУГР эти размеры могут уменьшаться за счет развития в блоке закрытых мезотрещин (микродислокаций в структуре угля) с выходом их на берега фильтрующих трещин (рис.1). Эта перспектива определяется условием:

$$P_0 - P_\phi \geq [\sigma_p], \text{ МПа}, \quad (2)$$

где P_ϕ – давление в ограничивающих блок фильтрующих трещинах, МПа; $[\sigma_p]$ – предельные растягивающие напряжения для блока угля в условиях неравно компонентного сжатия, МПа.

Динамика перехода газа из одного мета-

стабильного состояния в другое соответствует закону сохранения массы, в нашем случае, отражающем изменение структуры газонасыщенности пласта по формам существования метана

$$X_1(\sigma_1) - X_2(\sigma_2, P_\phi, t) = X_{ce}(P_\phi, \Pi_y, t) + X_a(P_\phi, A, B, T, t) + X_0(X_{ce}, X_a, K_\phi, R_\phi, t), \text{ м}^3/\text{м}, \quad (3)$$

где $X_1(\sigma_1) > X_2(\sigma_2, P_\phi, t)$ – газонасыщенности ТУГР, соответствующие σ_1 и $(\sigma_2 + P_\phi)$, $\text{м}^3/\text{м}$; t – время с момента снижения напряжений, с; X_a – адсорбированный метан, $\text{м}^3/\text{м}$; A, B – константы изотермы сорбционной метаноемкости угля, $\text{м}^3/\text{м}$, $1/\text{МПа}$, соответственно; T – температура в пласте, градус; X_0 – диффундировавший метан, $\text{м}^3/\text{м}$; K_ϕ – коэффициент диффузии метана из блоков угля; R_ϕ – приведенный размер блока угля, м.

В условиях газодинамической связи поверхности блока с обнаженной поверхностью пласта через систему фильтрующих трещин

$$X_\phi(t) = \Delta X_\phi(P_\phi, K_\phi, t, L, P_{am}), \text{ м}^3/\text{м}, \quad (4)$$

где X_ϕ – увеличение объема фильтрующегося к обнаженной поверхности пласта метана на интервале R_ϕ , $\text{м}^3/\text{м}$; K_ϕ – коэффициент газопроницаемости пласта; L – расстояние от блока до обнаженной поверхности пласта, м.

Поскольку закон диффузии применим лишь к свободному метану, а газ в составе ТУГР связан напряжениями, то все слагаемые в равенстве (3) являются затухающими во времени функциями. Их общая асимптота при $t \rightarrow \infty$ определяется условием:

$$P_\phi = P_0 \quad (5)$$

Вне зоны влияния горных работ наличие в пласте значимых объемов свободного и, следовательно, адсорбированного метана в открытых порах и трещинах невозможно, так как за геологический период времени газ, диффундируя в систему фильтрующих трещин, «вымывается» из них потоками подземных вод. По этой причине измеряемое через пробуренную скважину давление газа в пласте даже в наиболее благоприятной ситуации (оперативная и надежная герметизация измерительной камеры) лишь приближается к гидростатическому давлению, то есть в общем случае следует принимать

$$P_\phi \geq P_{z.d.} > P_{am}, \quad (6)$$

где $P_{z.d.}$ – гидродинамическое давление в фильтрующих трещинах, МПа.

При наличии в пласте свободной воды и связи с дневной поверхностью, гидродинамическое давление на блок угля при $\sigma_1 = const$ не столько поддерживает существование небольшой части метана в свободном и адсорбированном состоянии (3 и 5), а, аналогично действию литологического давления вышележащих пород, создает свою часть напряжений в блоках (блок

водонепроницаем). Из соотношения плотности пород и воды следует, что эта часть может повысить газоносность ТУГР до 40 %, если величина гидродинамического давления не снижается за геологические периоды времени. Отметим, что регистрируемое на малых глубинах некоторых участков месторождений снижение газоносности пластов в зонах их высокой влажности имеет принципиально другие причины (генезис ТУГР), а в уравнении (3) вводится фактическая газоносность пласта.

Обоснованность приведенного описания газокинетических особенностей ТУГР можно проиллюстрировать опытом дегазации угольных пластов.

На глубинах залегания до 300 м, где гидродинамика месторождения относительно активна, снижение газоносности неразгруженного от горного давления пласта через пластовые скважины составляет до 40 % при технологически приемлемых параметрах. Дегазационная скважина, пересекая сеть фильтрующих трещин, снижает в них давление воды, что приводит к распаду соответствующей части ТУГР в межтрещинных блоках угля, диффузии из них метана (3) с формированием давления газа в фильтрующих трещинах и вытеснением воды к скважине. Водоприток требует установки на дегазационных трубопроводах специальных водоотделителей. Снижение газоносности блоков, начинающееся с берегов трещин, приводит к усадке угольного вещества и, следовательно, к некоторому снижению механических напряжений в зоне усадки с дополнительным распадом ТУГР. Но интегральное влияние этой особенности не велико, так плотность природных фильтрующих трещин мала. Резкое увеличение плотности обеспечивается гидроразрывом пласта с соответствующим ростом эффективности дегазации, но только после вытеснения воды из системы трещин, что, как показывает опыт применения скважин пробуренных с поверхности, требует периода времени до двух лет.

На глубинах больше 300 м значительная часть природных трещин закрыта, их гидродинамическая связь с дневной поверхностью понижена, и газоносность ТУГР зависит в основном от литологического давления. Поступление воды в дегазационные скважины практически отсутствует. Эффективность дегазации неразгруженных от горного давления пластов на глубинах 500 – 700 м по данным выполненного с участием авторов мониторинга дегазационных систем составляет менее 10 % при плотности бурения скважин 3 – 5 м и продолжительности их работы

более одного года. Даже весьма затратные технологии гидроразрывов пласта на значительной площади не достигают необходимого эффекта. Гидродинамическое давление в трещинах и геостатическое в блоках угля в результате их упругого восстановления после гидроразрыва пласта выравниваются, состояние ТУГР остается практически неизменным и приток метана из блоков, необходимый для осушки фильтрующих трещин большой протяженности через удаленную скважину, минимизируется. Для достижения эффекта более перспективна технология поинтервального ориентированного гидроразрыва пласта непосредственно через дегазационную скважину [17], когда радиус гидроразрыва составляет несколько метров и для оперативного вытеснения воды из трещин гидроразрыва не требуется больших градиентов давлений газа.

Оценка физико-химических особенностей угольных пластов.

Общими признаками всех типов динамических газопроявлений от высыпаний угля с повышенным газовыделением до собственно выбросов угля и газа является внезапность, лавинообразность, очаговый характер и приуроченность к пластам средней стадии метаморфизма. Одним из признаков склонности пласта к внезапным выбросам является изменчивость свойств по трассе проведения выработки. Эти особенности заставляют более подробно проанализировать физико-химические свойства углей, в первую очередь с позиций устойчивости связи уголь-метан.

Основываясь на представлениях об угле-метановом пласте, как системе «сорбент – сорбат» во второй половине прошлого века в СССР и за рубежом были проведены широкомасштабные исследования этих свойств. В результате получены эмпирические зависимости для расчета сорбционной метаноёмкости. Не затрагивая вопроса адекватности этой физико-химической модели природным свойствам и состояниям углеметановых геоматериалов, представляет интерес более подробно рассмотреть особенности сорбционной способности проб углей, отобранных на пластах различных стратиграфических групп. Информационной базой этих исследований может служить изданный ВостНИИ в 1968 г. каталог [18], который содержит данные по 728 пробам угля, отобранным на основных месторождениях Кузбасса. Диапазоны изменения значений достаточно полно охватывают свойства каменных углей Кузнецкого бассейна: $0,7\% \leq W \leq 9\%$; $1,3\% \leq \Pi \leq 30\%$; $7\% \leq V^{daf} \leq 45\%$; $30 \text{ м} \leq H \leq 1050 \text{ м}$ (W – аналитическая влажность, %;

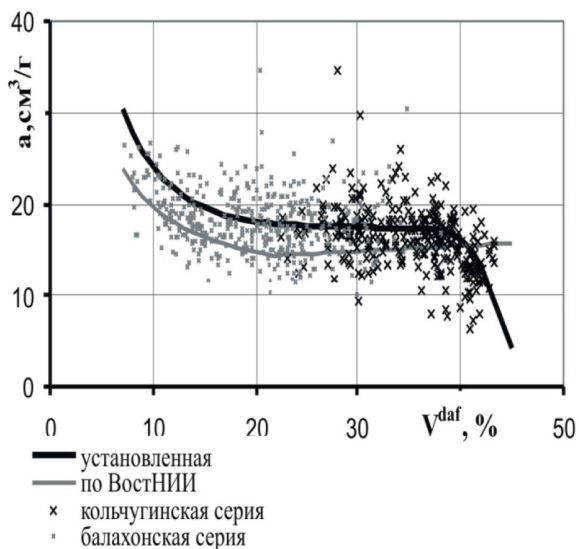


Рисунок 2 – Зависимость предельной сорбционной метаноемкости углей Кузбасса от выхода летучих веществ
 Figure 2 - Dependence of the limiting sorption methane capacity of Kuzbass coal from the yield of volatile substances

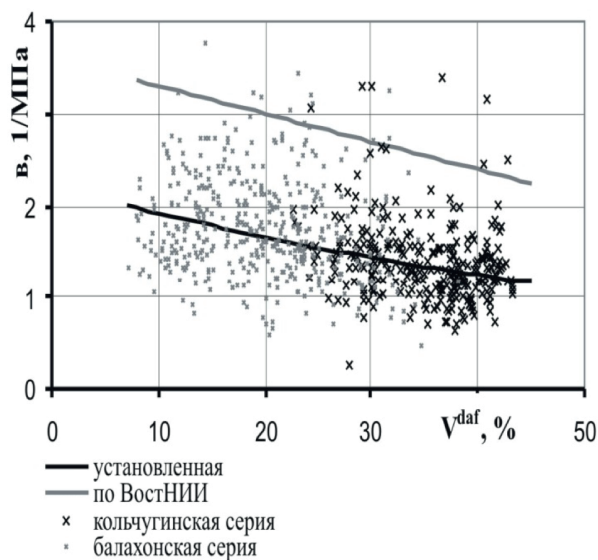


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента сорбции углей Кузбасса от выхода летучих веществ
 Figure 3 - Dependence of the coefficient of sorption of coal from Kuzbass from the release of volatile substances

P – пористость, %; V^{daf} – выход летучих веществ, %; H – глубина залегания пласта в точке отбора пробы, м). Сорбционная метаноемкость измерялась в диапазоне установившихся давлений метана 0,1 ÷ 4 МПа.

В полученных зависимостях (на рисунках 2 и 3) явно выделяется интервал V^{daf} (17 ÷ 33%), в котором предельная сорбционная метаноемкость каменных углей остается практически постоянной, а коэффициент сорбции продолжает изменяться (использовано уравнение Ленгмюра).

Согласно теории устойчивости систем, подобное поведение свидетельствует о существовании некой области, в которой система меняет характеристики устойчивости. Точку смены градиентов устойчивых изменений называют точкой бифуркации. Это качество связи отражается (рис. 4) графиком изменения начальной интенсивности сорбционной метаноемкости (первая производная уравнения Ленгмюра при $P=0$) с ростом предельной сорбционной метаноемкости каменных углей. Из рисунка видно, что смена градиентов устойчивых изменений с ψ_1 на ψ_2 происходит в точке $a_{кр} \approx 12 \text{ см}^3/\text{г}$.

Полученный результат позволяет заключить, что экспериментально установлена бифуркация параметров сорбционной метаноемкости углей. Эффект заключается в смене, по мере роста предельной сорбционной метаноемкости углей ($7 \text{ см}^3/\text{г} \leq a \leq 17 \text{ см}^3/\text{г}$), градиента устойчивых изменений начальной интенсивности сорбционной метаноемкости ($8 \text{ см}^3/\text{г} \cdot \text{МПа} \leq G \leq 28 \text{ см}^3/\text{г} \cdot \text{МПа}$). Смена с $\psi_1=1,5 \text{ 1/МПа}$ на $\psi_2=2,0 \text{ 1/МПа}$ происходит в интервале $10 \text{ см}^3/\text{г} \leq a \leq 12 \text{ см}^3/\text{г}$. В

правой части рисунка 4 приведены статистические данные о минимальной выбросоопасной глубине отработки пластов основных подсерий Кузбасса. Видим соответствие критической глубины с интервалом бифуркации.

Установленная особенность позволила более полно использовать основы теории устойчивости систем [19] для оценки изменения энергии состояний природных углеметановых геоматериалов. Необходимость этого подхода обусловлена тем, что детализация данных геологической разведки о газоносности пластов по 13900 их пересечениям скважинами оказалась практически невозможной (рис.5).

На основании указанной теории путем аппроксимации газоносности уравнением Ленгмюра получено выражение для количественной оценки энергии полураспада ТУГР

$$E_{np} = 0,25 A/B, \text{ кДж/кг}, \quad (7)$$

где A – предельная газоносность пласта, $\text{м}^3/\text{м}$; B – градиент газоносности, $1/\text{МПа}$.

Величины A и B установлены по геологоразведочным данным для пластов с различным выходом летучих веществ

$$\begin{aligned} A &= 11 - 0,102V^2 + 4,98V, \text{ м}^3/\text{м}; \\ B &= 0,00013V^2 - 0,0069V + 0,12, \text{ 1/МПа}. \end{aligned} \quad (8)$$

Полученные результаты (рис.6) в отличие от рисунка 5 достаточно четко выделяют стратиграфические структуры Кузбасса по их газодинамической активности.

На основании этих данных можно заключить, что углеметановый пласт следует рассматривать как систему элементов с существенно различными характеристиками физико-химической устойчивости. При внедрении выработки в

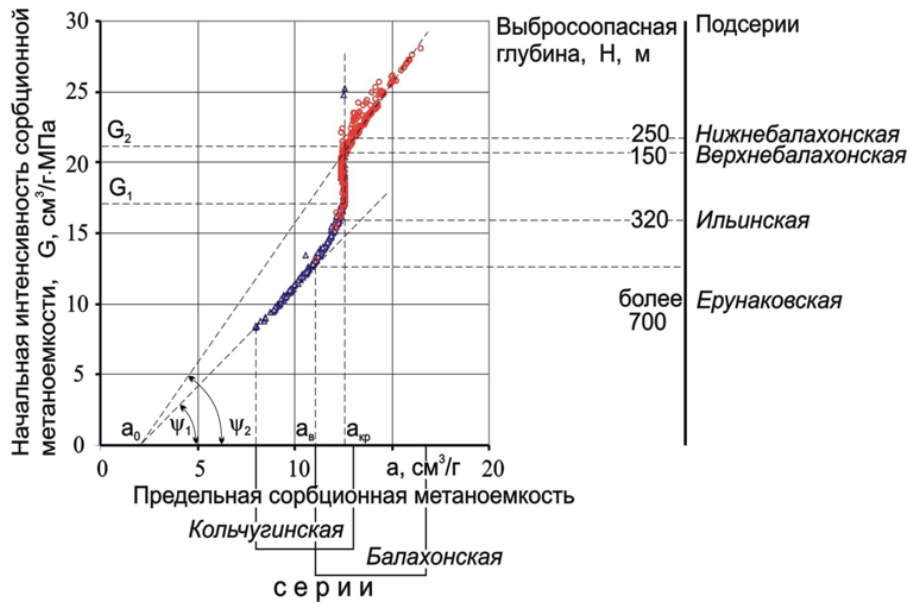


Рисунок 4 – Изменения показателей сорбционной метаноёмкости углей и выбросоопасности пластов Кузбасса: a_0 – предельная сорбционная метаноёмкость при атмосферном давлении; $a_{кр}$ – критическое значение предельной сорбционной метаноёмкости; $a_в$ – выбросоопасное значение предельной сорбционной метаноёмкости; G_1 – нижняя граница бифуркации параметров сорбционной способности угля; G_2 – верхняя граница бифуркации параметров сорбционной способности угля; ψ_1, ψ_2 – градиенты устойчивого изменения сорбционной способности

Figure 4 - Changes in the indicators of sorption methane capacity of coal and the outburst hazard of the Kuzbass seams: a_0 - limiting sorption methane capacity at atmospheric pressure; $a_{кр}$ - the critical value of the limiting sorption methane capacity; $a_в$ - an emissions-hazardous value of the limiting sorption methane capacity; G_1 - the lower boundary of the bifurcation of the parameters of the sorption capacity of coal; G_2 - upper limit of bifurcation of parameters of sorption capacity of coal; ψ_1, ψ_2 - gradients of a stable change in sorption capacity

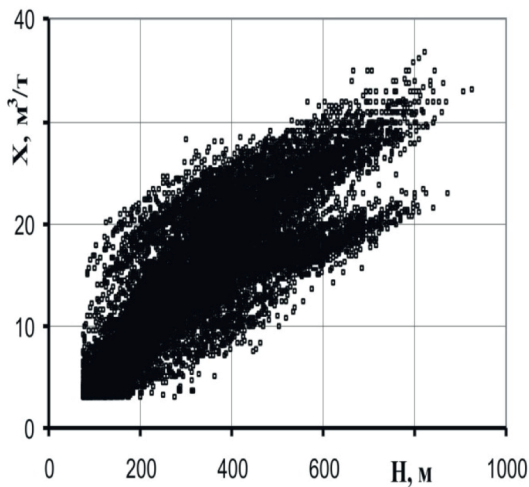


Рисунок 5 – Изменение газоносности углететановых пластов Кузбасса с глубиной залегания

Figure 5 - Change in the gas content of coal-mine formations of Kuzbass with depth of occurrence

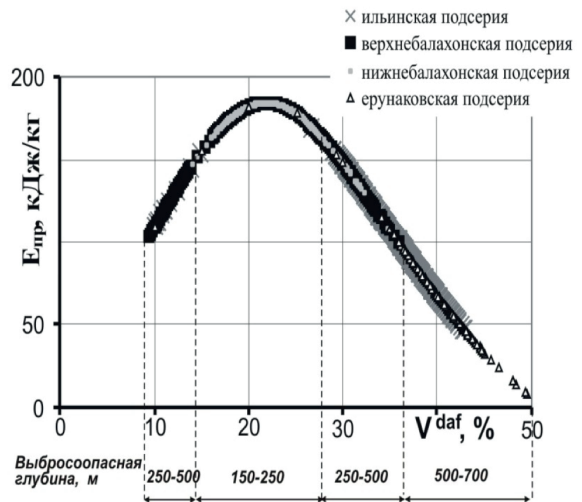


Рисунок 6 – Изменение предельных значений энергии релаксации метаноносности от выхода летучих веществ

Figure 6 - Change in the limiting values of the methanonicity relaxation energy from the yield of volatile substances

зону с бифуркацией параметров связей уголь-метан система генетически способна сформировать возмущающий импульс, достаточный для развития ее саморазрушения. Эти качества объясняют внезапность, лавинообразность и очаговый характер грозных природно-технологических явлений в угольных шахтах.

Измерение газоносности пласта и оценка влияния напряжений.

Сложность изучения состояния метана в угольных пластах обусловлена техническими

трудностями извлечения проб в их природном состоянии без изменения напряжений и газоистощения. Фактически, за время от начала выбуривания до герметизации проб в колбе напряжения в них снижаются до давления бурового раствора или до атмосферного (при выбуривании без промывки). Значительная часть газа теряется без контроля, а восстановить эти потери без информации о динамике последующих изменений газоносности и давления невозможно. Не обеспечивает существенного повышения точ-

ности и выбуривание крупного образца (керна), так как интенсивное снижение действовавших в нем напряжений с формированием давления свободного газа приводит, как показано выше, к развитию микро, а затем и макротрещин и соответствующему увеличению скорости выделения метана. Отметим, что время выбуривания и герметизации керна много больше времени выбуривания такой же массы разрушенного угля.

Для повышения точности измерений газокинетических свойств газоносных пластов ИУ СО РАН разработана специальная методика и, совместно с ИФП СО РАН, взрывозащищенные термобарометрические колбы с электронными датчиками давления и температуры и чипами хранения информации [20].

Отбор проб выполняется непосредственно в процессе сухого бурения интервала шпура или скважины. Бурение с продувкой даже глубокой скважины сжатым воздухом обеспечивает отбор пробы за время 1-2 минуты от начала бурения интервала. В устье скважины закрепляется устройство, обеспечивающие отбор буровой мелочи с отделением от нее частиц диаметром менее 0,5 мм через размещенной в устройстве сито. Основная масса угля через штыбоотборник поступает в колбу, где герметизируется.

Контролируемая электронной системой термо- и бародинамика процесса определяется снижением газоносности угля с нарастанием давления в постоянном свободном объеме колбы. При фактическом средневзвешенном диаметре частиц 1 – 5 мм и продолжительности отбора пробы в 1-2 минуты сохранение остаточных напряжений в угле исключается. Но рост давления выделяющимся из угля газом в колбе создает напряжения в его частицах, что сдерживает процесс распада ТУГР. Тем самым, условия экс-

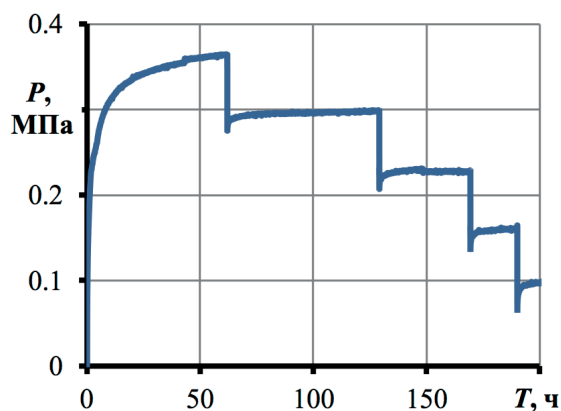


Рисунок 7 – Изменение давления газа P в колбе при его ступенчатых выпусках во времени
Figure 7 - Change of gas pressure P in a flask with its step-by-step releases in time

периментов соответствуют уравнению (3), когда отток диффундирующего из блока угля газа по фильтрующим трещинам отсутствует. Непрерывная регистрация давления и температуры газа в колбе через 0,1-10 минут обеспечивает количественную оценку динамики газокинетического процесса. Для снижения теплообмена с окружающей средой внутренняя поверхность колбы футеруется термоизолятором. Замеренное время выравнивания температур в колбе и внешней атмосфере составляет около 2 часов при перепаде температур в 5 °С. Качество термоизоляции принимается нами удовлетворительным и поправок на теплообмен с окружающей средой на начальном интервале процесса не вводится.

После доставки колб в лабораторию выполняются ступенчатые выпуски газа вплоть до полного газоистощения пробы при атмосферном давлении с условием стабилизации давления и температуры (20 °С) на каждой ступени. Это позволяет измерить не только газоносность угля на момент герметизации пробы, но и ее значения при различных давлениях газа.

Отметим, что приведенное к нормальным условиям (давление 760 мм.рт.ст, температура 20 °С) общее количество газа в угле и в свободном объеме колбы после ее герметизации не зависит от изменения температуры и давления. При этом количество свободного газа при стабилизации давления и температуры определяется законом Клайперона. Следовательно, можно использовать правило двух сообщающихся сосудов с различными термобарическими характеристиками, когда для одного из них (свободный объем колбы) эти характеристики известны.

Подобные измерения возможны и при искусственном насыщении предварительно дега-

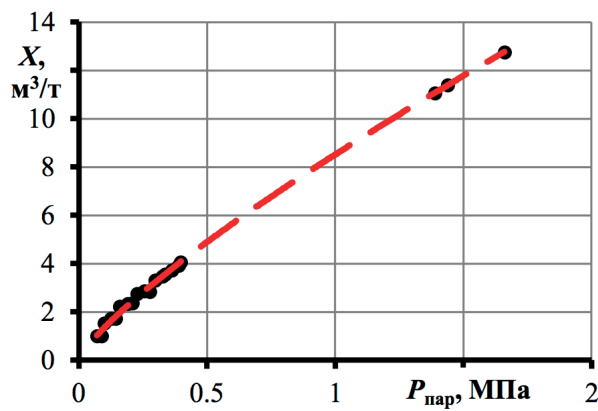


Рисунок 8 – Динамическая газоносность X проб угля при соответствующих значениях парциального давления метана $P_{пар}$
Figure 8 - Dynamic gas content of X coal samples at corresponding values of the partial pressure of methane $P_{пар}$

зированной пробы угля метаном в целях исследования сорбционной метаноёмкости угля.

На рисунках 7 и 8 представлены некоторые результаты измерений, выполненные с пробами газоносного угля. Отметим, под указанной на рисунке 8 динамической газоносностью понимается та часть исходной, которая может выделиться при давлениях газа выше атмосферного.

На рисунке 8 приведены результаты измерений по трем пробам, отобранным на различных интервалах одного шпура. Правые верхние точки соответствуют газоносности, замеренной на момент герметизации. Значения давления для них получены путем аппроксимации значений при ступенчатых выпусках ($P_{нар} < 0,5 \text{ МПа}$).

Выше отмечено, что определение газоносности пласта по пробам угля при бурении шпуров и скважин затруднено не контролируемым газоистощением пробы в период от выбуривания до герметизации (керн, буровая мелочь). Разработанный метод основан на пробах буровой мелочи, что требует достаточно точного обоснования соответствующей поправки на упущенный до герметизации пробы интенсивно выделяющийся метан.

В общем случае газовый баланс пробы записывается в виде

$$X_{mex} = q_{ym} + X_2 + X_c, \text{ м}^3/\text{т}, \quad (9)$$

где X_{mex} – технологическая газоносность пласта на интервале бурения, $\text{м}^3/\text{т}$; q_{ym} – удельный объем упущенного до герметизации пробы метана, $\text{м}^3/\text{т}$; X_2 – газоносность пробы на момент герметизации, $\text{м}^3/\text{т}$; X_c – остаточная газоносность угля при атмосферном давлении, $\text{м}^3/\text{т}$.

Газоносность пробы угля на момент герметизации (X_2) соответствует замеренному при выпусках полному объему метана. Для определения остаточной газоносности при атмосферном давлении можно принять ее величину близкой

сорбционной метаноёмкости. Тогда, соответствующее значение при парциальном давлении метана $P=0,1 \text{ МПа}$ рассчитывается как

$$X_c = a \cdot v \cdot P / (1 + v \cdot P), \text{ м}^3/\text{т} \quad (10)$$

$$a = 35,7 - 0,0012V_3 + 0,091V_2 - 2,25V_1, \text{ м}^3/\text{т};$$

$$v = 3,9/V_2^{0,3}, \text{ л/Мпа}.$$

Наибольшие затруднения вызывает расчет объема упущенного метана. В связи с высокой динамикой газоистощения угля его оценка по нарастанию давления газа в свободном объеме колбы после герметизации не может в достаточной мере характеризовать предшествующий период. Из этих измерений можно использовать лишь начальную скорость поступления газа в колбу после ее герметизации. Для определения скорости газовыделения в предшествующий период использовались горно-экспериментальные исследования скорости газовыделения непосредственно в процессе бурения интервалов шпуров и после его окончания [13]. Бурение шпуров глубиной до 5 м выполнялось витыми штангами. Время от начала бурения контрольного интервала шпура до герметизации пробы составляло не более 1,5 минут при постоянной скорости бурения. Время измерений после окончания бурения 15-20 минут. Измерения выполнены в условиях газоистощения при атмосферном давлении. Постоянство скорости бурения позволило по графику нарастания скорости газовыделения вычислить удельную скорость при мгновенном разрушении угля. В результате обработки этих данных установлено, что количество метана, выделяющегося за первые 30 секунд от момента мгновенного разрушения угля (Q_{30}), определяется ($R^2=0,88$) зависимостью

$$Q_{30} = 0,43(X_{mex} - X_2) - 0,63, \text{ м}^3/\text{г}. \quad (11)$$

Принимая эту величину за показатель начальной скорости газовыделения, приводя ее к принятой в разработанном методе размерности

Таблица 1 – Результаты измерения технологической газоносности пласта

Номер пробы	1	2	3
Геологическая газоносность пласта, $\text{м}^3/\text{т}$	28		
Глубина отбора пробы от устья шпура, м	3,0-3,5	2,0-2,5	3,0-3,5
Время герметизации, мин	1,24	1,0	1,16
Газоносность на момент герметизации, $\text{м}^3/\text{т}$	12,6	11,3	11,0
Начальная газоотдача после герметизации, $\text{м}^3/\text{т мин}$	0,25	0,31	0,29
Упущенный метан, $\text{м}^3/\text{т}$	13,1	7,4	9,8
Остаточная газоносность, $\text{м}^3/\text{т}$	2,0	2,0	2,0
Технологическая газоносность, $\text{м}^3/\text{т}$	27,7	20,7	22,6

времени в минутах, и, используя результат измерения скорости газовой выделения из пробы угля по нарастанию давления на момент герметизации колбы, из (9) и (11) получим

$$X_{\text{max}} = [X_c + X_c + T_c (0,5 J_c - 0,43 X_c - 0,63)] / (1 - 0,43 T_c), \text{ м}^3/\text{м}, \quad (12)$$

где J_c – замеренная скорость газовой выделении их угля на момент герметизации пробы, $\text{м}^3/\text{м}$; T_c – время герметизации, мин .

Шахтные измерения газоносности пласта по изложенному методу (табл. 1) выполнены впереди забоя и в бортах подготовительной выработки, расположенной на глубине 560 м от дневной поверхности.

Графическая интерпретация результатов представлена на рисунках 9 и 10. На рисунке 10 абсциссы точек со значениями давления газа, соответствующего газоносности на момент герметизации колб (табл. 1), рассчитывались путем экстраполяции замеров давления и газоносности у начала координат. Значительная экстраполяция одного из параметров вполне приемлема, на что указывает достаточно высокая сходимость замеренных значений с линией тренда ($R^2=0,985$). В тоже время, длительное сохранение такого давления свободного газа, более 1,5 МПа, в пласте на удалении 2 – 3 м от обнажения выработкой не соответствует законам фильтрации, так как геомеханические процессы в этой зоне обуславливают значительное повышение газопроницаемости пласта и, следовательно, интенсивный сток газа в выработку. Следовательно, регистрируемые зависимости отражают переход части глубоко связанного метана в свободное состояние при снижении напряжений от пластовых до установившегося в колбе давления газа. Это является подтверждением справедливости модели ТУГР, но только косвенным.

Для прямой оценки влияния напряжений на газоносность угля часть колб после их герметизации заполнялась гелием (He) под давлением до 0,5 МПа. Гелий – инертный газ, не вносящий искажения связей в адсорбционной системе уголь-метан, его молекулы много меньше метана и могут проникать в существенно меньшие поры. Следовательно, давление гелия формирует достаточно равномерное распределение напряжений в частицах выбуренного угля вне зависимости от их размеров. По этим причинам его парциальное давление в колбе с пробой газоносного угля на начальном этапе его газоистощения можно рассматривать, как способ создания дополнительных напряжений, близких по своему следствию механическим.

На рисунках 9 и 10 представлены резуль-

таты измерения динамической газоносности проб угля при различных парциальных давлениях метана в условиях:

- давление газа в колбе формируется только за счет газоистощения пробы угля (рис.10);
- начальное давление создается заполнением колбы гелием, а последующий его рост обеспечивается газоистощением пробы угля.

Сравнивая динамику давления газа в колбах (рис. 7 и 9) видно, что прирост давления смеси CH₄ и He в результате поступления метана из угля в свободный объем колб с He близок давлению при его отсутствии (0,5 МПа). Следовательно, этого противодействия недостаточно для ограничения распада ТУГР с тем газосодержанием, с которым проба поступила в колбу (табл. 2). Однако полный цикл измерений метастабильных состояний углеметанового геомате-

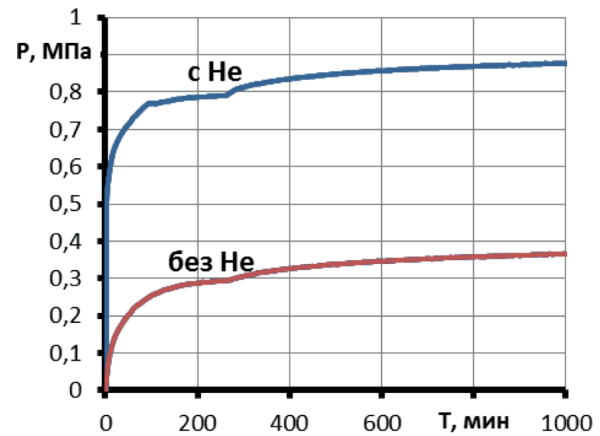


Рисунок 9 – Динамика давления газа P в колбах с газоносным углем (с гелием и без гелия)

Figure 9 - Dynamics of gas pressure P in flasks with gas-bearing coal (with helium and without helium)

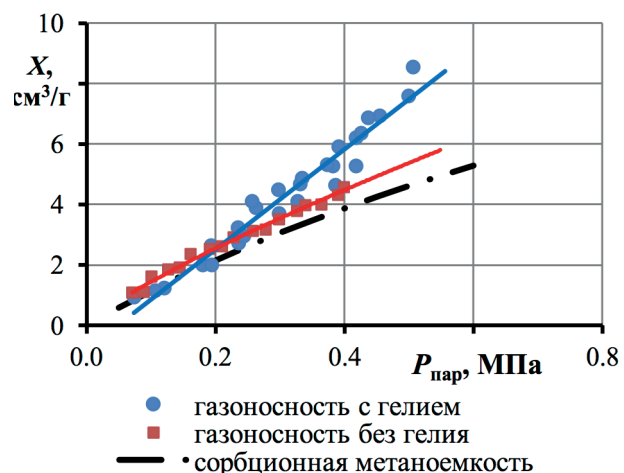


Рисунок 10 – Газоносность и сорбционная метаноемкость проб угля с избыточным парциальным давлением метана P пар под влиянием дополнительных напряжений в угле, создаваемых давлением гелия

Figure 10 - Gas content and sorption methane capacity of coal samples with excess partial pressure of P пар methane under the influence of additional stresses in coal created by the pressure of helium

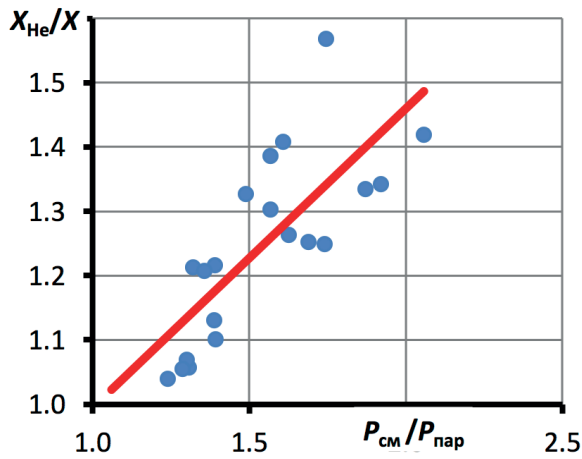


Рисунок 11 – Относительное повышение динамической газоносности проб угля с гелием X_{He} и без гелия X с ростом отношения давления смеси $P_{см}$ к парциальному давлению метана $P_{пар}$
 Figure 11 - Relative increase in the dynamic gas content of coal samples with helium X_{He} and without helium X with an increase in the ratio of the pressure of the mixture $P_{см}$ to the partial pressure of methane $P_{пар}$

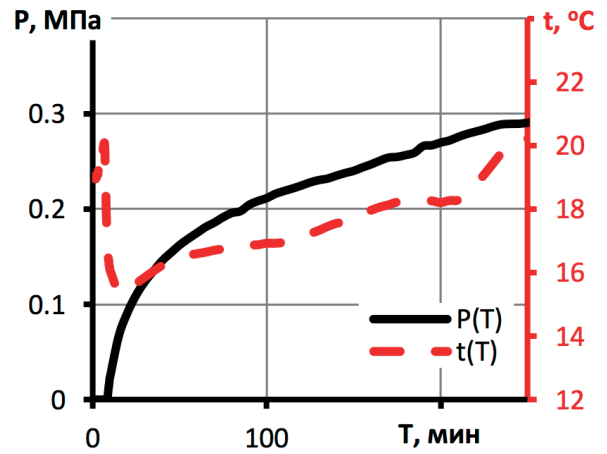


Рисунок 12 – Изменение температуры t и давления P газа в колбе с пробой газоносного угля во времени T
 Figure 12 - Change in temperature t and pressure P of the gas in the flask with a gas-fired coal sample in time T

риала путем ступенчатых выпусков подтвердил значимость дополнительных к парциальному давлению метана напряжений (рис. 10) и, в первом приближении, количественно определил эту связь (рис. 11).

Вычисленное по прямым замерам давление (рис. 8, правые верхние точки), соответствующее динамической газоносности пробы на момент ее герметизации (табл. 1), указывает на напряжения в угле, при которых он может содержать такое количество метана. Снижение напряжений активизирует распад ТУГР, формируя давление газа с переходом его части в адсорбированное состояние и фильтрацией к внешней поверхности частицы (блока) угля (рис. 1). Если напряжения снижаются лишь частично, то остаточная газоносность угля при этом же давлении метана будет соответственно выше. Полученный результат является уже прямым доказательством обоснованности положений о твердых углегазовых растворах, выдвинутых российскими учеными [9].

О термодинамике процесса распада ТУГР в колбе можно судить по показаниям датчика температуры (рис. 12). При заполнении колбы углем температура повышается до $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (начальная температура равна температуре в выработке $\approx 18\text{ }^{\circ}\text{C}$). Затем практически от момента герметизации колбы снижается до $15,4\text{ }^{\circ}\text{C}$. После

чего имеем нарастание температуры до $\approx 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, в некоторых колбах до $23\text{ }^{\circ}\text{C}$. Эти особенности требуют самостоятельного изучения, выходящего за рамки настоящей работы. Пока можно лишь предположить, что в начальный период после герметизации колбы превалирует влияние десорбции и расширения газа, протекающие с понижением температуры. Затем, нарастание давления снижает интенсивность процесса и проявляется влияние диссипации ТУГР с повышением температуры. Отметим, продолжительность полного распада ТУГР составляет 3 часа.

По результатам измерения установившегося давления в свободном объеме колбы перед первым выпуском газа можно оценить величины удельной работы, которую совершает выделяющийся из единицы массы угля метан, и развиваемую при этом удельную начальную мощность.

Модель ТУГР и вышеприведенные результаты указывают на значительное влияние напряжений на газокинетические характеристики пласта. Представляет интерес оценка их влияния на сорбционную метаноемкость углей. Оценка выполнялась на пробах угля с выходом летучих веществ 35-38 %, не имевших контакта с воздухом и не подвергавшихся термовакуумированию путем ступенчатых выпусков газа из колб после стабилизации давления и температуры перед каждым выпуском. При этом после достижения

Таблица 2 - Удельные значения энергии и начальной мощности при снижении газоносности ТУГР

Номер пробы	1	2	3
Снижение газоносности, мЗ/т	12,6–4,6	11,3–4,0	11,0–4,3
Удельная энергия, кДж/т	630	570	520
Удельная начальная мощность, кВт/т	0,40	0,50	0,45

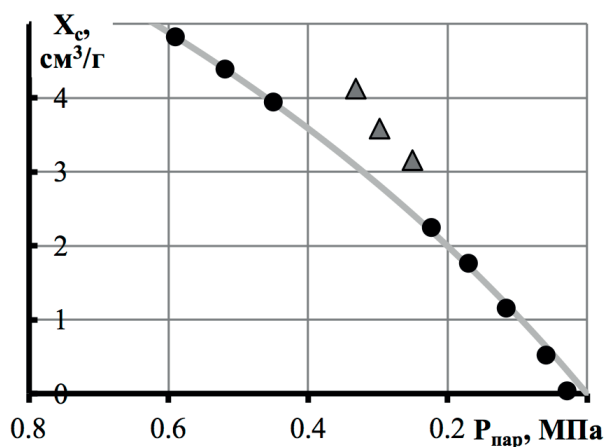


Рисунок 13 – Сорбционная метаноёмкость X_c пробы угля при различных парциальных давлениях метана $P_{пар}$ в смеси с гелием

Figure 13 - Sorption methane capacity X_c of a coal sample at various partial pressures of methane $P_{пар}$ in a mixture with helium

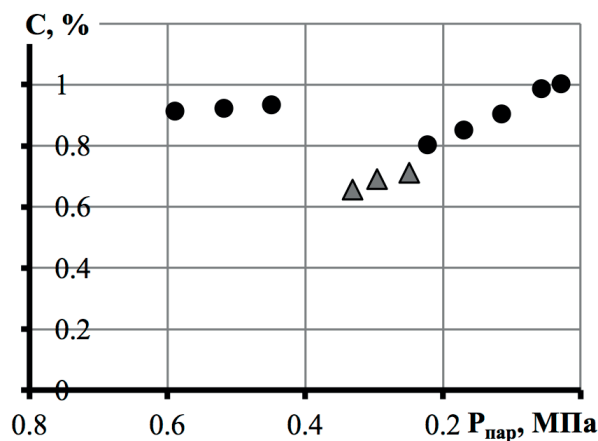


Рисунок 14 – Концентрация C метана в колбе и его парциальное давление $P_{пар}$ в смеси с гелием

Figure 14 - Concentration C of methane in the flask and its partial pressure $P_{пар}$ in a mixture with helium

сорбционного равновесия при максимальном давлении после первых двух-трех выпусков в колбу подавался гелий, и давление смеси повышалось.

Результаты измерений при ступенчатых выпусках газовой смеси также подтвердили (рис. 13 и 14) вышеотмеченную значимость дополнительных к парциальному давлению метана напряжений.

Точки замеренной сорбционной метаноёмкости при концентрации метана менее 80 % (на рис. 13 и 14 обозначены треугольниками) расположены выше линии тренда для точек (обозначены кружочками) с концентрацией метана более 80 %. Поскольку линия тренда рассчитана по уравнению Ленгмюра для поверхностной адсорбции, то отмеченная особенность объясняется, возможно, проникновением части метана в структуру угля (абсорбция), что свойственно углям с высоким выходом летучих веществ.

Выше было отмечено, что в результате распада ТУГР при снижении напряжений давление газа в пустотности блока угля возрастает (1). Соответствующая часть перешедшего в свободное состояние метана дополнительно адсорбируется поверхностью макропор и микротрещин, снижая прирост давления газа. Чем выше активный сорбционный потенциал угля, тем больше его влияние на «демпфирование» динамики давления свободного метана. Но одним из факторов, снижающих сорбционный потенциал, является рост температуры пласта с глубиной залегания. Для оценки значимости этого фактора выполнены измерения сорбционной метаноёмкости проб угля не имевших контакта с воздухом. Исследования выполнены на углях

с выходом летучих веществ ($V^{daf}=16\div38\%$), характерным практически для всех угольных пластов Кузбасса в диапазоне температур $0-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ с шагом $5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Их результаты позволили установить соответствующую эмпирическую зависимость

$$X_t/X_{20} = (0,05V^{daf} - 3,8)(t/t_{20} - 1) + 1, \quad (13)$$

где X_t – сорбционная метаноёмкость угля при температуре не равной $20\text{ }^{\circ}\text{C}$; X_{20} – сорбционная метаноёмкость угля при температуре $20\text{ }^{\circ}\text{C}$; V^{daf} – выход летучих веществ, %.

Таким образом, сорбционная метаноёмкость каменных углей различной стадии метаморфизма с ростом температуры от $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ снижается на 25–40 %. Эта особенность не соответствует изменению газоносности угольных пластов, неуклонно возрастающей с увеличением глубины их залегания и росте температуры. Несоответствие показывает, что при формировании углеметановых геоматериалов создаются качественно иные условия сосуществования угля и метана, нежели искусственная система сорбент-сорбат. В тоже время, образование свободного метана при распаде однофазного геоматериала с переходом к двухфазной системе и сорбционным взаимодействием на поверхности раздела фаз, инициирует механизм сорбции, снижающийся с ростом глубины залегания пласта. Следовательно, при равных изменениях, например, напряжений, давление выделяющегося из блоков угля свободного метана в трещинах и макропорах повышается и газодинамическая ситуация становится более опасной.

Выводы.

1. Результаты измерений газокинетических характеристик угольных пластов подтверждают, что пласт следует рассматривать как однофаз-

ную систему по типу твердого раствора, необратимо распадается при снижении напряжений на двухфазную систему с сорбционным взаимодействием газовой и твердой компонент.

2. Газоносность блоков угля в приконтурной части выработки зависит от действующих напряжений и при их снижении пропорционально снижается, формируя давление свободного газа в фильтрующих трещинах и активизируя поверхностную сорбцию.

3. Сорбционная метаноемкость каменных углей различной стадии метаморфизма с ростом температуры от 0 °С до 40 °С снижается на 25-40 %, что не соответствует неуклонному нарастанию газоносности и температуры угольных пластов с глубиной залегания, указывая на качественно иные условия сосуществования угля и

метана в геоматериале и в искусственной системе сорбент-сорбат.

4. Создание дополнительных напряжений в частицах герметизированного в колбе газоносного угля путем повышения давления газа нагнетанием гелия увеличивает сорбционную метаноемкость угля относительно ее значений при соответствующих парциальных давлениях метана.

5. Разработанные методы и оборудование применимы для измерения газоносности угольных пластов из горных выработок, скорости газовыделения из разрушаемого угля, максимального возможного давления газа в блоках угля при снижении напряжений, удельной энергии и мощности выделяющегося газа при смене метастабильных состояний ТУГР.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Эттингер И.Л. Физическая химия газоносного угольного пласта / И.Л. Эттингер // М.: Наука, 1981. – 104 с.
2. Булат А.Ф. Генерирование сорбированного метана, обусловленное релаксационным механизмом деформирования молекулярной структуры угля / А.Ф. Булат, С.П. Минеев, А.А. Пруткова // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – № 1. – 2016. – С. 91 – 99.
3. Бобин В.А. Структурная трансформация газонасыщенного угольного вещества: Дальнейшее развитие физической химии газоносного угольного пласта / В.А. Бобин // LAP LAMBERT Academie Publishing, 2014.
4. Малиникова О.Н. Эффект образования метана и дополнительной сорбции при разрушении газонасыщенного угля в условиях объемного напряженного состояния / О.Н. Малиникова, Г.Н. Фейт // Горный информационно-аналитический бюллетень. – Вып.8. – 2004. – С. 196 – 200.
5. Шепелева С.А. Метан и выбросоопасность угольных пластов / С.А. Шепелева, В.В. Дырдин, Т.Л. Ким, В.Г. Смирнов, Т.Н. Гвоздкова. – Томск: Изд-во Том. ун-та. – 2015. – 180 с.
6. Эттингер, И.Л. Физическая химия газоносного угольного пласта. – 1981. – 104 с.
7. Эттингер И.Л. Растворы метана в угольных пластах / И.Л. Эттингер // Химия твердого топлива. – 1984. – № 4. – С. 28 – 35.
8. Алексеев А.Д. Свойства органического вещества угля образовывать с газами метастабильные однофазные системы по типу твердых растворов / А.Д. Алексеев, А.Т. Айруни, И.В. Зверев и др. // Диплом № 9 на научное открытие. – АЕН, 1994.
9. Алексеев А.Д. Распад твердых углегазовых растворов / А.Д. Алексеев, А.Т. Айруни, И.Т. Зверев и др. // Физико-технические проблемы разработки месторождений полезных ископаемых. – 1994. – № 3. – С. 65 – 75.
10. Малышев Ю.Н. Фундаментально-прикладные методы решения проблемы угольных пластов / Ю.Н. Малышев, К.Н. Трубецкой, А.Т. Айруни // М.: ИАГН, 2000. – 519 с.
11. Фельдман Э.П. Физическая кинетика системы угольный пласт – метан: массоперенос, предвыбросные явления / Э.П. Фельдман, Т.А. Василенко, Н.А. Калугина // Физико-технические проблемы разработки месторождений полезных ископаемых. – 2014. – № 3. – С. 46 – 65.
12. Опарин В.Н. О некоторых особенностях взаимодействия между геомеханическими и физико-химическими процессами в угольных пластах Кузбасса / В.Н. Опарин, Т.А. Киряева, В.Ю. Гаврилов, Р.А. Шутилов, А.П. Ковчавцев, А.С. Танайно, В.П. Ефимов, И.Е. Астраханцев, И.В. Гренев // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – № 2. – 2014. – С. 3 – 29.
13. Полевщиков Г.Я. Динамические газопроявления при проведении подготовительных и вскрывающих выработок в угольных шахтах / Г.Я. Полевщиков // Кемерово: Институт угля и углехимии СО РАН, 2003. – 317 с.
14. Плаксин М.С. Оперативная оценка уровня газодинамической активности угольного пласта при проведении подготовительных выработок / М.С. Плаксин // Горный информационно-аналитический бюллетень. Отдельный выпуск 6. Институт угля Сибирского отделения РАН. М.: Издательство «Горная книга». – 2013. – С. 245 – 251.
15. Христианович С.А. О волне выброса // Известия АН СССР. ОТН. – 1953. – № 12. – С. 1679 – 1688.
16. Христианович С.А. О волне дробления // Известия АН СССР. ОТН. – 1953. – № 12. – С. 1689 – 1699.
17. Плаксин М.С. Гидроразрыв угольного пласта в шахтных условиях как панacea решения газовых проблем шахт (основы разработки и внедрения) / М.С. Плаксин, Р.И. Родин, А.А. Рябцев, В.И. Альков, Е.В. Леонтьева, Е.С. Непеина // Уголь. – 2015. – № 2. – С. 48 – 50.
18. Каталог метаноемкости углей Кузбасса. – Кемерово, ВостНИИ. 1968. – 32 с.
19. Йосс Ж. Элементарная теория устойчивости и бифуркаций / Ж. Йосс, Д. Джозеф. – М.: Мир, 1983. – 301 с.
20. Полевщиков Г.Я. Определение газокинетических характеристик угольных пластов / Г.Я. Полевщиков, А.А. Рябцев, В.П. Титов // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2013. – С. 78 – 84.

REFERENCES

1. Ettinger, I.L. (1981). *Fizicheskaia khimia gazonosnogo ugolnogo plasta* [Physical chemistry of a gas-containing coal seam]. Moscow: Nauka [in Russian]
2. Bulat, A.F., Mineev, A.A., & Prutkova, A.A. (2016). Generirivanie sorbированного метана, обусловленного релаксационным механизмом деформирования молекулярной структуры угля [Occluded methane generation, caused by the relaxation mechanism of coal molecular structure deformation]. *Fiziko-tekhnicheskie problem razrabotki poleznykh iskopaemykh - Physical and technical problems of mining*, 1, 91-99 [in Russian].
3. Bobin, V.A. (2014). *Strukturnaia transformatsia gazonasyschennogo ugolnogo veshchestva: Dalneishee razvitie fizicheskoi khimii gazonosnogo ugolnogo plasta* [Structural transformation of gas-saturated coal substance: further development gas-containing coal seam physical chemistry]. LAP LAMBERT Academic Publishing [in Russian].
4. Malinnikova, O.N., & Feit G.N. (2004). Effekt obrazovaniia metana i dopolnitelnoi sorbtzii pri razrushenii gazonasyschennogo uгля v usloviakh obiomnogo napriazhennogo sostoianiia [The effect of methane formation and additional sorption at gas-saturated coal destruction under vast stress conditions]. *Gornyi informatsionno-analiticheski biulleten – Mining information-analytical bulletin*, 8, 196-200 [in Russian].
5. Shepeleva, S.A., Dyrdin, V.V., Kim, T.L., Smirnov, V.G., & Gvozdikova, T.N. (2015). *Metan i vybrosopasnost ugolnykh plastov* [Methane and outburst danger of coal seams]. Tomsk: Tomsk University Publishing House [in Russian]
6. Ettinger, I.L. (1984). Rastvory metana v ugolnykh plastakh [Methane solutions in coal seams]. *Khimiia tverdogo topliva – Solid fuel chemistry*, 4, 28-35 [in Russian].
7. Alekseev, A.D., Airuni, A.T., Zverev, I.V. et al. (1994). Svoistva organicheskogo veshchestva uгля obrazovuyvat s gazami metastabilnye odnofaznye sistemy po tipu tverdykh rastvorov [The properties of coal as organic substance to form metastable single-phase systems with gas of the solid solutions type]. *Diploma No. 9 for scientific discovery: AEN* [in Russian].
8. Alekseev, A.D., Airuni, A.T., & Zverev, I.V. (1994). Raspad tverdykh uglegazovykh rastvorov [Decomposition of solid coal-gas solutions]. *Fiziko-tekhnicheskie problem razrabotki mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh – Physico-technical problems of mineral deposits mining*, 3, 65-75 [in Russian].
9. Malyshev, Yu.N., Trubetskoi, K.N., & Airuni, A.T. (2000). Fundamentalno-prikladnye metody resheniia problemy ugolnykh plastov [Fundamental-applied methods for the coal seam problem solving]. Moscow: IAGN [in Russian].
10. Feldman, E.P., Vasilenko, T.A., & Kalugina, N.A. (2014). Fizicheskaia kinetika sistemy ugolny plast – metan: massoperenos, predvybrosnyie iavleniia [Physical kinetics of coal seam methane: mass transfer, pre-outburst phenomena]. *Fiziko-tekhnicheskie problem razrabotki mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh – Physico-technical problems of mineral deposits mining*, 3, 46-65 [in Russian].
11. Oparin, V.N., Kiriaeva, T.N., Gavrilov, V.Yu., Shutilov, R.A., Kovchavtsev, A.P., et al. (2014). O nekotorykh osobennostiakh vzaimodeistvia mezhdru geomekhanicheskimi i fiziko-khimicheskimi pritsessami v ugolnykh plastakh Kuzbassa [On some interaction features between geomechanical and physicochemical processes in Kuzbass coal seams]. *Fiziko-tekhnicheskie problem razrabotki mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh – Physico-technical problems of mineral deposits mining*, 2, 3-29 [in Russian].
12. Polevshchikov, G.Ya. (2003). *Dinamicheskie gazoproizvleniia pri provedenii podgotovitelnykh i vskryvaiushchikh vyrabotok v ugolnykh shakhtakh* [Dynamic gas manifestations at preparation and opening galleries' heading in coal mines]. Kemerovo: Institute of Coal and Coalchemistry, RAS SB [in Russian].
13. Plaksin, M.S. (2013). Operativnaia otsenka urovnia gazodinamicheskoi aktivnosti ugolnogo plasta pri provedenii podgotovitelnykh vyrabotok [Operative assessment of a coal seam gas-dynamic activity level at carrying out of preparatory workings]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten – Mining information analytical bulletin, Special edition No. 6*, Institute of Coal, Siberian Branch of RAS. Moscow: Gornaia kniga [in Russian].
14. Khristianovich, S.A. (1953). O volne vybrosa [On the outburst wave]. *Izvestia AN SSSR - Proceedings of the USSR Academy of Sciences*, 12. 1679 – 1688 [in Russian].
15. Khristianovich, S.A. (1953). O volne drobleniia [On the crushing wave]. *Izvestia AN SSSR - Proceedings of the USSR Academy of Sciences*, 12. 1689 – 1699 [in Russian].
16. Plaksin, M.C., Rodin, R.I., Riabtsev, A.A., Alkov, V.I., Leontieva, Ye.V., & Nepeina, Ye.S. (2015). Gidrorazryv ugolnogo plasta v shakhtnykh usloviakh kak panatsea resheniia gazovykh problem shakht (osnovy razrabotki i vnedriniia) [Coal seam hydrofracture in mine conditions as a panacea for solving mines' gas problems (the basis for development and implementation)]. *Ugol – Coal*, 2, 48-50 [in Russian].
17. *Katalog metanoiomkosti uglei Kuzbassa* [Kuzbass coals methane content catalog] (1968). Kemerovo: VostNII [in Russian].
18. Joss, J., & Josef, D. (1983). *Elementarnaia teoria ustoichivosti i bifurkatsii* [Elementary theory of stability and bifurcations]. Moscow: Mir [in Russian].
19. Polevshchikov, G.Ya., Riabtsev, A.A., & Titov, V.P. (2013). Opredeleniie gazokineticheskikh kharakteristik ugolnykh plastov [Coal seams' gas-kinetic characteristics definition]. *Vestnik Nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugolnoi promyshlennosti – Gerald of Coal Mining Safety Scientific Center*, 78-84 [in Russian].

УДК 622.831.322

ВЛИЯНИЕ УПРОЩЕНИЯ МЕТОДИКИ ТЕКУЩЕГО ПРОГНОЗА ВЫБРОСООПАСНОСТИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ НА ДОСТОВЕРНОСТЬ ПРОГНОЗА

THE EFFECT OF SIMPLIFYING THE METHODOLOGY OF THE CURRENT FORECAST OF THE COAL COAL EJECTION HAZARD ON THE RELIABILITY OF THE FORECAST

А. В. Шадрин – доктор технических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук» (Институт угля ФИЦ УУХ СО РАН), 650000, Россия, г. Кемерово, пр. Советский, 18

A. V. Shadrin - Doctor of Technical Sciences, Leading Researcher, Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences" (FRC CCC SB RAS), 18, Sovet Avenue, Kemerovo, 650000, Russia



А. В. Шадрин
avsh-357@mail.ru

Рассмотрены два метода текущего прогноза выбросоопасности угольных пластов: по начальной скорости газовыделения и выходу буровой мелочи при бурении контрольных шпуров и его упрощенный вариант – по структуре пласта и начальной скорости газовыделения. Дана количественная оценка относительной погрешности определения области неопасных значений показателя выбросоопасности из-за упрощения методики текущего прогноза внезапных выбросов путем неучета выхода буровой мелочи. Отказ от измерения выхода буровой мелочи был обусловлен большой ошибкой измерения выхода буровой мелочи при ведении прогноза по увлажненному углю из-за налипания ее к буровой штанге. Показано, что эта погрешность составляет более 57% - для шахт Воркутинского месторождения, и более 27% - для остальных бассейнов и месторождений восточных районов России.

Two methods of the coal seam outburst hazard current forecast are considered: according to the initial gas emission rate and the output of drilling fines during the control holes drilling and its simplified version by the seam structure and the gas emission initial rate. A quantitative estimate of the relative error in determining the range of non-hazardous values of the emission factor due to the simplification of the sudden outbursts current forecast technique by not taking into account the output of the drilling fines. Refusal to measure the drilling chippings output was due to a large error in measuring the drilling chippings output while maintaining the forecast for moistened coal due to its adhesion to the drill rod. It is shown that this error is more than 57% for the Vorkuta mines, and more than 27% for the other basins and deposits in the eastern regions of Russia.

Ключевые слова: ПРОГНОЗ ВЫБРОСООПАСНОСТИ, НАЧАЛЬНАЯ СКОРОСТЬ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЯ, ВЫХОД ШТЫБА

Key words: OUTBURST HAZARD FORECAST, INITIAL GAS EMISSION RATE, CHIPPINGS OUTPUT

Длительное время на шахтах Востока СССР в соответствии с нормативными документами применялся инструментальный метод текущего прогноза выбросоопасности по начальной скорости газовыделения и выхода буровой мелочи при бурении контрольных шпуров [1]. Из всех инструментальных методов он обеспечивал наиболее высокую достоверность прогноза.

Данный метод основан на измерении начальной скорости газовыделения и выхода штыба при поинтервальном (через

1 м) бурении шпуров по наиболее потенциально выбросоопасной пачке тектонически нарушенного угля мощностью 0,2 м и более с каждого метра шпура по мере его углубки [1]. Измеряемые параметры контролируют основные факторы выбросоопасности. Установлено, что с достаточной степенью достоверности можно считать, что начальная скорость газовыделения характеризует газовый фактор выбросоопасности, а выход штыба – напряженное состояние пласта и остаточную прочность угля [2]. Здесь под газовым фактором понимается

совокупность параметров, определяющих процессы подготовки выброса и его протекание.

А именно: природная газоносность угля, давление свободного газа в трещинах и порах и газопроницаемость угля – параметры, определяющие вклад давления газа в механизм роста трещин и способность десорбированного в процессе волны дробления газа перемещать разрушенный уголь в процессе протекания выброса в выработку. Критерий выбросоопасности при текущем прогнозе этим методом для угольных шахт России, основанный на многолетней обработке экспериментальных данных, описывается следующим выражением [2]:

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

где S_{max} – максимальное значение выхода штыба, л/м; i_{max} – максимальное значение начальной скорости газовыделения, л/мин·м; $a = 5$ – для Воркутинского месторождения; $a = 4$ – для остальных бассейнов и месторождений восточных районов; $b = 21$ – для Воркутинского месторождения; $b = 6$ – для остальных бассейнов и месторождений восточных районов.

Графически зависимость вида (1) при $a = 4$ и $b = 6$ показана на рис. 1.

Здесь D_1 – площадь прямоугольника, ограниченного осью абсцисс и прямыми, проходящими параллельно осям координат и отсекающими на них значения: $S_{max} = 2,2$ л/м, $S_{max} = 20,0$ л/м, $i_{max} = 4$ л/(мин·м); D_2 – площадь фигуры, ограниченной кривой R и прямыми, проходящими параллельно осям координат и отсекающими на них значения: $S_{max} = 2,2$ л/м, $i_{max} = 4$ л/(мин·м).

Однако измерение выхода буровой мелочи при ведении прогноза по увлажненному углю осуществлялось иногда (вероятно, при халатном

отношении прогнозиста к замерам) с ошибкой из-за налипания ее к буровой штанге. Поэтому от данного метода отказались и перешли к гораздо более простому и менее продолжительному, но недостоверному методу – по структуре пласта и начальной скорости газовыделения [3]. При этом методе критерий выбросоопасности свелся к условию: при наличии пачки непрочного угля мощностью более 0,2 м и при величине $i_{max} \geq 4$ л/мин·м зона пласта считается выбросоопасной. Такое упрощение методики прогноза привело к тому, что отдельные зоны пласта, не являющиеся выбросоопасными (показатель $R < 0$, но $i_{max} \geq 4$ л/мин·м), стали относить к выбросоопасным. Покажем, как вследствие этого сократилась область определения «неопасно» на плоскости параметров $(i_{max}; S_{max})$, характеризующих выбросоопасность.

При диаметре резца буровой штанги 42 мм и коэффициенте разрыхления угля $\delta = 1,3$ минимальное значение проектного выхода штыба с одного погонного метра шпура $S_{np,min} = 1,8$ л/м [2]. За счет перекоса резца в забое шпура и неровностей его стенок эта величина может быть увеличена еще на 20 % [2] и составит примерно 2,2 л/м. Таким образом, эта величина является минимально возможным значением параметра S_{max} при расчете критерия выбросоопасности без учета влияния газа на выход штыба и горного давления. Обозначим ее $S_{np,max}$.

За счет влияния давления газа и особенно горного давления, а также снижения прочности угля параметр S_{max} может существенно превышать значение $S_{np,max}$ и достигать величины 100 л/м [2]. Однако, как видно из рис. 1, кривая R с ростом S_{max} асимптотически приближается к

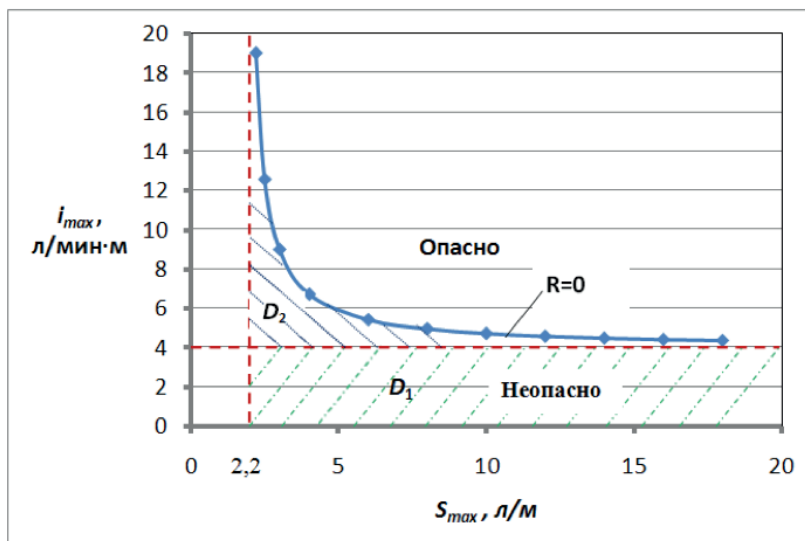


Рисунок 1 - График зависимости показателя выбросоопасности $R=0$ от начальной скорости газовыделения i_{max} и выхода бурового штыба S_{max} при $a = 4$ и $b = 6$

Figure 1 - Graph of dependence of the emission factor $R = 0$ on the initial gas release rate i_{max} and the yield of the S_{max} drill bit at $a = 4$ and $b = 6$

прямой $i_{max}=4$ л/(мин·м). Поэтому изменением площади D_2 при значениях $S_{max} > 20,0$ л/м можно пренебречь.

Из (1) имеем:

$$i_{max} = \frac{b}{S_{max}-1.8} + a. \quad (2)$$

Тогда область неопасных значений показателя R лежит ниже кривой $R=0$ при изменении величины S_{max} в пределах $(2,2-20,0)$ л/м, и ее площадь равна D_1+D_2 :

$$D_1 + D_2 = \int_{2,2}^{20,0} i_{max} dS_{max}. \quad (3)$$

Подставив (2) в (3), для варианта $a = 4$ и $b = 6$ получим $D_1 + D_2 = 98,26$ л²/(мин·м²).

Очевидно, что $D_1 = (20,0-2,2) \cdot 4 = 71,2$ л²/(мин·м²). Тогда $D_2 = (D_1 + D_2) - D_1 = 27,05$ л²/(мин·м²).

При переходе от методики текущего прогноза выбросоопасности по начальной скорости газовыделения и выходу бурового штыба при бурении контрольных шпуров к методике по структуре пласта и начальной скорости газовыделения из контрольного шпура из области неопасных значений показателя выбросоопасности была исключена площадь D_2 . Относительная величина этого «упрощения методики прогноза» Δ

равна:

$$\Delta = \frac{D_2}{D_1 + D_2} = \frac{27,05}{98,26} = 27,54\%. \quad (4)$$

После проведения аналогичных расчетов для условий Воркутинского месторождения при $a = 5$ и $b = 21$ оказалось, что относительная погрешность определения области неопасных значений показателя выбросоопасности из-за упрощения методики прогноза составила $\Delta_B = 57,92\%$.

Выполненный анализ показал, что упрощение методики текущего прогноза выбросоопасности за счет неучета фактора напряженного состояния и прочности угля, контролируемых выходом буровой мелочи, приводит к относительной погрешности определения области неопасных значений показателя выбросоопасности на шахтах восточных районов России в интервале 30-60 %. Это явилось одним из оснований того, что метод текущего прогноза выбросоопасности угольных пластов по начальной скорости газовыделения и выходу буровой мелочи из скважины вновь включен во вступающую в силу в 2017 г. «Инструкцию по прогнозу динамических явлений...» [4].

Светлой памяти автора метода текущего прогноза выбросоопасности по начальной скорости газовыделения и выходу буровой мелочи при бурении контрольных шпуров д.т.н. профессора Владимира Николаевича Пузырева данная работа посвящается.

Автор благодарен д.т.н. Н.В. Черданцеву за ценные замечания, сделанные при обсуждении рукописи

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Инструкция по безопасному ведению горных работ на пластах, склонных к внезапным выбросам угля, породы и газа. - М.: ИГД им. А.А. Скочинского. 1989. - 191 с.
2. Чернов О.И. Прогноз внезапных выбросов угля и газа / О.И. Чернов, В.Н. Пузырев. М.: «Недра», 1979. - 296 с.
3. Инструкция по безопасному ведению горных работ на пластах, опасных по внезапным выбросам угля (породы) и газа (РД 05-350-00). Предупреждение газодинамических явлений в угольных шахтах (Сборник документов). - М.: Государственное предприятие НТЦ по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России, 2000. - С. 120-303.
4. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по прогнозу динамических явлений и мониторингу массива горных пород при отработке угольных месторождений». Утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 15.08.2016 г. №339. - 129 с.

REFERENCES

1. *Instrukciya po bezopasnomu vedeniyu gornyx rabot na plastakh, sklonnykh k vnezapnym vybrosam uglja, porody i gaza [Instructions for the safe management of mining operations on the seams prone to sudden outbursts of coal, rock and gas]. (1989). Moscow: Skochinsky IGD [in Russian].*
2. *Chernov, O.I., & Puzyrev, V.N. (1979). Prognoz vnezapnykh vybrosov uglja i gaza [Sudden coal and gas outbursts forecast]. Moscow: Nedra [in Russian].*
3. *Instrukciya po bezopasnomu vedeniyu gornyx rabot na plastakh, opasnykh po vnezapnym vybrosam uglja (porody) i gaza (RD 05-350-00). Preduprezhdenie gazodinamicheskikh yavlenij v ugolnykh shahtakh (Sbornik dokumentov) [Instructions for the safe management of mining operations on seams dangerous for sudden outbursts of coal (rock) and gas (RD 05-350-00). Prevention of gas dynamic phenomena in coal mines (Collection of Documents) 2000]. (2000). Moscow: Gosudarstvennoe predpriyatie NTC po bezopasnosti v promyshlennosti Gosgortekhnadzora Rossii - The State Enterprize ScTC for industrial safety of Gosgortekhnadzor, Russia [in Russian].*
4. *Federalnye normy i pravila v oblasti promyshlennoj bezopasnosti «Instrukciya po prognozu dinamicheskikh yavlenij i monitoringu massiva gornyx porod pri otrabotke ugolnykh mestorozhdenij» [Federal norms and regulations in the field of industrial safety "Instruction for the forecast of dynamic phenomena and monitoring of the rock massif during the coal deposits mining"]. Approved by the order of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision of August 15, 2016 No. 339 [in Russian].*



Н.В. Черданцев
nvch2014@
yandex.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ АНИЗОТРОПНОГО МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД В ОКРЕСТНОСТИ ВЫРАБОТКИ, ПРОЙДЕННОЙ ВБЛИЗИ ДИЗЬЮНКТИВНОГО НАРУШЕНИЯ

ANISOTROPIC ROCK MASSIF STATE AROUND THE MINE OPENING HEADED NEAR A DISJUNCTIVE DISTURBANCE RESEARCH

Н. В. Черданцев – доктор технических наук, заведующий лабораторией геомеханики угольных месторождений Федерального исследовательского центра угля и углехимии Сибирского отделения РАН (ФИЦ УХХ СО РАН), 650065, г. Кемерово, Ленинградский проспект, 10

N. V. Cherdantsev – Dr. Tech. Sci., Head of the Laboratory of the Coal Institute of the Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 10, Leningradsky prospect, Kemerovo, 650065, Russia

Проведены исследования геомеханического состояния массива осадочных пород, вмещающего выработку и дизъюнктивное нарушение. Трасса протяжённой выработки и простирание нарушения параллельны. Результаты получены в рамках модели анизотропного массива. Она представляет собой упругую плоскость, пронизанную системой регулярных поверхностей ослабления. В плоскости имеется полость прямоугольной формы и узкий вытянутый прямоугольный вырез в виде щели, заполненный материалом с заданными характеристиками жёсткости на сжатие и сдвиг. Сама плоскость нагружена гравитационными силами налегающей сверху полости толщи пород. Модель реализована посредством двух методов – метода фиктивных нагрузок и метода разрывных смещений. В методе фиктивных нагрузок должны соблюдаться граничные условия на контуре выработки, а в методе разрывных смещений – на контуре щели. В рамках разработанной модели проведён широкомасштабный вычислительный эксперимент, в ходе которого построено поле напряжений и на его основе, а также на основе критериев прочности Мора – Кузнецова построены зоны нарушения сплошности массива около выработки и наклонно расположенной щели. Установлено, что размеры и конфигурация зон зависят от углов ориентации регулярных поверхностей ослабления, и при некоторой их комбинации зоны нарушения сплошности образуют области неустойчивости массива. Проведённый анализ полученных результатов выявил конфигурацию области неустойчивости на координатной плоскости, осями которой являются углы падения и простирания поверхностей ослабления.

Studies of sedimentary rock massif containing an opening and disjunctive disturbance geomechanical state have been carried out. The long opening rout and the strike of the disturbance are parallel. The results are obtained from the anisotropic massif model. It presents an elastic plane permeated by a system of regular attenuation surfaces. In the plane there is a cavity of rectangular shape and a narrow elongated rectangular cut-out in the form of a slit filled with a material with given characteristics of the rigidity for compression and shear.

The plane itself is loaded with gravitational forces of the overlying rock strata cavity. The model is realized by means of two methods - the method of fictitious loads and the method of discontinuous displacements. In the method of fictitious loads, the boundary conditions on the opening contour must be respected, and in the discontinuous displacement method, on the contour of the slit. Within the framework of the developed model, a large-scale computational experiment was carried out, during which the stress field was built and on its basis, as well as on the basis of the Mohr – Kuznetsov strength criteria, zones of solid massif discontinuity near the opening and the inclined slit were constructed. It is established that the size and configuration of the zones depend on the orientation angles of regular attenuation surfaces, and with some combination of the zone, discontinuities form the massif instability regions. The obtained results analysis shows the instability region configuration on the coordinate plane, the axes of which are the angles of incidence and the strike of attenuation surfaces.

Ключевые слова: АНИЗОТРОПНЫЙ МАССИВ ГОРНЫХ ПОРОД,

ДИЗЪЮНКТИВНОЕ НАРУШЕНИЕ, ГОРНАЯ ВЫРАБОТКА, ПОВЕРХНОСТИ ОСЛАБЛЕНИЯ, ЗОНЫ НАРУШЕНИЯ СПЛОШНОСТИ, ОБЛАСТИ НЕУСТОЙЧИВОСТИ МАССИВА

Key words: ANISOTROPIC ROCK MASSIF, DISJUNCTIVE DISTURBANCE, MINING, WEAKENING SURFACES, ZONES OF DISCONTINUITY, AREAS OF INSTABILITY OF THE MASSIF

Введение

1 При проектировании и эксплуатации горнодобывающих предприятий прогноз геодинамических явлений на базе оценки геомеханического состояния массива осадочных горных пород, полученной методами механики сплошной среды, является важнейшей задачей при разработке комплекса мероприятий по обеспечению безопасных условий ведения горных работ.

Известно, что угольные месторождения представляют собой массивы горных пород с ярко выраженной прочностной анизотропией, обусловленной наличием упорядоченных поверхностей ослабления, по которым характеристики прочности ниже, чем по основной породе. К поверхностям ослабления относятся слоистость, кливаж, слабые прослои, дизъюнктивные нарушения [1–4].

По-видимому, в достаточно строгой постановке деформирование слоистого массива в окрестности горной выработки может быть описано следующим образом. Предельное состояние массива наступает в первую очередь по поверхностям ослабления. Дальнейшее его деформирование приводит к проскальзыванию слоёв, их изгибанию, разрушению и вывалам горной массы в выработку. Поэтому исследование такого массива должно проводиться в несколько этапов.

Однако в практических расчётах часто ограничиваются только первым этапом задачи, поскольку применение других этапов связано с конкретными горно-геологическими условиями месторождения, и это обстоятельство не позволяет обобщать полученные результаты.

В этой связи ниже представлен, обоснован и использован только первый этап, основу которого составляет метод упругого наложения [2]. Его идея заключается в том, что условия прочности теории Кулона - Мора, на которой основаны условия перехода горных пород в предельное состояние, используются только для точек массива, принадлежащих поверхностям ослабления [1, 2]:

$$|\tau_v| < \sigma_v \operatorname{tg} \phi + K, \quad \sigma_v < \sigma_p, \quad (1)$$

где ϕ и K – угол внутреннего трения и коэффициент сцепления по поверхностям ослабления, σ_p – предел прочности на растяжение в направлении перпендикулярном поверхностям ослабления. Касательные τ_v и нормальные σ_v напряже-

ния на поверхностях ослабления определяются через компоненты напряжений, найденные из решения второй внешней краевой задачи теории упругости, посредством формул преобразования напряжений при повороте координатных осей [2 - 4].

Совокупность точек массива, в которых не выполняются условия (1), образует зоны нарушения сплошности (ЗНС) [2]. Наличие зон является показателем его техногенной нарушенности [2–12]. По размерам и конфигурации зон подбирают крепь выработки и производят расчёт её параметров [2, 13, 14], они являются границами направленной фильтрации газа в угольных пластах.

В данной работе представлены результаты исследования состояния анизотропного массива вблизи дизъюнктивного нарушения методом упругого наложения.

Под дизъюнктивным нарушением понимают результат действия тектонических сил, при котором горные породы разорваны по некоторой поверхности на блоки и смещены относительно друг друга. Поверхность разрыва и последующего перемещения блоков называют сместителем, а разъединенные блоки – лежащим и висячим крыльями разрывного нарушения. Порода между ними, называемая заполнителем, разрушена и перемята, но обладает характеристиками нормальной и сдвиговой жёсткости [15, 16].

Натурные наблюдения и расчёты показывают, что дизъюнктивное нарушение существенно влияет на напряжённо-деформированное состояние породного массива [15, 16], которое, в отличие от поверхностей ослабления, ещё до ведения горных работ является источником возмущения исходного поля напряжений. К тому же расположенное в окрестности угольных пластов оно может быть коллектором газа и с этой точки зрения часто является причиной возникновения газодинамических явлений [17, 18].

Таким образом, слоистость и кливаж проявляются лишь при ведении горных работ, а дизъюнктивное нарушение искажает исходное поле напряжений и в их отсутствии.

В работе [19] дизъюнктивное нарушение представлено в виде узкого прямоугольного отверстия, по сторонам которого приложены силы сухого трения, и это обстоятельство не позволяет учесть характеристики заполнителя в расчёте массива, что ограничивает её применение.

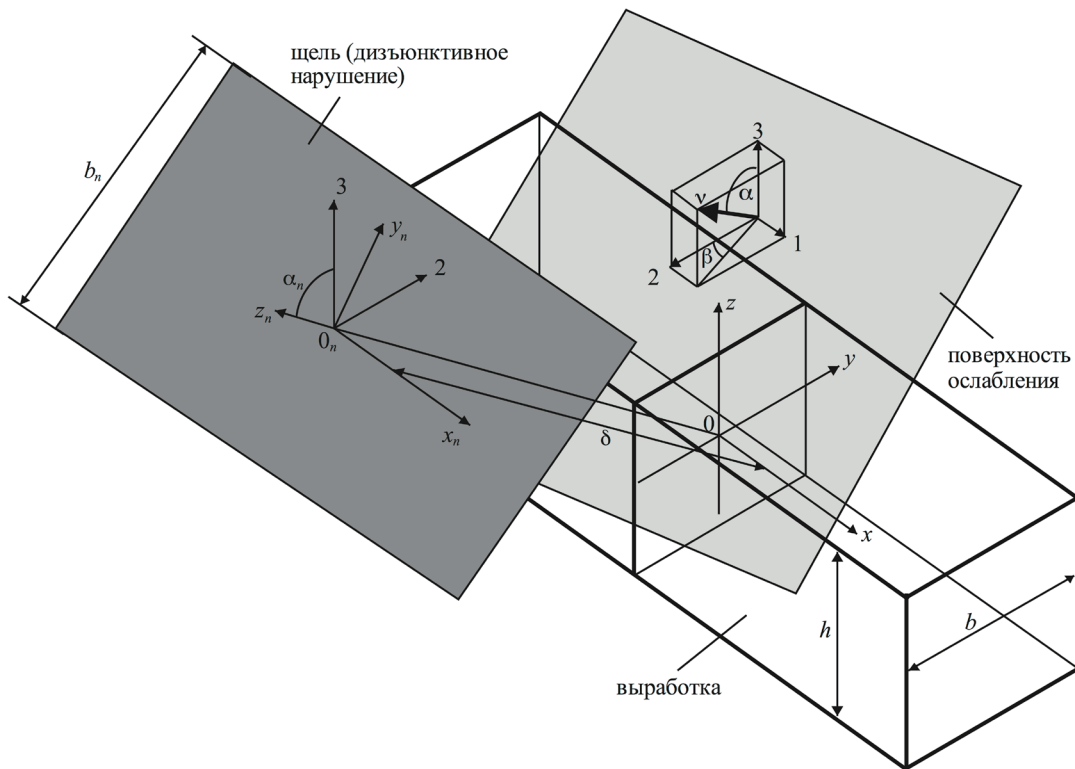


Рисунок 1 – Расчётная схема анизотропного массива с выработкой и щелью
 Figure 1 - The design scheme of an anisotropic massif with a generation and a gap

В этой связи построение модели геомеханического состояния анизотропного массива с дизъюнктивным нарушением и выработкой является важной научной и производственной задачей.

2. Выбор модели и методов решения задачи

В массиве горных пород с регулярными поверхностями ослабления имеются дизъюнктивное нарушение (в дальнейшем щель) размером b_n , наклонённая к горизонту на угол α_n , и выработка прямоугольного сечения размерами $b \times h$, пройденная на глубине H . Массив нагружен гравитационным давлением γH (γ – средневзвешенный объёмный вес налегающих пород), а по бокам – давлением $\lambda \gamma H$ (λ – коэффициент бокового давления). Для проведения расчётов выбраны две системы координат: глобальная и локальная. Начало глобальной системы координат xyz расположено в центре сечения выработки, а начало локальной системы $x_n y_n z_n$ – в центре сечения щели. Её положение относительно выработки определено расстоянием δ между центрами θ , θ_n и углом падения α_n , а направления 1, 2, 3 соответственно параллельны осям x, y, z . (рис. 1).

Положение поверхности ослабления по отношению к выработке задаётся углом падения α и углом простирания β (рис. 1). Как и в [2–5] угол α равен углу между нормалью ν к поверхности и осью z , а угол β равен углу между проекцией нормали на горизонтальную плоскость $x\theta y$

и осью y .

Принято также, что

1) трасса выработки и направление щели параллельны, а их размеры вдоль оси x значительно превосходят размеры в плоскости θ_{yz} , поэтому породы в окрестности выработки и щели находятся в условиях плоской деформации;

2) сжимающие нормальные напряжения положительны, а растягивающие отрицательны.

Решение данной задачи строится в рамках модели анизотропного массива горных пород [3, 4, 20, 21]. Она основана на уравнениях механики деформируемого твёрдого тела [22]. Поле напряжений строится методом граничных элементов (МГЭ) в форме фиктивных нагрузок [3, 16].

Система граничных уравнений на поверхностях близкорасположенных выработки и щели, состоит из четырёх блоков. Первый блок включает уравнения метода фиктивных нагрузок, формулирующих условия на контуре выработки. Второй блок ставит граничные условия на поверхности выработки от смещений на поверхности щели. Третий блок формулирует разрывы смещений на поверхности щели от действия фиктивной нагрузки, приложенной на поверхности выработки. Четвёртый блок включает уравнения метода разрывных смещений, формулирующих условия на поверхности щели [23].

$$\begin{cases} \frac{1}{2} A_{y,i} - \sum_{j=1}^{N_b} (\Phi_{yy,ij} A_{y,j} + \Phi_{yz,ij} A_{z,j}) \Delta L_{b,i} + \sum_{j=1}^{N_n} (\Omega_{yy,ij} D_{y,j} + \Omega_{yz,ij} D_{z,j}) \Delta L_{b,i} = \lambda \gamma H \Delta L_{b,i} n_{yb,i} \\ \frac{1}{2} A_{z,i} - \sum_{j=1}^{N_b} (\Phi_{zy,ij} A_{y,j} + \Phi_{zz,ij} A_{z,j}) \Delta L_{b,i} + \sum_{j=1}^{N_n} (\Omega_{zy,ij} D_{y,j} + \Omega_{zz,ij} D_{z,j}) \Delta L_{b,i} = \gamma H \Delta L_{b,i} n_{zb,i} \\ \sum_{j=1}^{N_b} (\Phi_{1yy,ij} A_{y,j} + \Phi_{1yz,ij} A_{z,j}) + K_s D_{y,i} + \sum_{j=1}^{N_n} \Psi_{ij} D_{y,j} = \frac{(1-\lambda)\gamma H}{2} \sin 2\alpha_n \\ \sum_{j=1}^{N_b} (\Phi_{1zy,ij} A_{y,j} + \Phi_{1zz,ij} A_{z,j}) + K_n D_{z,i} + \sum_{j=1}^{N_n} \Psi_{ij} D_{z,j} = \left(\frac{1+\lambda}{2} + \frac{1-\lambda}{2} \cos 2\alpha_n \right) \gamma H. \end{cases} \quad (2)$$

В уравнениях (2) $\Delta L_{b,i}$ – размер i -го граничного элемента выработки, n_{yb} , n_{zb} – направляющие косинусы нормали к точкам контура выработки. Φ_{yy} , Φ_{yz} , Φ_{zy} , Φ_{zz} – матрицы влияния фиктивной нагрузки на контуре выработки; Φ_{1yy} , Φ_{1yz} , Φ_{1zy} , Φ_{1zz} – матрицы влияния фиктивной нагрузки на контуре щели; Ω_{yy} , Ω_{yz} , Ω_{zy} , Ω_{zz} – матрицы влияния разрывов смещений на контуре выработки; Ψ – матрица влияния разрывов смещений на контуре щели. Матрицы $\Phi_{yy} \dots \Phi_{1zz}$ определяются по формулам, приведённым в [3, 4, 22], а матрицы $\Omega_{yy} \dots \Psi$ по формулам, приведённым в [16].

Таким образом, система уравнений имеет порядок $2(N_b + N_n) \times 2(N_b + N_n)$ относительно неизвестных компонент фиктивной нагрузки A_y , A_z , и координат разрывов смещений D_y , D_z (N_b – количество элементов на контуре выработки, N_n – число элементов на контуре щели).

После решения системы уравнений (2) напряжения в произвольной точке k расчетной области, представляющей собой регулярную сетку, определяются путём суммирования напряжений от действия фиктивной нагрузки [22, 24], разры-

вов смещений [16] и напряжений естественного поля.

3. Проведение расчётов и анализ результатов

В рамках описанной модели проведён вычислительный эксперимент, за исходные данные в котором приняты следующие параметры массива, выработки и щели: $\lambda=0.7$, $\gamma=25 \text{ кН/м}^3$, $H=600 \text{ м}$, $b=3 \text{ м}$, $h=2 \text{ м}$, $b_n=30 \text{ м}$, $\alpha_n=30^\circ$, $K=0,75 \text{ МПа}$, $\phi=20^\circ$, $\delta=18 \text{ м}$, $K_n=100 \text{ МПа/м}$, $K_s=0.4 K_n$. Другие параметры среды в ходе эксперимента менялись.

На рисунке 2а представлены зоны нарушения сплошности массива при $\alpha=40^\circ$, $\beta=20^\circ$. Из рисунков следует, что, во-первых, ЗНС в окрестности щели значительно превосходят по размерам ЗНС около выработки, во-вторых, ЗНС концентрируются на концах щели, в-третьих, при заданных значениях α и β зоны около щели и зоны около выработки не смыкаются между собой.

На рисунке 2б ЗНС построены при $\alpha=20^\circ$, $\beta=40^\circ$. В отличие от рисунка 2а на этом рисунке зоны нарушения сплошности массива вокруг выработки и щели смыкаются между собой, образуя области неустойчивости. Как отмечалось ранее [6, 7, 17], зоны нарушения сплошности обладают свойством повышенной фильтрации метана, и если щель, представляющая геологическое нарушение, является суфляром или кол-

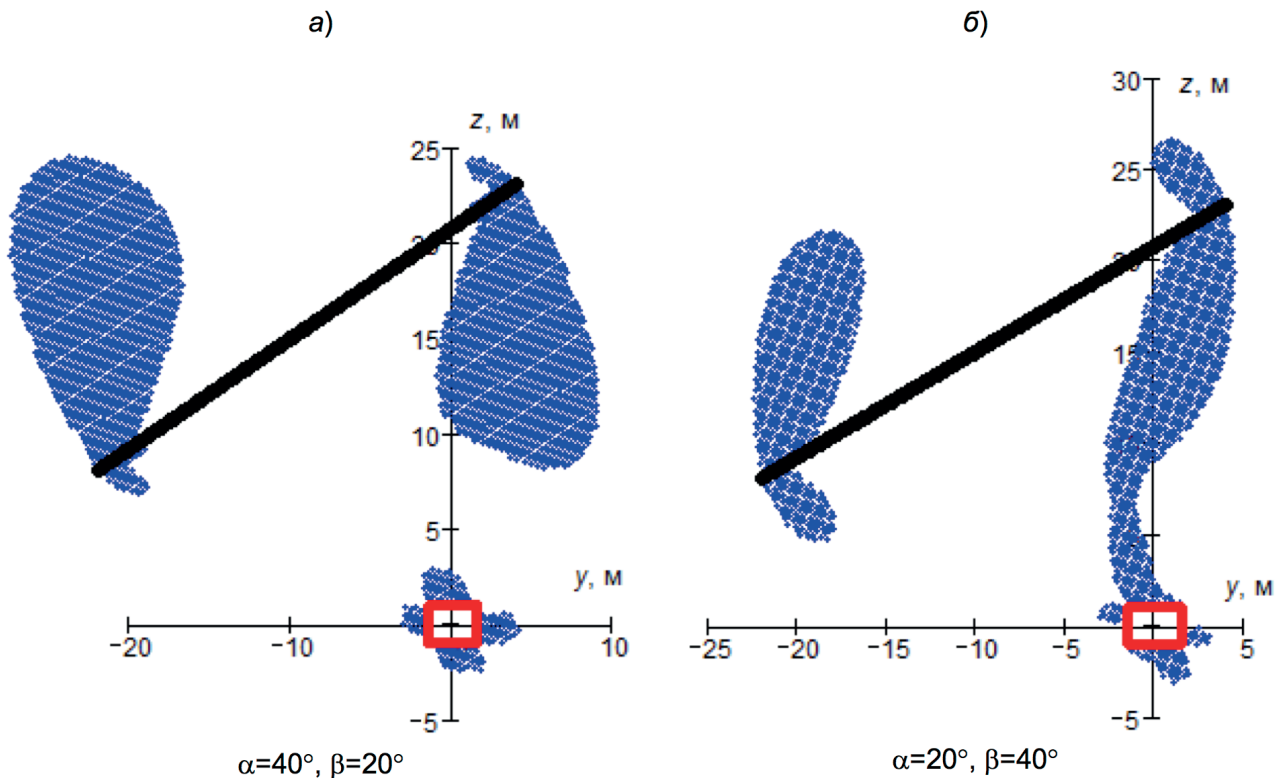


Рисунок 2 – Зоны нарушения сплошности в окрестности выработки и щели
Figure 2 - Zones of discontinuity disruption in the vicinity of the generation and gap

лектором свободного метана, находящегося под давлением, то поступление метана в выработку может резко возрасти. Кроме этого, в областях неустойчивости наблюдается повышенное проявление вывалов в выработку разрушенной горной породы.

Как следует из рисунков, размеры и конфигурация ЗНС определяются углами падения и простирания регулярных поверхностей ослабления. В этой связи для наиболее полной оценки геомеханического состояния анизотропного массива в окрестности выработки и щели важно знать, при каких значениях углов происходит образование его областей неустойчивости.

На рисунке 3 представлена диаграмма области неустойчивости массива, построенная при изменении углов α , β от 0° до 90° . Эта область представляет собой гладкий замкнутый несимметричный овал. Координаты точек, расположенных внутри области, включая и контур, соответствуют образованию областей неустойчивости массива.

4. Выводы:

1. Модель геомеханического состояния массива горных пород с прочностной анизотропией, вмещающая выработку и дизъюнктивное нарушение, построена на основе методов фиктивных нагрузок и разрывных смещений, описывающих граничные условия задачи. В ней дизъюнктивное нарушение представлено узкой щелью с заполнителем, обладающим нормальной и сдвиговой жёсткостями. Модель ориен-

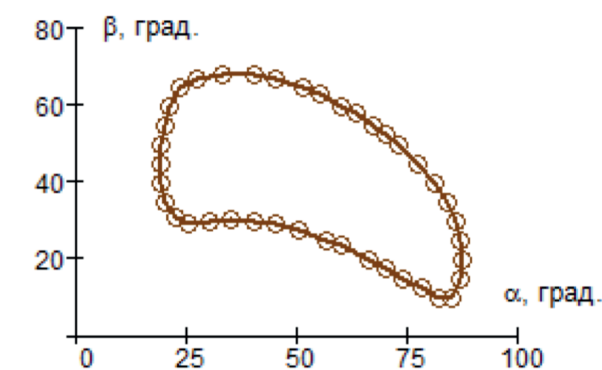


Рисунок 3 – Диаграмма неустойчивости массива в системе координат α и β
Figure 3 – Diagram of the instability of the array in the coordinate system α and β

тирована на исследования массива осадочных горных пород.

2. Размеры и конфигурация образующихся вокруг выработки и щели зон нарушения сплошности зависят от углов ориентации поверхностей ослабления. При некоторых углах размеры этих зон значительны и, сливаются между собой, образуют области неустойчивости массива.

3. Диаграмма неустойчивости массива, вмещающего щель и выработку прямоугольного сечения, представляет собой замкнутый контур в форме несимметричного овала. Координаты точек, расположенных внутри этого контура, включая и сам контур, соответствуют углам падения и простирания регулярных поверхностей ослабления, при которых зоны нарушения сплошности, образующиеся по отдельности вокруг выработки и щели, представляют собой единую зону.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кузнецов Г.Н. Предельные состояния твердых горных пород с учетом пространственной ориентировки поверхностей ослабления // Тр. ВНИМИ. Л., 1961. № 43. С. 98–112.
2. Ержанов Ж.С., Изаков В.Ю., Станкус В.М. Комбайновые выработки шахт Кузбасса. Опыт поддержания и расчёт устойчивости. Кемерово: Кемеровское книжное изд-во, 1976. 216 с.
3. Черданцев Н.В. Разработка методических основ изучения геомеханического состояния анизотропного (по прочности) массива с системой выработок: Дис. ... д-ра техн. наук. Кемерово, 2007. 309 с.
4. Черданцев Н.В., Преслер В.Т., Ануфриев В.Е. Вопросы методического и инструментального обеспечения мониторинга горных выработок. Кемерово, ИУ СО РАН, 2012. 222 с.
5. Черданцев Н.В. Моделирование разрушений в анизотропном по прочности неоднородном массиве горных пород, вмещающем выработку // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2012. № 1. С. 6–11.
6. Черданцев Н.В., Черданцев С.В. Зоны нарушения сплошности в области сопряжения двух горных выработок // ПМТФ. 2004. № 4. С. 137–139.
7. Черданцев Н.В., Преслер В.Т., Изаков В.Ю. Построение областей неустойчивости двухсвязного массива горных пород с прочностной анизотропией // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2009. № 8. С. 313–320.
8. Черданцев Н.В., Преслер В.Т., Изаков В.Ю. Обоснование геомеханической модели разрушения многосвязного массива горных пород с прочностной анизотропией // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2009. Т. 7. № 12. С. 122–125.
9. Черданцев Н.В., Федорин В.А. Геомеханическое состояние массива горных пород с поверхностями ослабления в окрестности комплекса протяжённых горизонтальных выработок // Вест. КузГТУ. 2006. № 1. С. 17–19.
10. Черданцев Н.В. Устойчивость целиков в окрестности системы выработок, сооружаемых в анизотропном по прочности массиве горных пород // Вестник КузГТУ. 2012. № 1. С. 15–19.
11. Черданцев Н.В. Классификация вырезов по степени их влияния на окружающий массив // Н.В. Черданцев, В.Т. Преслер, В.Ю. Изаков // Вест. КузГТУ.–2006.–№ 5.–С. 3–7.

12. Черданцев Н.В., Преслер В.Т. Моделирование геомеханического состояния анизотропного по прочности неоднородного массива горных пород // Вестник КузГТУ. 2011. № 3. С. 15–22.
13. Черданцев С.В., Черданцев Н.В. О влиянии предварительно обжатой пружины на зону нарушения сплошности вокруг цилиндрической полости // ПМТФ. 2005. № 3. С. 141–148.
14. Черданцев Н.В. Влияние анкерной крепи на устойчивость породного массива, вмещающего одиночную выработку // Вестник КузГТУ. 2012. № 4. С. 3–7.
15. Букринский В.А. Геометрия недр. М.: Недра, 1999. 526 с.
16. Крауч С., Старфилд А. Методы граничных элементов в механике твёрдого тела. М.: Мир, 1987. 328 с.
17. Петухов И.М., Линьков А.М. Механика горных ударов и выбросов. М.: Недра, 1983. 280 с.
18. Чернов О. И., Пузырев В.Н. Прогноз внезапных выбросов угля и газа. М.: Недра, 1979. 296 с.
19. Черданцев Н.В., Черданцев С.В. Геомеханическое состояние массива горных пород, вмещающего выработку и дизъюнктивное нарушение // Вестник КузГТУ. 2014. № 6. С. 3–12.
20. Черданцев Н.В., Шаламанов В.А. Метод граничных интегральных уравнений в задачах механики подземных сооружений // Вест. КузГТУ. 2003. № 4. С. 19–21.
21. Черданцев Н.В., Шаламанов В.А. Граничные интегральные уравнения в задачах механики подземных сооружений // Известия вузов «Горный журнал». 2004. № 5. С. 50–54.
22. Лурье А.И. Теория упругости. М.: Наука, 1970. 940 с.
23. Черданцев Н.В. Анализ геомеханического состояния массива горных пород в окрестности выработки, пройденной вблизи геологического нарушения // Безопасность труда в промышленности. 2015. № 8. С. 38–43.
24. Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твёрдого тела. М.: Наука, 1988. 712 с.

REFERENCES

1. Kuznetsov, G.N. (1961). Predelnye sostoyaniya tverdykh gornyx porod s uchetom prostranstvennoy orientirovki poverhnostey oslableniya [Limiting states of solid rock with allowance for the weakening surfaces spatial orientation]. *Trudy VNIMI – VNIMI Works*, 43, 98-112 [in Russian].
2. Yerzhanov, Zh.S., Izakson, V.Yu., & Stankus, V.M. (1976). *Kombajnovye vyrabotki shakht Kuzbassa. Opyt podderzhaniya i raschyot ustojchivosti* [Combine mine workings of Kuzbass mines. Experience in maintaining and stability calculation]. Kemerovo: Kemerovskoe knizhnoie izdatelstvo [in Russian].
3. Cherdantsev, N.V. (2007). *Razrabotka metodicheskikh osnov izucheniya geomekhanicheskogo sostoyaniya anizotropnogo (po prochnosti) massiva s sistemoy vyrabotok* [Development of methodological bases for studying the geomechanical state of an anisotropic (for strength) massif with a system of openings]. *Doctor's thesis*, Kemerovo [in Russian].
4. Cherdantsev, N.V., Presler, V.T., & Anufriev, V.Ye. (2012). *Voprosy metodicheskogo i instrumentalnogo obespecheniya monitoringa gornyx vyrabotok* [Questions of methodical and instrumental support of mine openings monitoring]. Kemerovo, IU SB RAS [in Russian].
5. Cherdantsev, N.V. (2012). *Modelirovanie razrushenij v anizotropnom po prochnosti neodnorodnom massive gornyx porod, vmeshchayushchem vyrabotku* [Modeling of fracturing in anisotropic for strength nonhomogeneous rock massif, containing an opening]. *Vestnik Nauchnogo centra po bezopasnosti rabot v ugolnoj promyshlennosti – Gerald of Safety in Mining Industry Scientific Center*, 1, 6-11, [in Russian].
6. Cherdantsev, N.V., & Cherdantsev, S.V. (2004). *Zony narusheniya sploshnosti v oblasti sopryazheniya dvukh gornyx vyrabotok* [Zones of continuity disturbance in the area of two mine opening junction]. *PMTF*, 4, 137-139 [in Russian].
7. Cherdantsev, N.V., Presler, V.T., & Izakson, V.Yu. (2009). *Postroenie oblastej neustojchivosti dvukhsvyaznogo massiva gornyx porod s prochnostnoj anizotropiej* [Construction of rock massif doubly-connected instability areas with strength anisotropy]. *Gorny informatsionno-analiticheskii biulleten – Mining Informational Analytical Bulletin*, 8, 313-320 [in Russian].
8. Cherdantsev, N.V., Presler, V.T., & Izakson, V.Yu. (2009). *Obosnovanie geomekhanicheskoy modeli razrusheniya mnogosvyaznogo massiva gornyx porod s prochnostnoj anizotropiej* [Substantiation of multiply connected rock massif with strength anisotropy destruction geomechanical model]. *Gorny informatsionno-analiticheskii biulleten – Mining Informational Analytical Bulletin*, V.7, 12, 122-125 [in Russian].
9. Cherdantsev, N.V., & Fedorin, V.A. (2006). *Geomekhanicheskoe sostoyanie massiva gornyx porod s poverhnostyami oslableniya v okrestnosti kompleksa protyazhyonnykh gorizontalnykh vyrabotok* [Geomechanical state of the rock massif with attenuation surfaces in the vicinity of the extended horizontal opening complex]. *Vestnik KuzGTU – KuzGTU Gerald*, 1, 17-19 [in Russian].
10. Cherdantsev, N.V. (2012). *Ustojchivost tselikov v okrestnosti sistemy vyrabotok, sooruzhaemykh v anizotropnom po prochnosti massive gornyx porod* [Stability of the pillars in the vicinity of the opening system being built in anisotropic for strength rock massif]. *Vestnik KuzGTU – KuzGTU Gerald*, 1, 15-19 [in Russian].
11. Cherdantsev, N.V., Presler, V.T., & Izakson, V.Yu. (2006). *Klassifikaciya vyrezov po stepeni ikh vliyaniya na okruzhayushchij massiv* [Classification of cut-outs according to their influence degree on the surrounding massif]. *Vestnik KuzGTU – KuzGTU Gerald*, 5, 3-7 [in Russian].
12. Cherdantsev, N.V., & Presler, V.T. (2011). *Modelirovanie geomekhanicheskogo sostoyaniya anizotropnogo po prochnosti neodnorodnogo massiva gornyx porod* [Modelling of anisotropic for strength inhomogeneous rock massif geomechanical state]. *Vestnik KuzGTU – KuzGTU Gerald*, 3, 15-22 [in Russian].
13. Cherdantsev, S.V., & Cherdantsev, N.V. (2005). *O vliyaniy predvaritelno obzhatoy pruzhiny na zonu narusheniya sploshnosti vokrug tsilindricheskoy polosti* [On the effect of a pre-compressed spring on the discontinuity zone around the cylindrical cavity]. *PMTF*, 3, 141-148 [in Russian].
14. Cherdantsev, N.V. (2012). *Vliyanie ankernoy крепи na ustojchivost porodnogo massiva, vmeshchayushchego odinochnuyu vyrabotku* [The anchor support influence on the stability of the rock massif, containing a single opening]. *Vestnik KuzGTU – KuzGTU Gerald*, 5, 3-7 [in Russian].

15. Bukrinsky, V.A. (1999). *Geometria nedr [Deposits' geometry]*. Moscow: Nedra [in Russian].
16. Crauch, C., & Starfield, A. (1987). *Metody granichnykh ehlementov v mekhanike tvyordogo tela [Methods of boundary elements in the mechanics of solids]*. Moscow: Mir [in Russian].
17. Petukhov, I.M., & Linkov, A.M. (1983). *Mekhanika gornyykh udarov i vybrosov [Rock shocks and outbursts mechanics]*. Moscow: Nedra [in Russian].
18. Chernov, O.I., & Puzyrev, V.N. (1979). *Prognoz vnezapnykh vybrosov uglia i gaza [Forecast of sudden coal and gas outbursts]*. Moscow: Nedra [in Russian].
19. Cherdantsev, N.V., & Cherdantsev, S.V. (2014). Geomekhanicheskoe sostoyanie massiva gornyykh porod, vmeshchayushchego vyrabotku i dizyunktivnoe narushenie [Geomechanical state of rock massif containing an opening and disjunctive disturbance]. *Vestnik KuzGTU – KuzGTU Gerald*, 6, 3-12 [in Russian].
20. Cherdantsev, N.V., & Shalamanov, V.A. (2003). Metod granichnykh integralnykh uravnenij v zadachakh mekhaniki podzemnykh sooruzhenij [The method of boundary integral equations in the underground structure mechanics tasks]. *Vestnik KuzGTU – KuzGTU Gerald*, 4, 19-21 [in Russian].
21. Cherdantsev, N.V., & Shalamanov, V.A. (2004). Granichnye integralnye uravneniya v zadachakh mekhaniki podzemnykh sooruzhenij [Boundary integral equations in the underground structure mechanics tasks]. *Izvestia vuzov "Gorny zhurnal" – High School News "Mining Magazine"*, 5, 50-54 [in Russian].
22. Lurie A.I. (1970). *Teoria uprugosti [Theory of elasticity]*. Moscow: Nauka [in Russian].
23. Cherdantsev, N.V. (2015). Analiz geomekhanicheskogo sostoyaniya massiva gornyykh porod v okrestnosti vyrabotki, proydnoy vblizi geologicheskogo narusheniya [Analysis of the rock massif geomechanical state in the vicinity of the opening headed near the geological disturbance]. *Bezopasnost truda v promyshlennosti – Industrial Labor Safety*, 8, 38-43 [in Russian].
24. Rabotnov, Yu.N. (1988). *Mekhanika deformiruемого tverdogo tela [Deformable solid body mechanics]*. Moscow: Nauka [in Russian].

Главные цели «НЦ ПБ»:

Создать замкнутый цикл в решении проблем промышленной безопасности и охраны труда, обеспечив комплексный подход: от идеи до разработки нормативно - правовой базы и научно-производственных проектов с их полной последующей реализацией.

Оперативно и качественно решать вопросы с учетом индивидуальных особенностей и специфики шахт, разрезов и иных опасных производственных объектов.

НАО «НЦ ПБ»

650002, г Кемерово, Сосновый бульвар, 1.

Генеральный директор

Ахлестин Николай Николаевич
Моб. 8-961-708-74-50
Тел./факс: (3842) 77-86-63
e-mail: a9617087450@gmail.com

Директор по

проектированию

Артюшин Игорь Александрович
Тел. (384-2) 77-86-57
Моб. 8-923-611-27-41
e-mail: igor.artushin@gmail.com

Непубличное акционерное общество «Научный центр промышленной безопасности»

государственно-частное партнерство

Акционеры «НЦ ПБ»



ФГБОУ ВПО «КузГТУ»



АО НИИГД



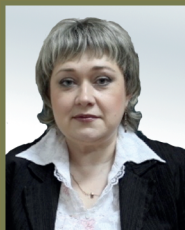
ООО «ВостЭКО»

Стратегические направления деятельности:

- 1) Научно-исследовательская деятельность в области горных работ
- 2) Опытнo-кoнстpуктopская деятельность
- 3) Производство инновационных научных разработок, применяемых на опасных производственных объектах
- 4) Испытательные лаборатории, сертификационные услуги.
- 5) Проектные работы, выполнения всего комплекса проектных работ для опасных производственных объектов. Свидетельство на виды работ No 2310 от 15 июля 2016, выданное Ассоциацией «Национальный альянс проектировщиков «ГлавПроект» No СРО-П-174-01102012
- 6) Развитие образовательной деятельности Научного центра, ориентированной на подготовку и переподготовку специалистов высшей квалификации в области промышленной безопасности.

научный центр, основанный на государственно-частном партнерстве, сферой деятельности которого является обеспечение комплексного решения вопросов в области промышленной безопасности и охраны труда в горной и других отраслях промышленности.





Е. Н. Козырева
gas_coal@icc.
kemsc.ru

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ГАЗОКИНЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА

THE INFLUENCE OF GEOMECHANICAL PROCESSES ON THE GAS-KINETIC CHARACTERISTICS OF THE WORKED-OUT SPACE

Е. Н. Козырева – канд. техн. наук, заведующая лабораторией Федерального исследовательского центра угля и углехимии Сибирского отделения РАН (ФИЦ УХХ СО РАН), 650065, г. Кемерово, Ленинградский проспект, 10

E. N. Kozyreva - candidate of technical sciences, laboratory head of Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 10, Leningradsky prospect, Kemerovo, 650065, Russia

Для обеспечения газовой безопасности на шахтах необходима оценка применяемых технологий добычи угля и метана на основе современных представлений о природе, условиях возникновения и развития динамических газопроявлений. Точность прогноза газовыделения в горные выработки зависит от степени изученности процессов газовыделения из угольных пластов и вмещающего массива и определяет мероприятия для эффективного и рационального извлечения ресурсов углеметановых месторождений. Отмечено, что комплексный подход к прогнозу динамики метанообильности выемочного участка включает пространственное моделирование свойств и состояний массива горных пород в пределах горного отвода шахты и пространственное моделирование реализации газового потенциала массива в зонах интенсивных технологических возмущений на интервалах подвигания очистного забоя, дифференцируя газовыделение по источникам. Показано формирование аэрогазодинамических процессов в выработанном пространстве. Представлены результаты исследований связи газокинетических процессов на выемочном участке с развитием геомеханических процессов в массиве горных пород. Отмечено, что для повышения надежности комплексной системы управления газопроявлениями на выемочном участке требуется ее совершенствование, с целью максимального снижения метанообильности горных выработок и повышения безопасности (по газовому фактору) подземной угледобычи.

To ensure gas safety in mines, it is necessary to assess the applied technologies for coal and methane extraction based on modern concepts of nature, the conditions for the emergence and development of dynamic gas manifestations. The accuracy of the forecasting of gas emission into the mine workings depends on the processes of gas emission from coal seams and the surrounding massif study degree and determines the measures for efficient and rational extraction of coal-methane deposit resources. It was noted that complex approach to the methane inflow dynamics at the extraction site forecast includes spatial modeling of the rock massif properties and conditions within the mine claim and spatial modeling of the massif gas potential realization in the zones of intensive technological disturbances at the intervals of the extraction face advance, differentiating the gas emission by sources. Aerogasdynamic processes formation in the gob area is shown. Connection of gas-kinetic processes at the extraction section with the development of geomechanical processes in the rock massif study results are presented. It is noted that to improve the reliability of the complex gas control system at the extraction section, its improvement is required in order to minimize methane inflow of mine workings and to increase the underground coal mining safety (by gas factor).

Ключевые слова: ВЫЕМОЧНЫЙ УЧАСТОК, ВЫРАБОТАННОЕ ПРОСТРАНСТВО, ВМЕЩАЮЩИЙ МАССИВ, ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЕ И ГАЗОКИНЕТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ПРОГНОЗ МЕТАНООБИЛЬНОСТИ, УПРАВЛЕНИЕ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЕМ

Key words: EXTRACTION SECTION, GOB AREA, ENCLOSING MASSIF, GEOMECHANICA AND GAS-KINETIC PROCESSES, METHANE INFLOW FORECAST, GAS EMISSION CONTROL

Одна из наиболее серьезных проблем на угольных шахтах при обработке пластов – точность прогноза ожидаемой газообильности горных выработок. Однако попытка судить о газовыделении на конкретном участке лавы по физическим показателям, осредненным для всего выемочного столба значительной площади, приводит к тому, что слабо используется область знаний о закономерностях влияния физических свойств массива в его конкретном объеме на кинетику газовыделения. Например, достигаемые до $10\text{--}15\text{ м/сут}$ скорости подвигания очистных забоев сокращают время на разрядку газового потенциала вмещающего массива и разрабатываемого пласта. При этом средняя (по выемочному столбу) относительная метанообильность снижается, однако абсолютные значения притока метана увеличиваются, усугубляя газовую обстановку на выемочном участке.

Решением проблем безопасности угольных шахт, расчетами геомеханического состояния и совершенствованием прогноза метановыделения успешно занимаются как в России, так и за рубежом [1 – 9]. Известно, что основными причинами неравномерности газовыделения являются как высокая изменчивость свойств горного массива даже на ограниченных участках месторождения, так и непостоянство технологических параметров обработки. Для учета совокупного влияния этих факторов в Институте угля ФИЦ УУХ СО РАН разрабатывается методическое обеспечение, реализующее пространственное представление исходной и расчетной информации: расчеты запасов угля, оценку природных и эмиссионных ресурсов метана в массиве, прогнозирование метанообильности очистных и подготовительных забоев. Пространственное (по площади и глубине горного блока) представление этой информации позволяет более точно оценить состояние массива горных пород в зонах технологических возмущений, обеспечивая эффективное управление газовыделением на выемочных участках в конкретных условиях.

При выполнении этих исследований нормативные документы [10 – 12] дополняются следующими разработками Института угля:

- пространственное моделирование свойств и состояний массива горных пород для расчетов газового потенциала в пределах рассматриваемых лав и для прогноза метановыделения на выемочном участке на интервалах подвигания забоя. Методические основы оценки газовых потенциалов вмещающего массива, требования к формированию и эксплуатации

электронных баз геологоразведочных данных горного отвода шахты, примеры пространственного моделирования свойств и состояний массива горных пород подробно рассмотрены в работах [13, 14]. При этом отмечены значительные изменения газокинетических характеристик углегазоносного массива, определяющие его реакцию на технологическое воздействие при обработке выемочных участков;

- прогнозирование ожидаемой метанообильности горных выработок на базе новых знаний о природных формах и состояниях метана в угольном пласте и динамики его выделения в зоне ведения очистных работ. Новые подходы к прогнозу динамики метанообильности выемочного участка по источникам газовыделения на интервалах подвигания очистного забоя и с учетом реализации газового потенциала массива в зонах интенсивных технологических возмущений приведены в работах [15 – 17]. Для угольных шахт результаты этих исследований представляются в виде расчетов основных параметров аэрогазодинамических процессов на выемочном участке и рекомендаций по управлению газовыделением с целью заблаговременного предотвращения опасных газовых ситуаций [18]. Таким образом, физической основой разрабатываемых рекомендаций по эффективному управлению газовыделением на выемочном участке является взаимосвязь изменчивости свойств горного массива с технологическими параметрами обработки угольного пласта (с их периодической корректировкой по мере накопления и анализа оперативной информации);

- поиск и разработка новых технологических и технических решений безопасного и эффективного ведения горных работ с учетом новых фундаментальных знаний о газодинамике угольных месторождений и в смежных с нею областях науки.

При обработке пластов длинными столбами на шахтах широко применяются системы управления газовыделением средствами вентиляции. Современные представления о природе, условиях возникновения и развития динамических газопроявлений позволяют отметить некоторые особенности комбинированной схемы проветривания высокопроизводительного выемочного участка.

При комбинированной схеме проветривания формируется такое воздухораспределение на выемочном участке, при котором вдоль забоя подается количество воздуха, соответствующее разжижению до безопасной концентрации метана, поступающего через поверхность забоя и из

отбитого угля. Вторая часть подаваемого в лаву воздуха направлена на оттеснение от линии забоя метана, поступающего в ее выработанное пространство.

Оттеснение опасных метановоздушных потоков в выработанном пространстве от забоя и действующих выработок осуществляется путем поддержания в нем определенной формы аэродинамической поверхности. Идеальной является такая форма, при которой уже на линиях контакта выработанного пространства с действующими выработками (призабойное пространство, сохраняемая выработка и т.д.) вектор аэродинамического ската направлен от этих границ. Однако реальное выработанное пространство далеко от идеала и в процессе движения забоя постоянно меняет свои свойства. По мере отхода лавы не только возрастает общее аэродинамическое сопротивление, но и его удельная (на единицу длины) величина не остается постоянной. Например, в зоне зависания кровли формируются участки с минимальным удельным сопротивлением, что приводит к отрицательным, обратным углам ската аэродинамической поверхности. Особенно ощутимо влияние этого фактора при возобновлении очистных работ после длительной остановки забоя, когда ранее обрушенные породы уплотнились, а зависанию кровли сопутствует активизация потоков метана из близко расположенных пластов-спутников. В этой ситуации, в процессе перемещения поступающих в лаву воздушных масс, создаются отраженные от уплотненной зоны выработанного пространства потоки метановоздушной смеси, выносящие газ в действующие выработки. Некоторые расчетные модели этих процессов ориентированы на установление таких параметров системы управления газовыделением средствами вентиляции, при которых в отраженных потоках концентрация метана не превышает

предельно допускаемую концентрацию для действующих выработок. Естественно, в реальных условиях подобная система имеет вполне конкретную величину максимально возможного отхода лавы от точки газоотвода из выработанного пространства, выше которого выполнить условия сохранения нормальной газовой обстановки оказывается невозможным. Повышение этого предела достигается, как правило, существенным увеличением депрессии газоотводящих вентиляторов и их производительности, а также соответствующим увеличением сечений выработок, значительную часть которых необходимо поддерживать в интенсивно деформирующемся выработанном пространстве. Неизбежные при этом высокие затраты на строительство и эксплуатацию системы, ее недостаточная газовая и эндогенная пожарная безопасности обуславливают необходимость поиска иных технологических решений.

С позиций газовой безопасности интерес представляет распределение концентрации метана по длине выработанного пространства и, особенно, непосредственно в его призабойной части. Распределение носит ситуационный характер и определяется совокупностью технологических, геомеханических, фильтрационных, газокинетических и аэродинамических процессов. Довольно сложная картина этой взаимосвязи может быть представлена следующим образом (рис.1).

Повышенные нормальные напряжения в разрабатываемом пласте, формирующиеся у линии движущегося забоя, снижают его газопроницаемость и, соответственно, скорость газовыделения. Но меньшее газоистощение угля в этой зоне пласта приводит к существенному приросту газовыделения в процессе его отбойки и транспортирования. Естественно имеет место некоторая предельно возможная производительность

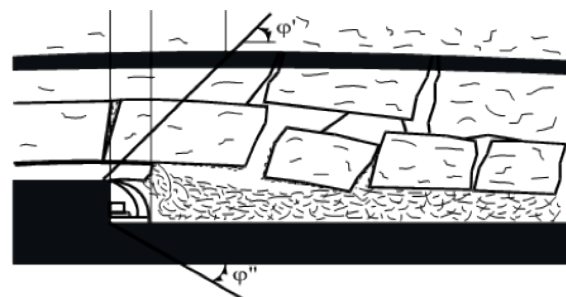
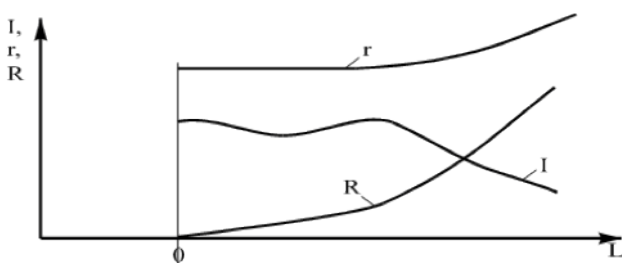


Рисунок 1 - Схема влияния геомеханических процессов на фильтрационные и газокинетические характеристики массива в зоне влияния отработки пласта: R, r – общее и удельное аэродинамические сопротивления выработанного пространства, соответственно; I – абсолютное метановыделение; L – протяженность выработанного пространства; φ', φ'' – углы разгрузки кровли и почвы, соответственно

Figure 1 - Scheme of the influence of geomechanical processes on the filtration and gas-kinetic characteristics of the massif in the zone of influence of working out the formation: R, r - total and specific aerodynamic drags of the worked out space, respectively; I - absolute methane release; L - length of the worked out space; φ', φ'' - corners of unloading of roof and soil, respectively

выемки, при которой возможности эффективного проветривания исчерпываются полностью. Ситуация усугубляется при слоевой обработке пласта, когда в область разгрузки попадает значительная масса угля в остающемся слое. Его интенсивное газоистощение происходит в зоне, непосредственно прилегающей к линии забоя, что приносит дополнительные трудности в проветривании.

Подобная картина характерна и для пластов-спутников. В первом приближении эпюра газопритока из них определяется газосодержанием, расстоянием до обрабатываемого пласта и углом разгрузки пород. Величина последнего зависит от геомеханических характеристик массива, скорости продвижения забоя и способа управления кровлей. На параметры данного источника метановыделения влияет не только скорость и величина сдвижений пород, но и подобные характеристики обратного процесса – их слеживаемости. При значительном удалении от разрабатываемого пласта период активного газоистощения пласта-спутника существенно сокращается в связи с восстановлением проницаемости междупластья. Если процессы сдвижения пород достигают выработанных пространств соседних рабочих пластов, то возможно даже опрокидывание газового потока из пластов-спутников, если проницаемость массива и общешахтная депрессия этому способствуют.

Рассмотренные процессы формируют соответствующую аэрогазодинамику выработанного пространства. Причем, относительно небольшие размеры фильтрационных каналов в массиве за пределами зоны обрушения и наличие в них газа, перемещающегося под действием внутрипластового давления, позволяют пренебречь возможностью движения значимых объемов воздуха вне зоны обрушения. Тогда результирующая картина может быть представлена совокупностью изменений по длине выработанного пространства газопритока и аэродинамического сопротивления (рис. 1). Они и определяют концентрацию метана в отраженных вентиляционных потоках, возвращающихся из выработанного пространства в действующие выработки. Снижение величины угла сдвижений приводит к удалению от забоя максимума газопритока, но сопутствующее этому зависание пород кровли увеличивает размер зоны с недостаточным подбучиванием выработанного пространства и, как следствие, его низким удельным аэродинамическим сопротивлением на этом участке.

Наиболее неблагоприятная ситуация воз-

никает при остановке забоя сразу после посадки основной кровли и последующим возобновлении работ до существенного газоистощения пластов-спутников. На первых метрах продвижения эпюра удельного аэродинамического сопротивления будет иметь очень высокий градиент за линией обрушенных пород и весьма низкий в зоне зависания по направлению к забою. Для снижения интенсивности отраженных потоков необходима очень высокая депрессия воздуха к точке газоотвода из выработанного пространства, что не всегда возможно. По мере нарастания общего аэродинамического сопротивления выработанного пространства, в связи с отходом лавы от точки газоотвода, опасность подобных ситуаций усугубляется.

Дальнейшее повышение надежности систем управления газовой выделением возможно по следующим направлениям:

- разработка технологий и технических средств обеспечения повышенного удельного аэродинамического сопротивления выработанного пространства у его границ с действующими выработками, например, постоянное поддержание вдоль границ выработанного пространства местных аэродинамических сопротивлений, обеспечивающих в случаях их длительного существования сохранение повышенной герметичности в деформирующейся среде;

- совершенствование комплексной системы управления газовой выделением на выемочном участке, предусматривающей совместное применение двух способов – вентиляции и дегазации – с учетом новых технических возможностей бурения дегазационных скважин и схем их расположения, а также с учетом структуризации вмещающего массива. Обоснование параметров скважин для дегазации надрываемых и подрабатываемых пластов с целью максимального возможного снижения метанообильности выработанного пространства на выемочном участке выполняется в Институте угля ФИЦ УУХ СО РАН. Оно производится по результатам расчета геомеханических процессов, полученных в рамках блочно-иерархической модели углепородного массива.

Применение всего комплекса известных технологических решений в совокупности с новыми элементами локального изменения аэрогазодинамики выработанного пространства и технических средств бурения дегазационных скважин позволяет более эффективно решать задачи нормализации газовой обстановки при высокопроизводительной добыче угля.

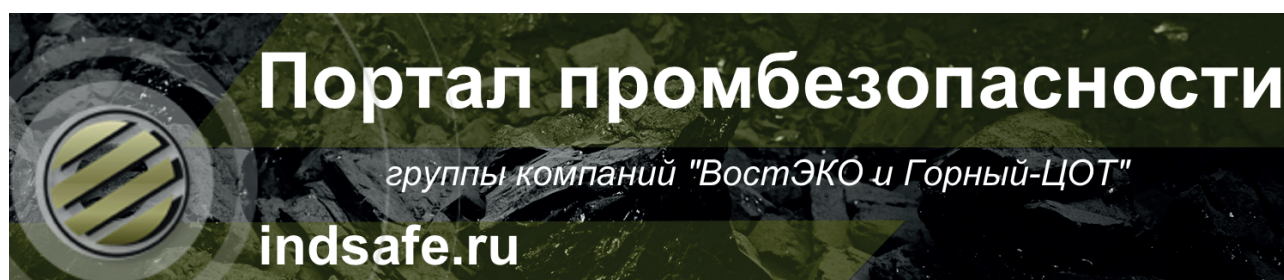
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Tailakov O.V. Justification of a Method for Determination of Gas Content in Coal Seams to Assess Degasification Efficiency / Tailakov O.V., Kormin A.N., Zastrelov D.N., Utkaev E.A., Sokolov S.V. // The 8th Russian-Chinese Symposium. Coal in 21st Century: Mining, Processing and Safety, 2016 – pp. 324 – 329.
2. Палеев Д.Ю., Аксенов В.В., Лукашов О.Ю., Васенин И.М., Крайнов А.Ю., Шрагер Э.Р. Моделирование аэрогазодинамических процессов в вентиляционных сетях современных горнодобывающих предприятий // ГИАБ. 2015. № 2 (7). С. 224 – 230.
3. Черданцев Н.В., Черданцев С.В. Исследование состояния массива горных пород в окрестности выработки, пройденной вблизи геологического нарушения // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2015. № 5. С. 3 – 11.
4. Черданцев Н.В. Устойчивость анизотропного массива горных пород с системой двух спаренных выработок квадратного поперечного сечения // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2016. № 3. С. 6 – 13.
5. Прогноз метановой опасности угольных шахт при интенсивной отработке угольных пластов / Качурин Н.М. [и др.]. Тула–Кемерово: ТулГУ. 2013. 220 с.
6. Клишин В.И., Опрук Г.Ю. Расчёт газовыделения в очистной забой в системах разработки подэтажными штреками «крепь-штрек» // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2012. № 6 (4 квартал). С. 54 – 59.
7. Денисенко В.П., Верба Р.В., Абакумова Е.В. Проблемы текущего прогнозирования метановыделения в горных выработках угольных шахт // Труды РАНМИ. 2011. № 8. С. 138 – 148.
8. Коликов К.С., Кашапов К.С., Иванов Ю.М. Опыт заблаговременного извлечения метана из угольных пластов Карагандинского бассейна // Технологии нефти и газа. 2011. № 1. С. 37 – 40.
9. Tabachenko, N.M. About extraction of methane and slate gas from coal and slate deposits / Tabachenko N.M., Dychkovskiy R.Ye., Falshtynskiy V.S. // Науковий Вісник Національного Гірничого університету. 2012. Т.2. С. 44 – 48.
10. Инструкция по применению схем проветривания выемочных участков шахт с изолированным отводом метана из выработанного пространства с помощью газоотсасывающих установок // Утверждена приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 1 декабря 2011 года № 680. 126 с.
11. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях. СПб., 1998. 291 с.
12. Инструкции по дегазации угольных шахт. Серия 05. Выпуск 22. М.: ЗАО Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности, 2012. 250 с.
13. Козырева Е.Н. Газовые потенциалы разрабатываемых участков углеметановых месторождений, особенности их распределения и реализации // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2014. № 1. С. 109 – 113.
14. Козырева Е.Н., Рябцев А.А., Граничева О.В., Плаксин М.С., Леонтьева Е.В., Родин Р.И. Методические основы автоматизированной оценки распределения газового потенциала вмещающего массива // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2016. № 3. С. 20 – 26.
15. Полевщиков Г.Я., Козырева Е.Н., Шинкевич М.В. Нелинейные изменения метанообильности высокопроизводительного выемочного участка // Безопасность труда в промышленности. 2014. № 6. С. 50 – 54.
16. Полевщиков Г.Я., Козырева Е.Н., Шинкевич М.В. Обоснование технологических решений по управлению метанообильностью выемочного участка с учетом геомеханических процессов // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2014. № 2. С. 37 – 43.
17. Плаксин М.С. Разработка и обоснование мероприятий по безопасному проведению подготовительных выработок на высокогазоносных угольных пластах // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2016. № 4. С. 17 – 21.
18. Козырева Е.Н., Шинкевич М.В., Леонтьева Е.В., Буланчиков С.П., Ослаповский С.Ф. Применение параметрической модели развития иерархии геоструктур в массиве горных пород для проектирования параметров выемочных участков // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. 2016. № 2. С. 54 – 63.

REFERENCES

1. Tailakov, O.V., Kormin, A.N., Zastrelov, D.N., Utkaev, E.A., & Sokolov, S.V. (2016). Justification of a method for determination of gas content in coal seams to assess degasification efficiency. *The 8th Russian-Chinese Symposium. Coal in 21st Century: Mining, Processing and Safety*. 324 – 329 [in English].
2. Paleev, D.Yu., Aksenov, V.V., Lukashov, O.Yu., Vasenin, I.M., Krainov, A.Yu., & Shrager, E.R. (2015). Modelirovaniie aerogazodinamisheskikh protsessov v ventilatsionnykh setiakh sovremennykh gornodobyvaiushchikh predpriatii [Aerogasdynamic processes modelling in ventilation systems of modern mining enterprises]. *GIAB*, 2,224-230 [in Russian].
3. Cherdantsev, N.V., & Cherdantsev, S.V. (2015). Issledovaniia sostoiania massiva gornykh porod v okrestnosti vyrabotki, proidennoi vblizi geologicheskogo narusheniia [The study of the rock massif condition around the mine opening headed near the geological disturbance]. *Vestnik Kuzbassskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Gerald of Kuzbass State Technical University*, 5, 3-11 [in Russian].
4. Cherdantsev, N.V. (2016). Ustoichivost anizotropnogo massiva gornykh porod s sistemoi dvukh sparennykh vyrabotok kvadratnogo poperechnogo secheniia [Anisotropic mine rock massif stability having a system of two adjacent square cross section mine openings]. *Vestnik Nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugolnoi promyshlennosti – Gerald of Coal Mining Safety Scientific Center*, 3, 6-13 [in Russian].
5. Kachurin, N.M. (2013). *Prognoz metanovoi opasnosti ugolnykh shakht pri intensivnoi otrabotke ugolnykh*

- plastov [Coal mine methane danger forecast with high rate coal extraction from the seams]. Tula-Kemerovo: TulGU [in Russian].*
6. Klishin, V.I., & Opruk, G.Yu. (2012). Raschet gazovydeniia v ochildnoi zaboi v sistemakh razrabotki podetazhnyimi shtrekami "krep-shtrek" [Calculation of gas emission at the extraction face with sub-level drifts of "support-drift" development systems]. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Gerald of Kuzbass State Technical University*, 6, 54-59 [in Russian].
 7. Denisenko, V.P., Verba, R.V., & Abakumova Ye.V. (2011). Problemy tekushchego prognozirovaniia metanovydeniia v gornykh vyrabotkakh ugolnykh shakht [Problems of coal mine workings methane emissions current forecasting]. *Trudy RANIMI – RANIMI Works*, 8, 138-148 [in Russian].
 8. Kolikov, K.S., Kashapov, K.S., & Ivanov, Yu.M. (2011). Opyt zablagovremennogo izvlecheniia metana iz ugolnykh plastov Karagandinskogo basseina [Experience of advance methane extraction from the Karaganda basin coal seams]. *Tekhnologii nefti i gaza – Oil and gas techniques*, 1, 37-40 [in Russian].
 9. Tabachenko, N.M., Dychkovskiy R.Ye., & Falshtynskiy V.S. (2012). About extraction of methane and slate gas from coal and slate deposits. *Naukovy Visnik of the National Girnychoho University*, 2, 44 – 48. [in English].
 10. Instruksia po primeneniiu skhem provetrivania vyemochnykh uchastkov shakht s izolirovannym otvodom metanaiz vyrabotannogo prostranstva s pomoshchiu gazootsasyvaiushchikh ustanovok [Instruction for ventilation schemes application at mine sections with separate methane drainage from the gob areas by means of gas suction units]. *Approved by the order of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision dated by December 1, 2011.* [in Russian].
 11. *Pravila okhrany sooruzhenii i prirodnykh obektov ot vrednogo vliianiia podzemnykh gornykh razrabotok na ugolnykh mestorozhdeniiakh [Rules of structures and natural objects protection from the harmful effects of underground mining at coal deposits] (1998).* St. Petersburg, [in Russian].
 12. *Instruktsiia po degazatsii ugolnykh shakht [Coal mine degassing instruction]. Series 05, issue 22. (2012).* Moscow: ZAO Nauchno-tekhnicheskyy tsentr issledovaniia problem promyshlennoi bezopasnosti. [in Russian].
 13. Kozyreva, Ye.N. (2014). Gazovye potentsialy razrabatyvaemykh uchastkov uglemetanovykh mestorozhdenii, osobennosti ikh raspredeleniia i realizatsii [Coal and methane deposits developed sections gas potentials, their distribution and realization features]. *Vestnik Nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugolnoi promyshlennosti – Gerald of Coal Mining Safety Scientific Center*, 1, 109-113 [in Russian].
 14. Kozyreva, Ye.N., Riabtsev, A.A., Granicheva, O.V., Plaksin M.S., Leontieva, Ye.V., & Rodin, R.I. (2016). Metodicheskiye osnovy avtomatizirovannoi otsenki raspredeleniia gazovogo potentsiala vmeshchaiushchego massiva [Methodical bases of the enclosing massif gas potential distribution automated estimation]. *Vestnik Nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugolnoi promyshlennosti – Gerald of Coal Mining Safety Scientific Center*, 3, 20-26 [in Russian].
 15. Polevshchikov, G.Ya., Kozyreva, Ye.N., & Shinkevich, M.V. (2014). Nelineinye iznebebiia metanoobilnosti vysokoproizvoditelnogo vyemochnogo uchastka [Non-linear measurements of methane inflow at a highly productive coal extraction section]. *Bezopasnost truda v promyshlennosti – Industrial Safety*, 6, 50-54 [in Russian].
 16. Polevshchikov, G.Ya., Kozyreva, Ye.N., & Shinkevich, M.V. (2014). Obosnovaniie tekhnologicheskikh reshenii po upravleniiu metanoobilnostiu vyemochnogo uchastka s uchetom geomekhanicheskikh protsessov [Technological solutions justification of the extraction section methane inflow control with consideration of the geomechanical processes]. *Vestnik Nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugolnoi promyshlennosti – Gerald of Coal Mining Safety Scientific Center*, 2, 37-43 [in Russian].
 17. Plaksin, M.S. (2016). Razrabotka i obosnovaniie meropriatii po bezopasnomu provedeniiu podgotovitelnykh vyrabotok na vysokogazonosnykh ugolnykh plastakh [Development and justification of measures for the safe preparatory works heading on high-gas containing coal seams]. *Vestnik Nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugolnoi promyshlennosti – Gerald of Coal Mining Safety Scientific Center*, 4, 17-21 [in Russian].
 18. Kozyreva, Ye.N., Shinkevich, M.V., Leontieva, Ye.V., Bulanchikov, S.P., & Oslapovsky, S.F. (2016). Primenenie parametriceskoi modeli razvitiia ierarkhii geostruktur v massive gornykh porod dlia proektirovaniia parametrov vyemochnykh uchastkov [Application of a geostructure hierarchy development parametric model in the rock massif for the extraction section parameters design]. *Naukoemkie tekhnologii razrabotki i ispolzovaniia mineralnykh resursov - High technology of development and use of mineral resources*, 2, 54-63 [in Russian].



Портал промбезопасности
 группы компаний "ВостЭКО и Горный-ЦОТ"
indsafe.ru

на правах рекламы

II. ПОЖАРНАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ FIRE AND INDUSTRIAL SAFETY

УДК 622.85 : 622.33

ОХРАНА АТМОСФЕРЫ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

PROTECTION OF THE ATMOSPHERE AT THE ENTERPRISES OF COAL INDUSTRY



А.А.Харионовский
svch01@yandex.ru



М.Ю. Данилова
svch01@yandex.ru

А. А. Харионовский – д-р техн. наук, заместитель генерального директора ООО «МНИИЭКО ТЭК», 614007, Россия, г. Пермь, ул. Николая Островского, 60

М. Ю. Данилова – бакалавр, Московский физико-технический институт (МФТИ), 141701, Россия, Долгопрудный, Институтский пер., 9

A. A. Kharyonovskiy - Dr. of Tech. Sci., Deputy General Director of ООО MNIIECO TEK, ul. Nikolay Ostrovsky, 60, ul. Nikolay Ostrovsky, Perm, 614007, Russia

M. Yu. Danilova - bachelor, Moscow Institute of Physics and Technology (MIPT), 9, Institutskiy per., Dolgoprudny, 141701, Russia

В статье рассмотрена угольная промышленность, как один из значимых источников загрязнения атмосферного воздуха в районах размещения предприятий по добыче и обогащению угля. Сокращение выбросов загрязняющих веществ в атмосферу является одной из приоритетных экологических задач в угольной промышленности. В статье представлены сведения об объемах выбросов газообразных и твердых загрязняющих веществ в атмосферу предприятиями угольной промышленности, стационарных источниках выбросов, применяемых способах и технических средствах предупреждения образования и снижения выбросов и их эффективности. Рассмотрены источники выбросов шахтного метана, оксида углерода, оксидов азота и диоксида серы в атмосферу. Указаны причины и способы предотвращения самовозгорания угля в шахтах и разрезах, породных отвалов, как источника выделения газообразных веществ, которые загрязняют атмосферу, распространяясь на значительные расстояния и оказывают негативное воздействие на прилегающие территории и близлежащие населённые пункты. Рассмотрены способы предупреждения и подавления пыли на ОФ и технологических комплексах поверхности шахт и разрезов. В статье приведены новые аппараты и устройства для очистки пылегазовых выбросов. Предложен комплекс мероприятий, направленных на повышение технического уровня охраны атмосферы и сокращение выбросов загрязняющих веществ.

The article presents information on the volumes of gaseous and solid pollutants emissions into the atmosphere by coal industry enterprises. The main volume of gaseous substances is represented by mine methane, the sources of which are mine ventilation. The use of methane, emitted into the atmosphere by the ventilation systems of mines, is a complex and unsolved practical problem. Other stationary sources of gaseous emissions are coal boiler plants, the coal washing plant dryers, aspiration systems and burning rock dumps. Solid particles are released into the atmosphere during coal extraction and washing technological processes. For the industrial emissions purification there is a wide range of methods, apparatus and devices, the use of which allows to significantly reduce the emission of pollutants into the atmosphere. Taking into account the accumulated production experience and the results of scientific research, stationary sources emission cleaning technical means and a set of measures aimed at increasing the technical level of atmosphere protection at coal industry enterprises are proposed.

Ключевые слова: УГОЛЬНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ, АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ, ИСТОЧНИКИ ВЫБРОСОВ, ЗАГРЯЗНЯЮЩИЕ ВЕЩЕСТВА, СПОСОБЫ И СРЕДСТВА ОЧИСТКИ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Key words: COAL, AIR, EMISSION SOURCES, CONTAMINANTS, METHODS AND TOOLS, CLEANING EFFICIENCY

Угольная промышленность вносит значительный вклад в загрязнение атмосферного воздуха в районах размещения предприятий по добыче и обогащению угля. В 2015 г. предприятия отрасли выбросили в атмосферу *1004,5 тыс.т* (*2,69 кг/т* добычи угля) загрязняющих веществ (ЗВ), что составляет *53 %* количества образованных. Основная часть выбросов (*95 %*) представлена газообразными вредными веществами. Доля шахтного метана в общем объеме выбросов ЗВ составила *88 %*, в объеме газообразных ЗВ – *93,4 %*. К другим газообразным ЗВ относятся оксид углерода (*3,7 %*), оксиды азота (*1,5 %*), диоксид серы (*1,0 %*), прочие (*0,4 %*). Действующими на предприятиях техническими средствами очистки выбросов уловлено *47 %* ЗВ, которые практически целиком представлены твердыми веществами. За последние 10 лет (2006-2015 годы) общее количество выбрасываемых в атмосферу ЗВ увеличилось с *908,2* до *1004,5 тыс.т* (на *11 %*). Удельный показатель выбросов в связи с увеличением объемов добычи угля открытым способом снизился с *2,93* до *2,69 кг/т* или на *8,2 %*. Наиболее высокими удельными выбросами ЗВ в атмосферу характеризуется Печорский бассейн (выше в *4,1* раза, чем в среднем по отрасли) и Кузнецкий бассейн (выше в *1,3* раза), что является прямым следствием подземной разработки угольных пластов, отличающихся высокой газообильностью. Сокращение выбросов загрязняющих веществ в атмосферу является одной из приоритетных экологических задач в угольной промышленности.

Источниками выбросов шахтного метана в атмосферу служат дегазационные установки и вентиляционные стволы шахт. Концентрация метана, получаемого при дегазации угольных пластов, составляет от *25 %* до *70 %*. На её долю приходится *15-20 %* общего количества метана, выбрасываемого в атмосферу. Вентиляционные выбросы шахт представляют собой метановоздушную смесь (МВС) с содержанием метана преимущественно от *0,2 %* до *0,7 %*. Количество выбрасываемого метана системами вентиляции шахт составляет соответственно *80-85 %*.

Использование МВС с концентрацией метана свыше *25 %* не представляет технической сложности. В зарубежных странах (Австралия, США, Канада, Китай и др.) утилизируется с получением электрической и тепловой энергии до *50 %* метана, извлекаемого из угольных пластов средствами дегазации. Использование МВС вентиляционных выбросов шахт с концентрацией метана до *1 %* представляет значительную слож-

ность и находится в стадии опытно-промышленных и промышленных испытаний. Один из проектов, реализованный на шахте в Австралии, представляет собой действующую электростанцию мощностью *5 МВт* на МВС вентиляционной струи с содержанием метана *0,9 %* [1].

Производственный опыт использования метана, извлекаемого дегазацией, для получения электрической и тепловой энергии имеется в Печорском и Кузнецком бассейнах. На шахте "Комсомолец" в Кузбассе проведены опытно-промышленные испытания и введена в эксплуатацию контейнерная газопромышленная установка КГУУ-8, работающая на МВС с концентрацией метана менее *3,5 %*. В результате испытаний установлено, что МВС с концентрацией метана менее *3,5 %* может быть использована в двигателях внутреннего сгорания для выработки электрической и тепловой энергии [2]. Построенный в Кузбассе "Завод МДУ" освоил производство нескольких типов модульных газопоршневых электростанций, работающих на МВС. Таким образом, техническая возможность использования МВС имеется.

Экономическая целесообразность и объёмы использования МВС на шахтах отрасли определяются рентабельностью работы газопромышленных установок в условиях конкретных шахт и материальной заинтересованностью во внедрении установок.

Основными источниками выбросов в атмосферу оксида углерода, оксидов азота и диоксида серы являются угольные котельные, сушильные установки ОФ и горячие породные отвалы. Валовые объёмы выбросов этих веществ определяются количеством и физико-химическим составом сжигаемого угля, режимами сжигания, размерами очагов горения породного отвала и интенсивностью горения.

В целом по отрасли фактические выбросы ЗВ находятся в пределах установленных ПДВ и ВСВ. Однако значительная часть предприятий выбрасывает ЗВ с превышением установленных нормативов.

В настоящее время в нашей стране и за рубежом имеется широкий спектр аппаратов и устройств для очистки промышленных выбросов, что позволяет выбрать для конкретных условий предприятий наиболее приемлемые. Основное различие существующего газоочистного оборудования заключается в крупности улавливаемых твёрдых частиц, что определяет оптимальную область их применения и достигаемую эффективность очистки (табл.1).

В зависимости от производительности кот-

Таблица 1. Крупность улавливаемых частиц пыли аппаратами газоочистки [3]

Тип газоочистного оборудования	Диаметр улавливаемых частиц, мкм	Эффективность очистки, %
Циклоны	4,5 – 200	10 – 98
Мокрые пылеуловители	0,5 – 15	55 – 94
Тканевые фильтры	0,1 – 2,5	80 – 99
Электрофильтры	0,1 – 0,5	94 - 99

лов, режима их работы и качества сжигаемого угля для очистки дымовых газов используются единичные циклоны типа ЦН и батарейные циклоны типа БЦ, БЦУ и др. Эффективность очистки от летучей золы с диаметром частиц более 10 мкм циклонов ЦН составляет в среднем 80 %, батарейных циклонов БЦ – 85-90 %, БЦУ-М – 95-99 %.

Сушильные аппараты ОФ, как правило, оборудуются двухступенчатыми и трёхступенчатыми системами очистки. В двухступенчатых системах на первой ступени очистки для улавливания крупнодисперсной пыли устанавливают циклоны типа ЦН или батарейные циклоны ПБЦ и БЦУ-М. На второй ступени для очистки газов от тонкодисперсной пыли применяют мокрые пылеуловители типа ПМ и МПР, тканевые фильтры типа ФРКИ, РФГ, ФВК, ФВС или электрофильтры. Трёхступенчатые схемы очистки применяют преимущественно для очистки дымовых газов, образующихся при сушке мелких угольных концентратов. В трёхступенчатых схемах на первой ступени применяют гравитационные разгрузочные камеры и циклоны ЦН, на второй ступени – батарейные циклоны ПБЦ и БЦУ-М. В качестве аппаратов тонкой очистки на третьей ступени используют мокрые пылеуловители типа ПМ и МПР, эффективность которых достигает 98-99 %. Трёхступенчатые системы очистки предпочтительны, так как обеспечивают наиболее высокую эффективность и достижение нормативов ПДВ.

Специальные технические средства для очистки выбросов котельных и сушильных аппаратов от газообразных ЗВ не применяются. Некоторое снижение их концентрации в дымовых газах происходит попутно с улавливанием твёрдых частиц (летучей золы) при применении мокрых пылеуловителей. При добавлении в воду химических реагентов мокрые пылеуловители способны задерживать до 50 % газообразных ЗВ.

Самовозгорание угля в шахтах и разрезах, породных отвалов рассматривается как аварийная ситуация. Образующиеся при этом газообразные вещества загрязняют атмосферу, распространяются на значительные расстояния и оказывают негативное воздействие на прилегающие территории и близлежащие населён-

ные пункты. Основная причина самовозгорания угля и породной массы заключается в нарушении технологии горных работ и формировании отвалов, несвоевременном и некачественном выполнении профилактических мероприятий по предупреждению самовозгорания. Наиболее эффективным способом предотвращения самовозгорания породных отвалов является применение пожаробезопасных технологий их формирования.

Очистка воздуха систем аспирации производственных зданий ОФ, технологических комплексов поверхности шахт и разрезов при концентрации твёрдых частиц (пыли) до 5 г/м³ производится в одну ступень, при большей концентрации - в 2 ступени. В одноступенчатых схемах преимущественно используются мокрые циклоны СИОТ, ротоклон "Урал", мокрые пылеуловители ПМ-35, КМП, ПВМ, ЦВП, обеспечивающие эффективность 96-99 %. В двухступенчатых схемах в качестве первой ступени очистки используются аппараты сухой очистки: циклоны ЦН, батарейные циклоны БЦ, в качестве второй ступени – мокрые пылеуловители МПР, КМП, ПВМ. Из аппаратов сухой пылеулавливания на второй ступени используются тканевые рукавные фильтры типа ФРКИ, РФГ, ФВК, ФВС. Двухступенчатые схемы характеризуются более высокой эффективностью и надёжностью.

Технологические процессы по добыче угля открытым и подземным способами сопровождаются дроблением угля и горных пород, образованием и выделением в атмосферу угольной и породной пыли. Для снижения пылеобразования горные машины комплектуются заводами-изготовителями системами орошения или пылеулавливания в местах разрушения угля и породы. Кроме того, применяется целый комплекс способов и технических средств, включая предварительное увлажнение угля в массиве, бурение шпуров и скважин с промывкой, гидрозабойку шпуров и скважин, орошение взорванной массы и стенок горных выработок, устройство водяных и туманообразующих завес и др. Значительное количество не уловленной пыли оседает при движении воздуха в подземных горных выработках и не достигает поверхности шахт.

Таблица 2. Способы предупреждения и подавления пыли на ОФ и технологических комплексах поверхности шахт и разрезов

Источник выбросов, технологический процесс	Способ пылеподавления	Эффективность, %
Бурение скважин	Мокрое пылеподавление, сухое пылеулавливание	95-97
Взрывные работы	Гидрозабойка скважин, орошение зоны взрыва, увлажнение массива	пыль 60-90 газы 75-80
Работа экскаваторов, бульдозеров, отвалообразователей	Орошение взорванной массы	80-85
Пункты погрузки, разгрузки, перегрузки угля и породы	Орошение, обработка пеной, укрытие, аспирация с очисткой	75-90
Угольные склады, породные отвалы, поверхность конвейеров, самосвалов, ж/д вагонов	Укрытие, орошение водой, растворами ПАВ, битумной эмульсией, пылесвязывающими составами	85-99
Технологические автодороги	Смыв, механическая уборка пыли, орошение водой, растворами ПАВ, пылесвязывающими составами	85-99

Для снижения пылеобразования при технологических процессах на угольных разрезах, ОФ, технологических комплексах поверхности шахт и разрезов разработан комплекс эффективных способов и технических средств (табл.2).

Их применение с учётом условий конкретного предприятия способно обеспечить достижение нормативов ПДВ.

Научно-технические разработки в сфере охраны атмосферного воздуха в нашей стране и за рубежом ведутся по следующим направлениям:

- применение новых химических веществ и реагентов для предупреждения образования ЗВ и интенсификации процессов их связывания и подавления;

- совершенствование конструкций существующего газоочистного оборудования с целью повышения эффективности их работы;

- создание образцов газоочистного оборудования на основе принципиально новых способов и технологий.

В последние годы отечественными и зарубежными фирмами предложен ряд новых аппаратов и устройств для очистки пылегазовых выбросов [4]:

- электрофильтр с вращающимся осадительным электродом с пористой поверхностью;

- комбинированный фильтр-пылегазоуловитель с циклоном и керамическим фильтрующим элементом;

- вихревой фильтр-пылегазоуловитель с регулируемыми геометрическими параметрами тангенциального завихрителя;

- механический гофрированный фильтр-пылеуловитель со съёмным фильтрующим элементом;

- механический фильтр с объёмным фильтрующим элементом для задержания крупнодис-

персных частиц и складчатым фильтрующим элементом для тонкодисперсных частиц.

Разработанные устройства представляют интерес с точки зрения проведения испытаний, оценки возможности и целесообразности их применения на предприятиях угольной промышленности.

Для повышения технического уровня охраны атмосферного воздуха и улучшения экологической ситуации в районах размещения предприятий угольной промышленности необходимо осуществление следующих мероприятий:

- оснащение источников выбросов ЗВ, не имеющих средств очистки, эффективными пылегазоочистными установками;

- замена пылегазоочистных установок, не обеспечивающих очистку выбросов до установленных нормативов, более эффективными аналогами, переход от одноступенчатой схемы очистки на двух – и трехступенчатую;

- использование при технологических процессах горного производства и обогащения угля существующих эффективных способов и технических средств для предотвращения и снижения пылеобразования и выделения в атмосферу ЗВ;

- применение на действующих и проектируемых породных отвалах пожаробезопасных технологий их формирования;

- мониторинг теплового состояния породных отвалов с целью выявления очагов самовозгорания и принятия оперативных мер по их ликвидации;

- тушение горящих породных отвалов с переформированием конических отвалов в плоские отвалы и последующей рекультивацией;

- производственный контроль технического состояния пылегазоочистных установок и эффективности их работы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чекменев Ю.В., Фурса А.Н., Чекменев А.Ю. Применение шахтного метана.// Уголь. 2016. № 5. С. 78-81.
2. Мазанник Е.В., Содов А.П., Могилева Е.М., Коликов К.С. Утилизация низкоконцентрированных метано-воздушных смесей.// Уголь. 2014. № 9. С. 86-87.
3. Бернер Г.Я. Технология очистки газа за рубежом. – М.: Изд-во "Новости теплоснабжения", 2006.
4. Буренин В.В. Удаление вредных веществ из пылевоздушных выбросов предприятий.// Экология производства. 2014. № 12. С. 56-63. .

REFERENCES

1. Chekmenev, Yu.V., Fursa, A.N., & Chekmenev, A.Yu. (2016) Primemenije shahtnogo metana [Use of coal mine methane]. *Ugol - Coal*, 5, 78-81. [In Russian]
2. Mazanik, E.V., Sodov, A.P., & Mogileva, E.M., Colicov K.S. (2014). Utilizatsia nizkokontsentrirrovannyh metano-vozdushnyh smesej [Recycling concentrations of methane-air mixtures]. *Ugol - Coal*, 9, 86-87. [In Russian]
3. Berner, G.J. (2006). *Tehnologija ochistki gasa za rubejom* [Gas purification technology abroad]. Moscow: Izdatel'stvo "News heat". [In Russian]
4. Burenin, V.V. (2014). Udalenie vrednyh veshestv iz pylevozdushnyh vybrosov predpriyatij [Removing harmful substances from the dusty emissions enterprises]. *Ekologiya proizvodstva - Production ecology*, 12, 56-63. [In Russian]



GaSos

Стационарный газоанализатор контроля параметров атмосферы в зоне отработанного пространства

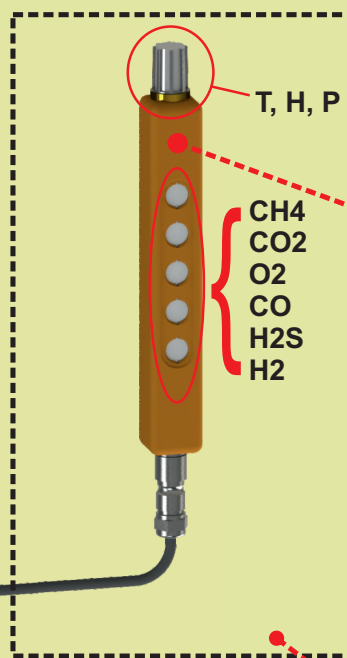
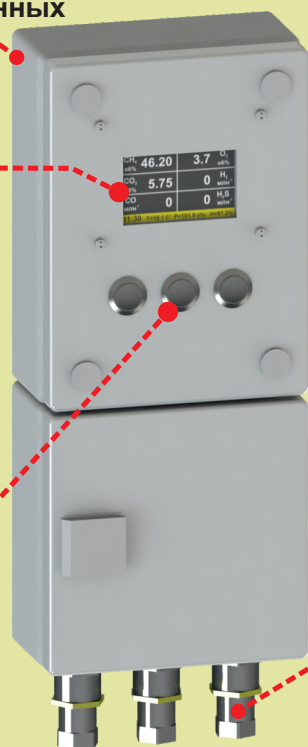
Блок индикации и передачи данных

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

УДК 536.46

ДЕТОНАЦИЯ РЕАКЦИОННОСПОСОБНЫХ ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ КАК ЗАДАЧА ОБ ОЧАГОВОМ ТЕПЛОВОМ ВЗРЫВЕ

DETONATION OF REACTIVE GAS MIXTURES AS PROBLEM OF FOCAL THERMAL EXPLOSION

О. Б. Кудряшова – д-р физ.-мат. наук, доцент, профессор кафедры Бийского технологического института (филиала) ФГБОУ ВО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова», Институт проблем химико-энергетических технологий СО РАН, Россия, 659322, Бийск, ул. Социалистическая, 1

Ю. А. Галенко – д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры Бийского технологического института (филиала) ФГБОУ ВО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова», Россия, 659305, г. Бийск, ул. Трофимова, 27

Е. В. Сыпин – канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры Бийского технологического института (филиала) ФГБОУ ВО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова», Россия, 659305, г. Бийск, ул. Трофимова, 27

С. А. Лисаков – инженер кафедры Бийского технологического института (филиала) ФГБОУ ВО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова», Россия, 659305, г. Бийск, ул. Трофимова, 27

Н. Ю. Тупикина – старший преподаватель кафедры Бийского технологического института (филиала) ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова», Россия, 659305, г. Бийск, ул. Трофимова, 27

O. B. Kudriashova – doctor of phys.-math. sciences, associate professor, chair professor of Biysk Technological Institute of the Polzunov Altai State Technical University, Institute of Chemical Energy Technologies' Problems SB RAS, 1, ul. Sotsialisticheskaya, Biysk, 659322, Russia

Yu. A. Galenko - doctor of phys.-math. sciences, chair professor of Biysk Technological Institute of the Polzunov Altai State Technical University, 27, ul. Trofimova, Biysk, 659305, Russia

Ye. V. Sypin – candidate of technical sciences, associate professor, chair professor of Biysk Technological Institute of the Polzunov Altai State Technical University, 27, ul. Trofimova, Biysk, 659305, Russia

S. A. Lisakov - chair engineer of Biysk Technological Institute of the Polzunov Altai State Technical University, 27, ul. Trofimova, Biysk, 659305, Russia

N. Yu. Tupikina – chair senior lecturer of Biysk Technological Institute of the Polzunov Altai State Technical University, 27, ul. Trofimova, Biysk, 659305, Russia

Для того чтобы возникла детонация рудничного газа, необходимо смешивание исходных компонентов в определенных пропорциях, после чего даже небольшая тепловая неоднородность может вызвать взрыв. Воспламенения газопылевоздушных смесей в атмосфере горных выработок обусловлены протеканием экзотермических реакций окисления метана с кислородом воздуха. Необходимость обеспечения безопасности при работе с взрывчатыми газовыми смесями, такими как метано-воздушные смеси в шахтах, взрывоопасные выбросы газов на производстве, требует развития исследований по очаговому тепловому взрыву. В статье предложена модель очагового теплового взрыва для описания процесса детонации реакционноспособных газовых смесей. С помощью асимптотических методов получено аналитическое решение такой задачи. В результате найдены критические условия, определяющие время действия, размер и мощность источника зажигания. Проведено параметрическое исследование модели. На примере метано-воздушной смеси получены значения времени развития взрыва, времени прогрева и температуры очага к концу времени прогрева в зависимости от мощности источника зажигания

In order to create a detonation of mine gas, it is necessary to mix the original components in certain proportions, after which even a small thermal heterogeneity can cause an explosion. The ignition of gas-dust-air mixtures in the atmosphere of mine workings is due to the occurrence of exothermic reactions of methane oxidation with air oxygen. The need to ensure safety when working with explosive gas mixtures, such as methane-air mixtures in mines, explosive gas outbursts at work, requires the development of studies on focal thermal explosion. A model of a focal thermal explosion is proposed in the article for describing the detonation of reactive gas mixtures. With the help of asymptotic methods, an analytical solution of such a problem is obtained. As a result, critical conditions are found that determine the time of action, size and power of the ignition source. Parametric study of the model is carried out. On the example of the methane-air mixture, the values of the explosion development time, the time of warming up and the temperature of the source by the end of the warm-up time were obtained, depending on the power of the ignition source.



О.Б. Кудряшова
obk@bti.secna.ru



Ю.А. Галенко
gal@bti.secna.ru



Е.В. Сыпин
sev@bti.secna.ru



С.А. Лисаков
foxlsa@mail.ru



Н.Ю. Тупикина
tnu@bti.secna.ru

Ключевые слова: ОЧАГОВЫЙ ТЕПЛОВЫЙ ВЗРЫВ, РЕАКЦИОННОСПОСОБНАЯ ГАЗОВАЯ СМЕСЬ, ДЕТОНАЦИЯ, КРИТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЗАЖИГАНИЯ

Key words: FOCAL THERMAL EXPLOSION, REACTIVE GAS MIXTURE, DETONATION, IGNITION CRITICAL CONDITIONS

Введение
Воспламенения газопылевоздушных смесей в атмосфере горных выработок обусловлены протеканием экзотермических реакций окисления метана и угольной пыли с кислородом воздуха, т.е. процессов горения и детонации, рассматриваемых с позиции теории теплового взрыва и кинетики протекающих реакций. Для того чтобы возникло пламя или детонация рудничного газа, необходимо смешивание исходных компонентов в определенных пропорциях, после чего даже небольшая тепловая неоднородность может вызвать взрыв. В работах [1,2] проведено компьютерное моделирование горения метано-воздушных смесей, моделирования потока оптического излучения очага взрыва топливо-воздушных смесей в угольной шахте. Необходимость обеспечения безопасности при работе с взрывчатыми газовыми смесями, такими, как метано-воздушные смеси в шахтах, взрывоопасные выбросы газов на производстве, требует дальнейшего развития исследований по очаговому тепловому взрыву.

В постановке задачи об очаговом тепловом взрыве используют различные допущения о причине теплового взрыва. Это может быть температурная неоднородность в некоторой области пространства, заполненного взрывчатым газом [3], либо выделение в такой области некоторого количества тепла от источника, притом, что температура во всем пространстве одинакова [4-6]. В первом подходе причины возникновения температурной флуктуации остается за рамками постановки задачи. Во втором подходе они могут быть обозначены явно. Например, в шахте это может быть выделение тепла определенной мощности (горячие детали механизмов и машин, облако разогретой угольной пыли и т.п.). В любом случае решение задачи об очаговом тепловом взрыве позволяет получить критическую энергию/начальную температуру и время инициирования взрыва, что имеет большое значение при проектировании систем безопасности в шахтах и в технологических процессах, при которых могут возникать взрывоопасные газовые выбросы.

При решении задачи об очаговом тепловом взрыве возникают проблемы, связанные с сильной нелинейностью в математических уравнениях, описывающих процессы распро-

странения тепла и химической реакции. Такие проблемы решаются с помощью вычислительной техники, однако, и в этом случае требуют применения специальных численных методов решения. Кроме того, численное решение не позволяет очевидно выявить закономерности процесса так, как это получается при аналитическом решении задачи.

Цель настоящей работы – аналитическое решение задачи об очаговом тепловом взрыве для описания процессов детонации реакционно-способных газовых смесей. В результате такого решения необходимо получить критические условия и время индукции детонации.

1. Постановка задачи о взрыве метано-воздушной смеси

Процесс детонации метано-воздушной смеси в рамках макрокинетического подхода можно рассматривать как задачу об очаговом тепловом взрыве. Пусть источник инициирования представляет собой сферическую тепловую неоднородность радиуса r_0 , имеет мощность Q , действуя в течение времени t_i . Это соответствует ситуации, когда в объеме газовой смеси радиуса r_0 возникает тепловая флуктуация в результате конвективных потоков, радиационного разогрева поглощающих частиц аэрозоля и т.п.

Состояние системы в сферических координатах описывается следующими уравнениями:

$$\begin{cases} \frac{\partial T_1}{\partial t} = \frac{a}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial T_1}{\partial r} \right) + qz\rho \exp\left(-\frac{E}{RT_1}\right) + \frac{Q}{r_0^3}, & 0 < r < r_0 \\ \frac{\partial T_2}{\partial t} = \frac{a}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial T_2}{\partial r} \right) + qz\rho \exp\left(-\frac{E}{RT_2}\right), & r_0 < r < \infty \end{cases} \quad (1)$$

с начальными и граничными условиями:

$$\begin{aligned} t=0, T_1=T_2=T_u; \\ r=0, \partial T_1/\partial r = 0, r \rightarrow \infty; \partial T_2/\partial r = 0, r=r_0, \\ T_1=T_2, \partial T_1/\partial r = \partial T_2/\partial r = 0 \end{aligned}$$

Здесь T_1 – температура внутри неоднородности, T_2 – вне первичного облака, $Q=0$ при $t>t_i$, $a = \lambda/(\rho c)$ – коэффициент температуропроводности среды, λ – коэффициент теплопроводности, ρ – плотность, c – теплоемкость, q – тепловой эффект реакции, z – предэкспонент, E – энергия активации.

Решая систему уравнений (1) необходимо найти минимальную энергию воспламенения и время зажигания. Критерием теплового взрыва будем считать стремление температуры в цен-

тре очага в бесконечность. Это соответствует иницированию детонации реакционной газовой смеси.

2. Асимптотический анализ

2.1 Стадия индукционного разогрева

Первая стадия процесса развития очагового теплового взрыва – это индукционный разогрев смеси. В этот период выделение тепла от химической реакции невелико, меньше или сопоставимо с теплом от внешнего источника. Время индукционного разогрева обозначим как t_0 . Характерные масштабы на этой стадии следующие: для длины – величина тепловой неоднородности r_0 , соответствующий масштаб времени $t_n = r_0^2/a$, масштаб температуры $\Delta T = T^* - T_n$, где T^* – температура в центре неоднородности (в центре координат) в момент окончания данной стадии t_0 . Перейдем в системе уравнений (1) к переменным $x=r/r_0$, $U=(T^*-T)/(T^*-T_n)$, $\tau=t/t_n$.

В безразмерном виде систем уравнений (1) на первой стадии:

$$\begin{cases} \frac{\partial U_1}{\partial \tau} = \frac{Fo}{x^2} \frac{\partial}{\partial x} \left(x^2 \frac{\partial U_1}{\partial x} \right) - w \exp \left(-\theta_0 \frac{U_1}{1-\beta \theta_0 U_1} \right) - \bar{Q}, & 0 < x < 1 \\ \frac{\partial U_2}{\partial \tau} = \frac{Fo}{x^2} \frac{\partial}{\partial x} \left(x^2 \frac{\partial U_2}{\partial x} \right) - w \exp \left(-\theta_0 \frac{U_1}{1-\beta \theta_0 U_1} \right), & 1 < x < \infty \end{cases} \quad (2)$$

с начальными и граничными условиями:

$$\begin{aligned} \tau=0, U_1=U_2=1; \\ x=0, \partial U_1/\partial x=0, x \rightarrow \infty; \partial U_2/\partial x=0 \\ x=1, U_1=U_2, \partial U_1/\partial x = \partial U_2/\partial x \end{aligned}$$

Здесь:

$$w = \frac{qzcr_0^2}{\lambda(T_n - T_n)} \exp(-E/RT_n), \beta = -RT_n/E, \theta_0 = \frac{E}{RT_n^2} (T_n - T_n)$$

$$\bar{Q} = \frac{Q}{\lambda(T_n - T_n)r_0}, Fo = \frac{t_0 a}{r_0^2}$$

На стадии прогрева можно пренебречь тепловыделением от химической реакции, и с точностью до $O(\exp(-\theta_0))$ можно записать:

$$\begin{cases} \frac{\partial U_1}{\partial \tau} = \frac{Fo}{x^2} \frac{\partial}{\partial x} \left(x^2 \frac{\partial U_1}{\partial x} \right) - \bar{Q}, & 0 < x < 1 \\ \frac{\partial U_2}{\partial \tau} = \frac{Fo}{x^2} \frac{\partial}{\partial x} \left(x^2 \frac{\partial U_2}{\partial x} \right), & 1 < x < \infty \end{cases} \quad (3)$$

Аналитическое решение для области тепловой неоднородности, полученное операционным методом, имеет вид:

$$\begin{aligned} U_1 = 1 - \bar{Q}\tau - \frac{\bar{Q}}{2x_0} \int_0^{\tau-t} \frac{1}{\sqrt{\pi t}} \left(\exp\left(-\frac{(1+x)^2}{4t}\right) - \exp\left(-\frac{(1-x)^2}{4t}\right) + \right. \\ \left. + \frac{1+x}{2t} \exp\left(-\frac{(1+x)^2}{4t}\right) - \frac{1-x}{2t} \exp\left(-\frac{(1-x)^2}{4t}\right) \right) dt \quad (4) \end{aligned}$$

Окончание периода прогрева определится из условия равенства тепловыделения от химической реакции теплу от внешнего источника:

$$\bar{Q} = w. \quad (5)$$

T^* – температура в центре в центре координат в момент окончания стадии прогрева, то есть:

$$U_1(0, \tau_0) = 0 \quad (6)$$

Критическую величину энергии источника Q^* определим, положив время индукционного прогрева равным времени действия источника: $t_0 = \tau_0$, или

$$\tau_0 = \tau_i = Fo \quad (7)$$

Выражения (5) и (6) позволят установить критическую величину подводимой энергии Q и температуру прогрева на пределе детонации T^* .

Рассмотрим решение (4) в точке $x=0$ (начало координат):

$$U_1 = 1 - \bar{Q}Fo - \bar{Q} \left[\operatorname{erfc} \frac{1}{2\sqrt{Fo}} \left(\frac{1}{2} - Fo \right) - \sqrt{\frac{Fo}{\pi}} \exp\left(-\frac{1}{4Fo}\right) \right] \quad (8)$$

Условия (5) и (6) преобразуются к виду:

$$\begin{cases} \bar{Q} = 1 / \left[Fo + \operatorname{erfc} \frac{1}{2\sqrt{Fo}} \left(\frac{1}{2} - Fo \right) - \sqrt{\frac{Fo}{\pi}} \exp\left(-\frac{1}{4Fo}\right) \right] \\ \bar{Q} = w \end{cases} \quad (9)$$

В предельных случаях из (9) получим:

$$\text{при } Fo \ll 1 \quad \bar{Q} = 1/Fo, \quad (10)$$

$$\text{при } Fo \gg 1 \quad \bar{Q} = \frac{1}{1 - 1/\sqrt{Fo} + O(1/Fo)} \quad (11)$$

Из (11) следует, что при $Fo \rightarrow \infty$, $\bar{Q} \rightarrow 1$. В области значений $Fo \sim O(1)$ \bar{Q} также имеет порядок 1, как следует из (11) и (10). Таким образом, нетрудно убедиться, что на пределе взрыва для любого Fo выполняется условие:

$$t_n/t_{ad} = \theta_0 \bar{Q} = \theta_0 w \gg 1, \quad (12)$$

где $t_{ad} = \frac{\rho RT_n^2}{qzE} \exp(E/RT_n)$ – характерное время химической реакции.

Это означает, что задача имеет пограничный характер по времени: характерное время прогрева много больше времени развития химической реакции.

2. Стадия развития взрыва

С момента времени $\tau = Fo$ перейдем к новым переменным: $\tau_a = t/t_{ad} = \theta w$, $W = \theta_0 U$.

Выражение (12) позволяет отбросить члены исходной системы уравнений (2), отвечающие за теплоотвод, а также за внешний источник тепла, так как они малы по сравнению с энергосыделением от химической реакции. Тогда уравнение теплопроводности с точностью до $O(w^{-1}, \theta_0^{-1})$ примет вид:

$$\frac{\partial W}{\partial \tau_a} = -\exp\left(-\frac{W}{1-\beta W}\right), \quad (13)$$

или

$$\int \exp\left(-\frac{W}{1-\beta W}\right) dW = \tau_a + C, \quad (14)$$

Интегрируя (14), получим:

$$e^W(1 + (W^2 - 2W + 2)\beta) + O(e^{\beta^2}) = \tau_a + C. \quad (15)$$

Постоянную интегрирования C в выражении (15) получим из сращения инертного и адиабатического решений:

$$W(\tau_a \rightarrow \theta_0 F_0 W) = U_1(\tau \rightarrow F_0) = 0 \quad (16)$$

откуда $C = 1 + 2\beta + \theta_0 W F_0$.

В качестве критерия теплового взрыва мы приняли неограниченный рост температуры в центре очага: $W(0, \tau_a) \rightarrow \infty$. Отсюда получим выражение для времени развития взрыва:

$$\tau_{a*} = \theta_0 F_0 W + 1 + 2\beta. \quad (16)$$

Таким образом, условия (9) и (16) определяют критическую энергию внешнего воздействия и время развития взрыва, соответственно, в зависимости от теплофизических и химико-кинетических характеристик среды.

3. Учет выгорания

Выражение (16) можно уточнить, учитывая выгорание реагента за время развития взрыва. Для этого вместо уравнения (13) решим следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} \frac{\partial W}{\partial \tau_a} = -(1 - \eta) \exp\left(-\frac{W}{1 - \beta W}\right) \\ \frac{d\eta}{d\tau_a} = \gamma(1 - \eta) \exp\left(-\frac{W}{1 - \beta W}\right) \end{cases}, \quad (17)$$

где $\gamma = \left(\frac{qE}{RT_c^2}\right)^{-1}$, η – глубина превращения вещества (в предположении первого порядка реакции).

С учетом начального условия $\tau_a \rightarrow \theta_0 W F_0$, $\eta = 0$ имеем: $W = \eta/\gamma$. Интегрируя уравнения (17) аналогично тому, как это было сделано для уравнения (13), получим:

$$\frac{\exp(W(1 - \gamma))}{1 - \gamma} \left[1 + \beta W^2 + \frac{2\beta(1 - W)}{1 - \gamma} \right] + O(e^{\beta^2} e^\gamma) = C - \tau_a. \quad (18)$$

Постоянную C находим сращиванием с инертным решением:

$$C = F_0 W \theta_0 + \frac{1}{1 - \gamma} \left(1 + \frac{2\beta}{1 - \gamma} \right). \quad (19)$$

Из условия $W(0, \tau_a) \rightarrow \infty$ находим уточненное выражение для времени развития взрыва:

$$\tau_{a*} = \theta_0 F_0 W + \frac{1}{1 - \gamma} \left(1 + \frac{2\beta}{1 - \gamma} \right). \quad (20)$$

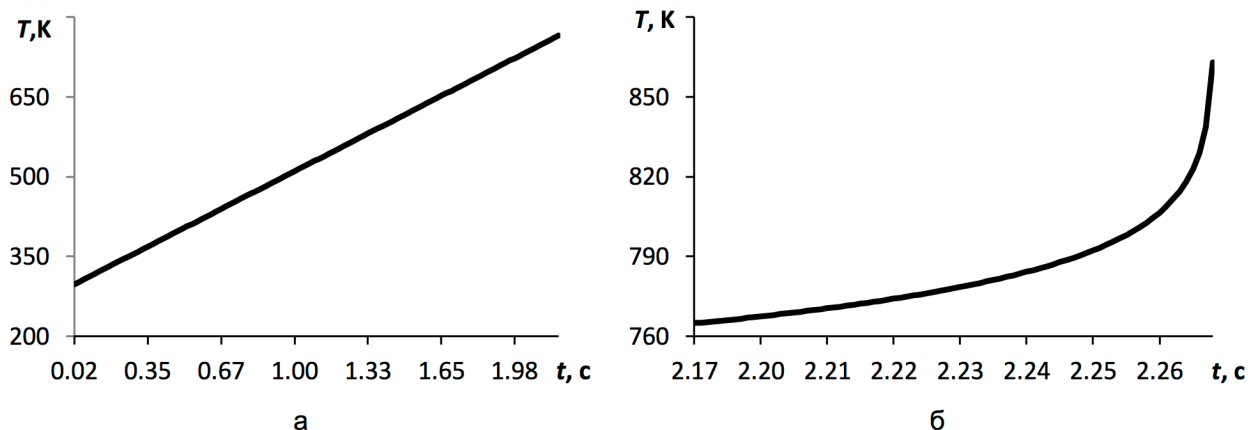


Рисунок 1 – Развитие теплового взрыва в центре очага: а – стадия разогрева, б – стадия развития взрыва
Figure 1 - Development of a thermal explosion in the center of the source: a - warm-up stage, б - stage of explosion development

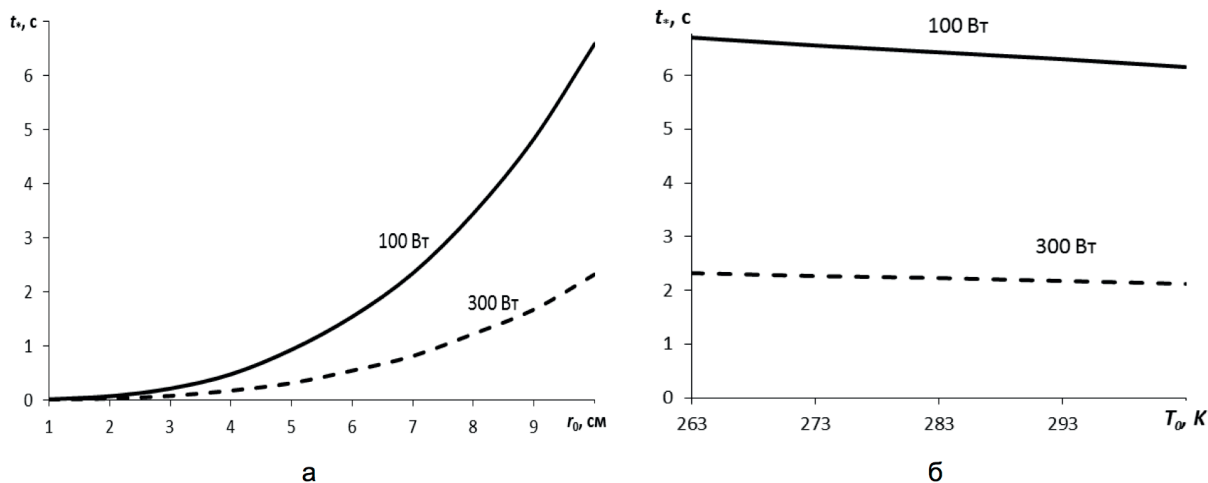


Рисунок 2 – Зависимость времени развития взрыва: а – от радиуса очага ($T_0 = 293$ K), б – начальной температуры ($r_0 = 0,1$ м)
Figure 2 - Dependence of the explosion development time: a - on the radius of the source ($T_0 = 293$ K), б - the initial temperature ($r_0 = 0.1$ m)

Таблица 1. Расчетные значения времени инертного прогрева, времени развития взрыва и температуры в центре очага.

Q	t_0	t^*	$T^*(t_0)$
50	12,08	12,87	730
100	6,22	6,29	743
300	2,17	2,18	765

Сравнивая выражения (16) и (20) можно обнаружить, что при учете выгорания время задержки взрыва несколько больше, что объясняется выгоранием реагента за время разогрева.

3. Анализ результатов

Для реакции метана с воздухом были выбраны параметры, соответствующие [7]: $q=50,125$ МДж/кг, $E=0,238$ МДж/моль, $z=9,66 \cdot 10^{10}$ с⁻¹. Теплофизические параметры смеси рассчитывались по стехиометрическому соотношению и равнялись: $c=1133$ Дж/(кг·К), $\lambda=0,026$ Дж/(м·К·с), $\rho=1,22$ кг/м³.

На рисунке 1 приведено решение для изменения температуры в центре очага (расчет для мощности источника $Q=300$ Вт, радиуса очага $r_0=0,1$ м, начальной температуры $T_0=293$ К).

Получим зависимость времени развития теплового взрыва от радиуса очага и от начальной температуры. В размерных переменных такая зависимость отображена на рисунке 2. Расчет сделан для мощности источника $Q=100$ Вт и $Q=300$ Вт. Это соответствует ситуации, когда в сферическом объеме радиуса r_0 выделяется мощность Q в течение времени, не меньше, чем t_0 .

С ростом радиуса очага время индукции взрыва возрастает, так как мощность источника распределяется в большем объеме. Тем не менее, даже для источника небольшой мощности (100 Вт) в метановоздушной смеси в течение нескольких секунд разовьется тепловой взрыв.

В таблице 1 приведены расчетные значения времени разогрева, развития взрыва и температуры в очаге в конце периода инертного прогрева для разных значений мощности источника. Расчет сделан для очага радиуса 10 см.

Температура к моменту начала развития взрыва зависит от мощности источника незначи-

тельно, но влияние радиуса очага существенно: чем больше объем, в котором выделится некоторая мощность, тем меньше температура, достигаемая к концу периода прогрева.

Расчеты показывают, что влиянием выгорания можно пренебречь: поправка в расчет безразмерного времени развития взрыва не превысит сотых долей процента. Это верно, по крайней мере, для рассматриваемых уровней мощности источника и размеров очага.

Выводы

Таким образом, получено аналитическое решение задачи об очаговом тепловом взрыве для описания зажигания реакционноспособных газовых смесей. Рассчитаны критические величины энергии зажигания и соответствующие им временные и температурные характеристики очага для метано-воздушной смеси. Установлено, что скорость развития взрыва в большой степени зависит от размера очага и мощности источника зажигания, в меньшей степени – от начальной температуры. При описании процесса зажигания смеси с большой точностью можно пренебречь выгоранием, по крайней мере, в рассмотренных в статье диапазонах величин определяющих процесс параметров. Полученные результаты могут быть использованы для проектирования систем мониторинга безопасности угольных шахт.

Работа поддержана Российским Фондом фундаментальных исследований (грант а 17-08-00844).

The work is supported by the Russian Foundation for Basic Research (grant а 17-08-00844).


БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сидоренко А.И., Лисаков С.А., Павлов А.Н., Сыпин Е.В., Леонов Г.В. Прикладное моделирование развития горения углеводородных смесей // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2016. №1. С.93-99.
2. Лисаков С.А., Сидоренко А.И., Павлов А.Н., Сыпин Е.В., Леонов Г.В. Компьютерное моделирование горения метано-воздушных смесей на начальной стадии развития // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2016. № 3. С.37-46.
3. Burkina, R. S., & Knyazeva, A. G. Zone thermal ignition and the conditions for its degeneration // Combustion, Explosion, and Shock Waves. 1992. V. 28, # 3. P. 209-214.

4. Буркина Р.С., Виллюнов В.Н. О возбуждении химической реакции в «горячей точке» // ФГВ. 1980. Т. 16, № 4. С. 75-78.
5. Ворожцова О.Б. Очаговый тепловой взрыв при воздействии импульсного излучения // Химическая физика. 1990. Т. 9. № 12. С. 1639-1643.
6. Зельдович Я.Б., Баренблатт Г.И., Либрович В.Б., Махвиладзе Г.М. Математическая теория горения и взрыва. М.: Наука, 1980. 478 с.
7. Merzhanov A.G. (1966). On critical conditions for thermal explosion of a hot spot // Combustion and Flame. 1966. V. 10, #4. P. 341-348.

REFERENCES

1. Sidorenko, A.I., Lisakov, S.A., Pavlov, A.N., Sypin, E.V., & Leonov, G.V. (2016). Prikladnoe modelirovanie razvitiya gorenija uglevodorodnykh smesei [Applied modeling of hydrocarbon mixtures combustion development]. *Vestnik Nauchnogo centra po bezopasnosti rabot v ugol'noj promyshlennosti – Gerald of Safety in Mining Industry Scientific Center*, 1, 93-99 [in Russian].
2. Lisakov, S.A., Sidorenko, A.I., Pavlov, A.N., Sypin, E.V., & Leonov, G.V. (2016). Kompiuternoe modelirovanie gorenija metano-vozdushnykh smesej na nachalnoj stadii razvitiia [Computer simulation of methane-air mixtures combustion at the initial stage of development]. *Vestnik Nauchnogo centra po bezopasnosti rabot v ugol'noj promyshlennosti - Gerald of Safety in Mining Industry Scientific Center*, 3, 37-46 [in Russian].
3. Burkina, R. S., & Kniazeva, A. G. (1992). Zone thermal ignition and the conditions for its degeneration. *Combustion, Explosion, and Shock Waves*. V. 28, 3, 209-214 [in English].
4. Burkina, R.S., & Viliunov, V.N. (1980) O возбужdenii khimicheskoi reaktсии v «goryachej toчке» [On the chemical reaction initiation at the "hot spot"]. *FGV - Combustion, Explosion, and Shock Waves*, V. 16, 4, 75-78 [in Russian].
5. Vorozhcova, O.B.(1990). Ochagovyy teplovoj vzryv pri vozdeystvii impulsnogo izlucheniia [Focal heat explosion under the action of pulsed radiation]. *Khimicheskaja fizika – Chemical physics*, V. 9, 12, 1639-1643 [in Russian].
6. Zeldovich, Ya.B., Barenblatt, G.I., Librovich, V.B., & Mahviladze, G.M. (1980) *Matematicheskaya teoriia gorenii i vzryva*. [Mathematical theory of combustion and explosion]. Moscow: Nauka [in Russian].
7. Merzhanov, A.G. (1966). On critical conditions for thermal explosion of a hot spot. *Combustion and Flame*, V. 10, 4, 341-348 [in English].



GaSos

Worked out area atmosphere parameters control stationary analyzer

Unit GaSos.M1-DD

Display and transmission of the measured data

Indication

Displaying data online for all measured parameters simultaneously. Possible withdrawal of any statistics in the form of graphs or diagrams

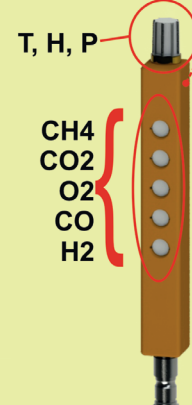
Световая и звуковая сигнализация

Control

Antivandal buttons

Worked out area

T, H, P



CH4
CO2
O2
CO
H2

Unit GaSos.M2-EU

Measurement of up to 5 gases simultaneously, as well as temperature, relative humidity and absolute pressure by one unit with a diffusion method without sample pump. This measurement technique can reduce power consumption and improve the gas analyzer reliability

Data transmission

Display and transmission of the measured data



на правах рекламы

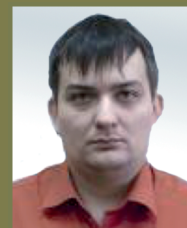
УДК 614.8:331.458

ЧИСЛЕННАЯ ОЦЕНКА РИСКА ТРАВМАТИЗМА ПО СМЕРТЕЛЬНЫМ НЕСЧАСТНЫМ СЛУЧАЯМ И ПО ЧИСЛУ НЕСЧАСТНЫХ СЛУЧАЕВ С УЧЕТОМ ДНЕЙ НЕТРУДОСПОСОБНОСТИ РАБОТНИКОВ

NUMERICAL EVALUATION OF THE RISK OF INJURY FOR FATAL ACCIDENTS AND THE NUMBER OF ACCIDENTS TAKING INTO ACCOUNT THE WORKERS DISABILITY DAYS

А. С. Ворошилов - к.т.н, заместитель директора ООО «Кузбасс-ЦОТ», Россия, 650002, г. Кемерово, ул. Институтская, 3, 312

A. S. Voroshilov - candidate of technical sciences, deputy director of LLC "Kuzbass-COT", 312, 3, ul. Institutskaya, Kemerovo, 650002, Russia



А.С. Ворошилов
besimply@yandex.ru

В настоящее время существует проблема численной оценки рисков травматизма для предприятий с малой статистикой травматизма. Приведены несколько самых популярных в данный момент времени способов оценки рисков и их методы (галстук-бабочка, анализ дерева отказов, метод Дельфи). Для решения проблемы отсутствия количественных (а не качественных, как в большинстве известных методов оценки рисков) значений оценки рисков мы разрабатываем методику численной оценки рисков травматизма. Проведен анализ метода оценка рисков травматизма, при котором риск определяется как произведение вероятности события на его последствия, а, вероятность события и последствия описываются разными функциями, в то время как в нашем подходе нам удалось в одной функции связать вместе вероятность вреда здоровью и его тяжесть. Анализ показал, что оценка рисков травматизма предлагаемым методом возможна не только для крупных предприятий с обширной статистикой травматизма, но и для компаний, у которых зарегистрированный травматизм очень мал или вообще отсутствует смертельный травматизм. В данной статье представлены примеры расчета рисков травматизма для предприятий с малой статистикой травматизма двумя различными методами: по смертельному травматизму и количеству травматизма с учетом дней нетрудоспособности работников. С помощью критерия Пирсона показано, что оба метода численной оценки рисков травматизма не зависят друг от друга и что в свою очередь расширяет область возможного применения предлагаемой методики.

At present, there is a problem of numerical assessment of injury risks for enterprises with small statistics of injuries. Some of the most popular methods of risk assessment and their methods (butterfly tie, failure tree analysis, Delphi method) are given here. To solve the problem of the lack of quantitative (and not qualitative, as in most known methods of risk assessment) values of risk assessment, we are developing a methodology for the numerical assessment of injury risks. The analysis of the method for assessing the risks of injury, in which the risk is defined as the product of the probability of the event to its consequences, and, the probability of the event and the consequences are described by different functions, while in our approach we managed to associate together the probability of harm to health and its severity. The analysis showed that the assessment of the risks of injury by the proposed method is possible not only for large enterprises with extensive statistics of injuries, but also for companies in which the registered traumatism is very small or there is no fatal injury at all. This article presents examples of the calculation of injury risks for enterprises with small injury statistics by two different methods: for fatal injuries and the number of injuries, taking into account the days of incapacity for work. With the help of Pearson's criterion, it is shown that both methods of numerical evaluation of injury risks do not depend on each other and that in turn widens the scope of possible application of the proposed technique.

Ключевые слова: РИСК, КОЭФФИЦИЕНТ ТРАВМАТИЗМА, СТЕПЕНЬ РИСКА ТРАВМАТИЗМА, КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА, ТРАВМАТИЗМ

Key words: RISK, INJURY RATE, RISK OF INJURY, QUANTIFICATION, INJURY

В настоящее время оценка рисков травматизма является одной из важных задач в сфере безопасности и охраны труда. Работы в этой области ведутся по всему миру. Как показано в [1] одними из самых популярных в данный момент способами оценки рисков являются методы:

1. Галстук-бабочка (простой схематический способ описания и анализа путей реализации риска (от опасности до последствий и результатов), а также анализа методов управления. В данном методе объединены логика дерева неисправностей, с помощью которого проводят анализ причин события, и дерева событий, с помощью которого проводят анализ последствий).

2. Анализ дерева отказов (метод, в соответствии с которым идентифицируют отказ системы (главное событие) и затем определяют пути его возникновения. Эти пути изображают графически в виде логической древовидной диаграммы. С помощью дерева неисправностей исследуют способы снижения или устранения потенциальных причин/источников неисправности).

3. Метод Дельфи (метод получения экспертных оценок, которые могут помочь при идентификации источников и воздействии опасности, количественной оценке вероятности и последствий и общей оценке риска. Это метод обобщения мнений экспертов).

Следует отметить, что большинство известных методов оценки рисков фактически являются качественными и не дают конкретных численных значений. Для решения этой проблемы мы разрабатываем методику численной оценки рисков травматизма [2,3,4]. Обычно риск определяется как произведение вероятности события на его последствия, при этом, как правило, вероятность события и последствия описывают разными функциями, в то время как в нашем подходе нам удалось в одной функции связать вместе вероятность вреда здоровью и его тяжесть. Такой подход позволяет на основе общепринятых данных (несчастные случаи с учетом дней нетрудоспособности и количество смертельного травматизма) дать численную оценку рисков травматизма и оценить количество людей, получивших конкретный вред здоровью (легкий, средний, тяжкий, смертельный):

$$N = N_0 * e^{-\frac{V_z}{R}}, \quad (1)$$

где: R – средняя степень риска травматизма; N_0 – общее число работников; V_z – степень тяжести вреда здоровью; N – количество работников, получивших вред здоровью степени тяжести V_z и

выше.

В работах [2,3,4] было показано, что оценка рисков травматизма предлагаемым методом возможна не только для крупных предприятий с обширной статистикой травматизма, но и для компаний, у которых зарегистрированный травматизм очень мал или вообще отсутствует смертельный травматизм; для подтверждения этого был проведен дополнительный анализ, представленный ниже.

Чтобы оценить риск травматизма на предприятиях с малой статистикой травматизма, были проведены расчеты, представленные в таблице 1. В ней демонстрируется расчет степени риска травматизма двумя различными способами: по числу смертельных несчастных случаев и по числу несчастных случаев с учетом дней нетрудоспособности работников. Как видно из таблицы, расчетные значения достаточно близки к друг другу и соответственно дают схожие оценки риска травматизма.

Преобразуя формулу (1), мы получаем возможность рассчитать степень риска по количеству случаев смертельного травматизма (таблица 1, столбец 5), где $V_z = 5$, что соответствует смертельному уровню травматизма [4]:

$$R_{см} = -\frac{V_z}{\ln\left(\frac{N}{N_0}\right)}. \quad (2)$$

Для расчета степени риска травматизма ($R_{боль}$) по числу несчастных случаев с учетом дней нетрудоспособности работников сначала получим степень тяжести вреда здоровью:

$$V_z = \frac{\ln(D_n - \ln(k_1))}{k_2}, \quad (3)$$

где D_n – дни потери трудоспособности (таблица 1, столбец 8);

$k_1 = 0.0022$ – поправочный коэффициент;

$k_2 = 3.04$ – поправочный коэффициент.

После чего рассчитываем степень риска травматизма по числу несчастных случаев с учетом дней нетрудоспособности работников:

$$R_{боль} = -\frac{V_z}{\ln\left(\frac{N}{N_0}\right)}. \quad (4)$$

Для подтверждения того, что можно оценивать риск травматизма любым из двух способов, был проведен анализ отношения $R_{см}/R_{боль}$ на нормальность распределения с помощью критерия Пирсона. В таблице 1 приведены значения этого отношения.

Критерий согласия Пирсона записывается:

$$\chi^2 = N \sum \frac{(p_i^{theor} - p_i^{emp})^2}{p_i^{theor}}, \quad (5)$$

где:

$p_i^{theor} = \int_{x_{i-1}}^{x_i} f(x)dx$. – предполагаемая вероят-

Таблица 1. Расчет степени риска травматизма ($R_{см}$ и $R_{боль}$) по различным данным. Данные РосСтата за 2013 год

Виды экономической деятельности	Средняя численность работников, человек	Численность пострадавших с утратой трудоспособности на 1 рабочий день и более и со смертельным исходом, человек	Число человеко-дней нетрудоспособности у пострадавших с утратой трудоспособности на 1 рабочий день и более и со смертельным исходом	Смертельные исходы	Степень риска смертельно-го травматизма $R_{см}$	Степень риска по средней продолжительности больничного листа $R_{боль}$	Отношение $R_{см}/R_{боль}$
Столбец 1	Столбец 2	Столбец 3	Столбец 4	Столбец 5	Столбец 6	Столбец 7	Столбец 8
Здравоохранение и предоставление социальных услуг	3472965	3814	149642	46	0,4452	0,4726	0,9420
Операции с недвижимым имуществом, аренда и предоставление услуг	1219144	1097	52865	52	0,4969	0,4688	1,0600
Оптовая и розничная торговля; ремонт автотранспортных средств, мотоциклов, бытовых изделий и предметов личного пользования	879345	658	28426	56	0,5175	0,4518	1,1455
Производство и распределение электроэнергии, газа и воды	1748188	1612	634413	127	0,5247	0,4711	1,1136
Транспорт и связь	3118653	4492	206370	209	0,5203	0,5001	1,0404
Предоставление прочих коммунальных, социальных и персональных услуг	419638	623	78886	35	0,5324	0,4997	1,0653
Всего по РФ	21291790	35587	1686617	1699	0,5299	0,5133	1,0323
Обрабатывающие производства	6225730	13662	27144	408	0,5191	0,5350	0,9701
Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство	1416600	3644	167154	223	0,5710	0,5486	1,0408
Добыча полезных ископаемых	982974	2067	138645	179	0,5807	0,5510	1,0539
Строительство	1488720	3310	184217	320	0,5921	0,5459	1,0845
Рыболовство, рыбоводство	51910	156	7591	26	0,6580	0,5667	1,1611

ность попадания в i -й интервал;

$p_i^{emp} = \frac{n_i}{N}$ соответствующее эмпирическое значение;

n_i - число элементов выборки из i -го интервала.

Проведенный анализ показывает, что это отношение можно принять как нормальное распределение, что говорит нам о случайном распределении этих величин, в следствие чего возможно использование как данных о смертельном травматизме, так и продолжительности больничных листов.

Среднее отклонение отношения $R_{см}/R_{боль}$

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Менеджмент риска, методы оценки риска // ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010 — 2011
2. Ворошилов С. П., Ворошилов А. С. Травматизм. Функция распределения степени тяжести вреда здоровью среди работников // БИОТА+. — 2014. — № 3. — С. 31–34
3. Ворошилов А. С., Хи Ун Ли, Фомин А.И. Оценка рисков производственного травматизма // Безопасность труда в промышленности. — 2016. — № 6. — С. 74–76
4. Ворошилов А. С., Новиков Н. Н. Константа травматизма // Безопасность и охрана труда. — 2016. — № 1. — С. 32–36

REFERENCES

1. GOST R ISO / IEC 31010. Menedzhment riska, metody otsenki riska [Risk management, risk assessment methods]. (2011). [In Russian]
2. Voroshilov, S. P., & Voroshilov, A. S. (2014). Travmatizm. Funktsiya raspredeleniya stepeni tyazhesti vreda zdorov'yu sredi rabotnikov [Traumatism. The function of the distribution of the degree of severity of harm to health among workers]. *БИОТА*, 3, 31-34. [In Russian]
3. Voroshilov, A. S., Li, H. U., & Fomin, A. I. (2016). Otsenka riskov proizvodstvennogo travmatizma [Assessment of occupational accidents]. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti - Labor Safety in Industry*, 6, 74-76. [In Russian]
4. Voroshilov, A. S., & Novikov, N. N. (2016). Konstanta travmatizma [Constant of injury]. *Bezopasnost' i okhrana truda - Safety and labor protection*, 1, 32-36. [In Russian].

будет $0,057$ и, как известно, в два средних отклонения попадают $\sim 96\%$ данных; значит в интервал $1 \pm 0,12$ будет попадать подавляющее большинство данных по степени риска травматизма.

Таким образом для оценки рисков травматизма можно использовать как данные по смертельному травматизму, так и по числу несчастных случаев с учетом дней нетрудоспособности работников. Такой подход позволяет значительно расширить область применения методики численной оценки рисков травматизма.

Горный-
ЦОТ

Более 10 лет мы разрабатываем
и производим приборы контроля
параметров безопасности

indsafe.ru

на правах рекламы

УДК 622;613.62

ОБЗОР СОСТОЯНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ РАБОТНИКОВ УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ И КОНЦЕПЦИЯ МИРОВОЙ ЗАКОНОТВОРЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПО ВЫЯВЛЕНИЮ И УЧЕТУ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

OVERVIEW OF KEMEROVO REGION COAL INDUSTRY WORKERS OCCUPATIONAL MORBIDITY STATE AND THE WORLD LAWMAKING ACTIVITY CONCEPT TO IDENTIFY AND RECORD OCCUPATIONAL DISEASES

А. И. Фомин – д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник АО «НЦ ВостНИИ» Россия, 650002, г. Кемерово, ул. Институтская, д. 3.

М. Н. Малышева – ведущий специалист-эксперт Государственной инспекции труда в Кемеровской области, аспирант ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева», 650992, г. Кемерово, ул. Карболитовская, д. 19

И. М. Анисимов – аспирант ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева», 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

В. В. Соболев – д-р техн. наук, заместитель генерального директора АО «НЦ ВостНИИ», Россия, 650002 г. Кемерово, ул. Институтская, д. 3

М. С. Сазонов – канд. техн. наук, старший научный сотрудник АО «НЦ ВостНИИ», 650002, г. Кемерово, ул. Институтская, д. 3

A. A. Fomin – doctor of technical sciences, department leading researcher of JSC “SC VostNII”, 3, ul. Institutskaja, Kemerovo 650002, Russia

M. N. Malysheva - leading specialist-expert of the State Labor Inspectorate in the Kemerovo region, 650992, Kemerovo, Karbolitovskaia St., 19, postgraduate of Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev (KuzGTU), 28, ul. Vesennyyaya, Kemerovo 650000, Russia

I. M. Anisimov - postgraduate of Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev (KuzGTU), 28, ul. Vesennyyaya, Kemerovo 650000, Russia

V. V. Sobolev – doctor of technical sciences, deputy director of JSC “ScC VostNII”, 3, ul. Institutskaja, Kemerovo 650002, Russia

M. S. Sazonov – candidate of technical sciences, senior researcher of JSC “ScC VostNII”, 3, ul. Institutskaja, Kemerovo 650002, Russia

В настоящее время существует проблема численной оценки рисков травм в статье рассмотрены особенности профессиональных рисков в угольной отрасли Кемеровской области, приведены основные вредные и опасные производственные факторы, оказывающие влияние на жизнь и здоровье работников ведущей отрасли региона. Проанализированы условия труда работников ведущих профессий предприятий по добыче и переработке угля, выявлены причинно-следственные связи условий труда и трудового процесса на формирование общих производственно-обусловленных и профессиональных заболеваний, приводящих к тяжелым патологическим изменениям в организме работников, включая смертельный исход. Приведена статистика травматизма, профессиональных заболеваний и неучтенных несчастных случаев со смертельным исходом по причине естественной смерти на производстве в угольной отрасли Кузбасса.

Проведенные исследования показали отсутствие эффективного правового и экономического механизмов, позволяющих в полной мере выполнять требования по безопасности и гигиене, своевременно выявлять причины заболеваний, вызванных производственными факторами, прогнозировать их, осуществлять профилактические мероприятия и обеспечивать здоровые и безопасные условия труда на рабочих местах работников предприятий угольной отрасли. Кроме создания рабочих мест, соответствующих требованиям безопасности и гигиене остаются серьезными проблемами диагностика и профилактика профессиональных заболеваний.

В статье представлено законодательство Российской Федерации по вопросу установления зависимости диагностируемых заболеваний у работников с их профессиональной деятельностью. Так же, обозначены ключевые особенности нормативно правовых актов стран Европейского Союза и стран членов МОТ в вопросе установления профессиональных заболеваний.



А. И. Фомин
nevostnii@yandex.ru



М. Н. Малышева
marishka09142919@mail.ru



И. М. Анисимов



В. В. Соболев
sobolev567@gmail.com



М. С. Сазонов

The article considers the features of occupational risks in coal industry of Kemerovo region, shows the main harmful and dangerous industrial factors that affect the life and health of workers of the leading industry in the region. The working conditions of coal mining and processing enterprises leading professions' personal have been analyzed, the cause-and-effect relationships of working conditions and the labor process have been identified to form common production-conditioned and occupational diseases, leading to severe pathological changes in the body of workers, including death as a result. The statistics of injuries, occupational diseases and unaccounted fatal accidents are resulted due to natural death at working places in the coal industry of Kuzbass.

The conducted researches showed the absence of effective legal and economic mechanisms that fully meet the requirements for safety and hygiene, promptly identify the causes of diseases conditioned by industrial factors, predict them, carry out preventive measures and provide healthy and safe working conditions at coal industry enterprise employees workplaces. Except jobs creation that meet the requirements of safety and hygiene, diagnostics and prevention of occupational diseases remain serious problems.

The article presents the Russian Federation legislation on the establishment of the workers diagnosed diseases dependence with their professional activities. Also, key features of the normative legal acts of the European Union countries and the ILO member states in the issue of establishing occupational diseases are outlined.

Ключевые слова: ВРЕДНЫЕ УСЛОВИЯ ТРУДА, ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ И ПРОИЗВОДСТВЕННО-ОБУСЛОВЛЕННАЯ ЗАБОЛЕВАЕМОСТЬ, СТАТИСТИКА, ТРАВМАТИЗМ СО СМЕРТЕЛЬНЫМ ИСХОДОМ, УГОЛЬНАЯ ОТРАСЛЬ КУЗБАССА, МИРОВОЙ ОПЫТ, МЕЖДУНАРОДНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ТРУДА, ПЕРЕЧЕНЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

Key words: HARMFULL WORKING CONDITIONS, OCCUPATIONAL AND PRODUCTION-CONDITIONED MORBIDITY, STATISTICS, FATAL ACCIDENTS, KUZBASS COAL INDUSTRY BRANCH, THE WORKD EXPERIENCE, INTERNATIONAL LABOR ORGANIZATION, OCCUPATIONAL DESEASES LIST

Условия труда и профессиональная заболеваемость горняков Кузбасса
 Уровень профессиональной заболеваемости в Кемеровской области более 10 лет стоит на первом месте, в 7 – 8 раз превышая общероссийский показатель [1, 2]. В угольной промышленности Кузбасса профессиональные заболевания имеют 90 работников из 10-ти тысяч, что видно из рисунка 1.

Высокие уровни профессиональной заболеваемости работников угольной отрасли Кузнецкого угольного бассейна являются резуль-

татом вредного воздействия неблагоприятных условий труда на здоровье и жизнь горняков.

Кроме физических факторов, на предприятиях угольной отрасли отмечаются высокие показатели тяжести и напряженности (класс 3.1 – 3.3) у работников рабочих профессий и специалистов среднего звена. Если уровень функционального напряжения чрезмерно велик и перегрузки продолжают длительное время, то кратковременный отдых не приводит к полному восстановлению израсходованных ресурсов, возникают патологические изменения в органах

Показатели и динамика профессиональной заболеваемости (на 10 000 занятого населения)

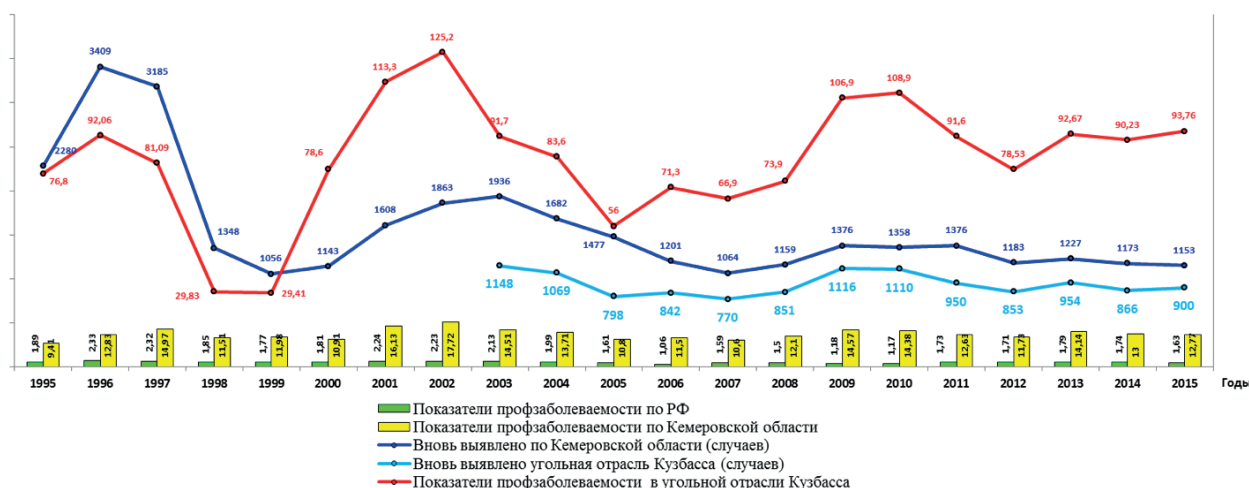


Рисунок 1 - Показатели и динамика профессиональной заболеваемости в РФ и Кемеровской области
 Figure 1 - Indicators and dynamics of occupational morbidity in the Russian Federation and the Kemerovo region

Таблица 1. Гигиеническая классификация условий труда рабочих угольных шахт и разрезов Кузбасса

Профессия	Класс условий труда				
	Пыль	Шум	Вибрация	Тяжесть труда	Суммарный
ГРОЗ	3.3	3.2	3.1	3.1	3.4
Проходчики	3.4	3.3	3.4	3.1	3.4
ГРП	3.1	3.1	-	3.2	3.3
Мастер взрывник	3.2	3.1	-	-	3.1
Прочие	3.1	3.1	-	-	3.1
Водитель большегрузных машин	-	3.1	3.2	3.1	3.2
Экскаваторщик	-	3.2	3.2	3.1	3.3

и тканях на клеточном уровне, перерастающие в производственно-обусловленные и профессиональные заболевания.

Наибольшему риску утраты трудоспособности, безусловно, подвержены работники основных профессий предприятий, добывающих т/ уголь подземным способом, где по результатам проведенного анализа 100 % рабочих мест подземной группы отнесены к вредному классу условий труда [3] (табл. 1).

В структуре профессиональной патологии угольной отрасли Кузбасса наибольший удельный вес приходится на физические перегрузки – 43,2 %, далее идут физические факторы: шум – 22,3 %, вибрация – 22,0 %, промышленные аэрозоли – 13,5 %. В течение 2015 года от воздействия физических перегрузок профессиональные заболевания получили 376 работников отрасли, шума 201 работник, вибрации 188 и промышленных аэрозолей 122 работника. Среди ведущих шахтерских профессий, получивших профессиональное заболевание в 2015 году, – 187 проходчиков, 124 машиниста горных выемочных машин, 108 горнорабочих очистного забоя, 66 подземных электрослесаря, 30 горнорабочих подземных. На предприятиях, ведущих добычу угля открытым способом, за 2015 год установлены профессиональные заболевания у 62 водителей технологического транспорта, у 49 машинистов экскаватора, у 26 машинистов буровых установок, у 17 машинистов бульдозера. Всего в угольной отрасли Кемеровской области в 2015 году впервые выявлено 900 случаев профессиональных заболеваний [1, 2].

Эффективное управление профессиональными рисками является важнейшей задачей, включающей оценку опасности, последствий и принятие действенных мер по их предотвращению. Критериями безвредных условий труда являются сохранение жизни и здоровья работников, функциональных способностей организма, продолжительности жизни и здоро-

вья.

На предприятиях угольной промышленности воздух рабочей зоны загрязнен пылью и аэрозолями со значительным превышением гигиенических нормативов. При выполнении технологических процессов открытым способом добычи угля на рабочих местах работников ведущих профессий (машинист экскаватора, бульдозера, бурового станка, водитель технологического транспорта и др.) преобладают повышенные уровни шума и вибрации, инфразвука, неблагоприятный микроклимат [6, 7].

В настоящее время психосоциальные факторы общепризнаны как вопрос глобальной важности, актуальный для работников всех профессий, что связано прежде всего с увеличением интенсивности труда. Стрессы на рабочих местах способствуют возникновению заболеваний опорно-двигательного аппарата и других видов заболеваний, таких как гипертония, язвенная болезнь и заболевания сердечно-сосудистой системы.

Усугубляющим фактором развития профессиональной патологии на открытых горных работах является прежде всего неблагоприятный режим работы (12-ти часовой), который приводит к полуторакратной сменной нагрузке в сочетании с воздействием вредных и опасных производственных факторов, превышающих гигиенические нормативы, рассчитанные на восьми- часовую смену и отсутствие профилактики. Не выдерживается основной принцип – соблюдение гигиенических ПДК и ПДУ, не достижимых пока для угольной отрасли при современной технологии угледобычи. Система не учитывает факторов риска развития профессионального заболевания, позволяющих установить дозозависимую зависимость и использовать принцип защиты временем путем утверждения режимов труда и отдыха в процессе работы. Действующая система строит расчет на разработке новой совершенной техники и технологии угледобычи,

Таблица 2. Показатели травматизма и профессиональной заболеваемости в угольной отрасли Кузбасса

Показатели	Годы				
	1995	2000	2005	2010	2015
Добыча угля, млн. тонн	102,7	114,8	167,2	185,5	215,8
Общий травматизм	7297	3462	1395	807	188
Травматизм со смертельным исходом	103	58	74	119	16
Добыча угля подземным способом, млн. тонн	54,4	55,6	80,6	79,2	76,3
Травматизм со смертельным исходом на подземных работах	90	53	62	113	5
Уровень профзаболеваемости на 10 тыс. работающих в РФ	1,89	1,81	1,61	1,18	1,63
Уровень профзаболеваемости на 10 тыс. работающих в Кемеровской области	9,41	10,91	10,8	14,57	13,32
Уровень профзаболеваемости на 10 тыс. работающих в угольной отрасли Кузбасса	76,8	78,6	56,0	90,23	99,86
Вновь выявлено профбольных в Кемеровской области / угольная отрасль	2280/	1143/	1477/798	1358/1110	1053/900

а также замене, используемой в настоящее время, что является главным направлением предупредительной работы. Однако ожидать реального эффекта в ближайшем будущем на этом направлении не стоит.

Проведенный анализ статистических данных показал значительное снижение уровня общего и смертельного травматизма за последние десятилетия на предприятиях угольной отрасли Кузбасса при значительном увеличении объемов добычи угля. Если при добыче угля в объеме 159,2 млн. тонн в 1998 году общий травматизм составлял 7187 случаев, смертельный – 93 случая, то в 2015 году при добыче 215,8 млн. тонн общий уровень травматизма снизился до 188 случаев, а травматизм со смертельным исходом до 16. В 2016 году при добыче угля в объеме 227,4 млн. тонн общий травматизм на предприятиях отрасли Кузбасса составил 175 случаев, а со смертельным исходом снижен до 12 случаев [1, 2, 4]. В то же время при ежегодном увеличении объемов финансирования предупредительных мер по снижению рисков профессиональных заболеваний и травматизма, уровень профессиональной заболеваемости горняков остается высоким. Показатели травматизма и профессиональной заболеваемости в угольной отрасли Кузбасса приведены в таблице 2.

По данным Управления Роспотребнадзора по Кемеровской области на предприятиях Кемеровской области продолжают оставаться в большинстве отраслей экономики неудовлетворительные условия труда. В условиях, не отвечающих гигиеническим нормативам в 2015 году работало 66,8 % населения. Наибольший удельный вес работников, условия труда которых не

отвечают гигиеническим нормативам, приходится на предприятия по добыче полезных ископаемых (84,9 %), строительной отрасли (62,2 %), обрабатывающие производства и предприятия по производству электроэнергии, газа и воды соответственно по 60,7 %. Наиболее неблагоприятными остаются условия труда работников при добыче угля подземным способом, в металлургии, машиностроении, в строительстве и на предприятиях строительной индустрии. На этих предприятиях работники подвержены наибольшему риску утраты жизни и здоровья [1,2].

За 2015 год в Кемеровской области зарегистрировано 90 смертельных несчастных случаев с работниками, которые квалифицированы как не связанные с производством. Согласно медицинским заключениям причиной смерти на рабочем месте явились такие общие заболевания, как кровоизлияние головного мозга – 5 чел.; острая недостаточность – 60 чел., в т. ч. сердечная – 6 чел., сердечно-сосудистая – 24 чел., коронарная – 30 чел.

В организациях по добыче и переработке угля за год произошло 18 неучтенных несчастных случаев, в которых погибло 18 человек. На предприятиях по добыче каменного угля открытым способом погибло 9 человек, среди них 1 женщина, на шахтах – 8 человек и 1 работник при обогащении каменного угля.

Обстоятельствами неучтенных несчастных случаев со смертельным исходом на предприятиях угольной отрасли региона явились 13 случаев естественной смерти на производстве, в т. ч. 7 – на открытых и 6 – на подземных горных работах; 2 случая – транспортные происшествия; по одному случаю – от воздействия вред-

ных веществ, электричества и обрушения.

Среди причин неучтенных несчастных случаев при добыче и переработке угля ежегодно подавляющее большинство занимают смертельные случаи от общих заболеваний, связанные с заболеваниями сердечно-сосудистой системы, несмотря на то что 77 % из числа умерших на производстве проходили предварительные и периодические медицинские осмотры (обследования).

За последние 16 лет (с 2000 года) на предприятиях угольной отрасли произошло 309 неучтенных несчастных случаев от общих заболеваний. За этот период на рабочем месте умерло 262 горняка.

По результатам проведенного анализа можно сделать вывод, что большинство работников угольной отрасли умирают на производстве от общих заболеваний, таких как острые сердечно-сосудистая и коронарная недостаточность. Проведение предварительных и периодических медицинских осмотров (обследований) не обеспечивает в достаточной степени снижение смертности на производстве от общих заболеваний. Скрытая патология – это преждевременная внезапная смерть на производстве или потеря трудоспособности (инвалидность).

Статистика не отражает истинную картину в связи с низким уровнем выявления патологии по различным причинам, т. к. основная часть профессиональных заболеваний маскируется в общей заболеваемости, приводящей к смерти на рабочем месте или инвалидности. Низкий уровень выявления производственно-обусловленных и профессиональных заболеваний приводит к росту смертности на рабочих местах.

Высокий уровень профессиональной заболеваемости шахтеров и смертности на рабочих местах обусловлен низкой эффективностью функционирования системы управления на предприятиях угольной отрасли, повышение которой требует коренного изменения методологии ее формирования, преобразования, корректирования и совершенствования.

Однако не всегда можно четко и легко определить связь заболевания с работой. Существует большое количество заболеваний, которые связаны напрямую с условиями труда и профессией и вызваны вредными и (или) опасными факторами производственной среды и трудового процесса, но они не относятся к списку профессиональных заболеваний. Чем выше уровень воздействия вредных и (или) опасных факторов, тем серьезней профессиональный риск.

Конвенция Международной Организации

Труда (МОТ) №121 «О пособиях в случаях производственного травматизма» (не ратифицирована Россией) предлагает три системы оценки профессиональных заболеваний [5]:

1. по перечню;
2. по общему определению;
3. по комбинированной системе (перечень плюс общее определение).

Эксперты МОТ рекомендуют третью систему как универсальную и обеспечивающую наилучшую социальную защиту. В настоящее время в России действует первая система (по перечню профзаболеваний), в то время как первый отечественный список профзаболеваний 1929 года представлял собой третью систему оценки, т. к. содержал как список, так и определение профзаболевания, точнее определение болезней, связанных с работой (БСР) по терминологии ВОЗ 1987 г. Действующая в России система учета (первая) дает по сравнению с другими системами заниженную на порядок статистику профессиональных заболеваний [6].

В развитых странах на сегодняшний день отрасли тяжелой промышленности, в том числе и добыча полезных ископаемых подземным способом, снизили свои позиции, при этом условия окружающей среды улучшились. В результате чего значимость отраслей промышленности, связанных с услугами, значительно выросла, что поспособствовало значительному увеличению возможности трудиться женщинам, в том числе на ночных работах и работах со сменным графиком, что не могло не отразиться на состоянии их здоровья. Серьезной проблемой, связанной с профессиональным фактором, стало расстройство системы воспроизводства. Участились случаи обращения с проблемами бесплодия, половой дисфункции и поражением плода в тех случаях, когда женщины подвергаются воздействию химических веществ и профессиональных факторов, включая эргономическое напряжение и стресс. Причем с подобными проблемами сталкиваются и мужчины. Во многих странах посредством эпидемиологических обзоров и исследований профессиональные риски постоянно изменяются, при этом расширяются знания о профессиональных заболеваниях, что влечет за собой необходимость в изменении и дополнении списка профессиональной заболеваемости, отражая настоящее положение дел в области знаний, для удовлетворения нужд пострадавших от данных заболеваний [13].

Концепция мировой законотворческой деятельности по выявлению и учету профессиональных заболеваний

Основным нормативным правовым актом в законодательстве Российской Федерации, направленным на выявление профессиональных заболеваний, является «Перечень профессиональных заболеваний», разработанный и утвержденный Министерством здравоохранения и социального развития Российской Федерации приказом от 27 апреля 2012 года №417н [1].

Данный список необходим для руководства при решении вопроса о признании установленного диагноза работника профзаболеванием. Только в случае сопоставления диагноза и опасного или вредного производственного фактора (факторов), работник сможет надеяться на возмещение ущерба, который был нанесен его здоровью. Порядок компенсации за установленное профессиональное заболевание определен ФЗ № 125 от 24 июля 1998 года «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний».

До утверждения действующего Перечня руководствовались менее детализированным списком профессиональных заболеваний, являющимся приложением к приказу Министерства здравоохранения и медицинской промышленности Российской Федерации от 14 марта 1996 года № 90 «О порядке проведения предварительных и периодических медицинских осмотров работников и медицинских регламентах допуска к профессии». Также данным документом был определен и порядок применения списка профессиональных заболеваний. В данном списке, как и в действующем перечне, приводится наименование болезней в соответствии с ICD WHO – международным классификатором болезней (МКБ ВОЗ), а также наименование вредного и опасного производственного фактора, при воздействии которого возникает то или иное профессиональное заболевание. Но при этом в актуальном перечне исключили такой столбец, как «примерный перечень проводимых работ, производств», заменив на код внешней причины по ICD-10.

Выявление и диагностирование профессиональных заболеваний в странах членов МОТ осуществляется на основании принятой в 2002 рекомендации № 194 (R194) международной организации труда, которая содержит перечень профессиональных заболеваний. На основании данных рекомендаций в 2010 году был вновь пересмотрен перечень профессиональных заболеваний. Данный перечень носит рекомендательный характер и содержит общие группы заболеваний с указанием ключевого фактора их

проявления. При этом в каждом разделе имеется указание на возможности установления заболевания, вызванного другими, не упомянутыми факторами группы, где устанавливается прямая связь с научной точки зрения или определенными методами, соответствующими принятым методикам, между воздействием этих факторов и заболеванием, которым страдает работник [8].

Последняя версия списка профессиональных заболеваний МОТ принятого в 2010 году будет проходить через постоянный регулярный процесс пересмотра с целью включения последних научных разработок. Среди государств – членов МОТ – нашлось 50 стран, которые представили свои национальные перечни профессиональных заболеваний в 2005 году, чтобы подготовить новый перечень профессиональных заболеваний МОТ. Также были найдены 30 стран, имеющие списки профессиональных заболеваний с аналогичной структурой, представленной МОТ в R194. Перечень профессиональных заболеваний МОТ в настоящее время является комплексным руководством по профилактике профессиональных заболеваний, а не минимальным списком для введения национальных систем компенсации [9].

Законодательство европейского союза имеет свое виденье перечня устанавливаемых профессиональных заболеваний. Рекомендации Комиссии 2003/670/ЕС от 19 сентября 2003 года установили перечень профессиональных заболеваний, который является приложением XVIII к законодательству о здоровье и безопасности на рабочем месте, закону о труде и о равенстве труда для мужчин и женщин. Данные рекомендации комиссии в первой же статье призывают всех стран членов Европейского Союза как можно скорее ввести в свои национальные стандарты нормативно-правовые акты или административные положения о профессиональных заболеваниях, указанных в приложении [10].

Структура перечня профессиональных заболеваний, предлагаемая Европейской Комиссией, в целом весьма схожа с утвержденной Международной Организацией Труда, но все же имеет индивидуальные особенности. Так, например, присвоение нумерации пунктам, обозначающим факторы или заболевания с первого же вещества «100 Акрилонитрил». Также имеются классовые группировки, как например, у «109,01 Азотная кислота», «109.02 оксиды азота» и «109,03 Аммиак». Аналогично с перечнем, принятым МОТ, имеются разделы, указывающие на наличие профессионального заболевания по веществу (фактору), влияющему на организм

человека, а также по конкретному заболеванию или же категории заболеваний.

Отличительной особенностью рекомендации Европейской Комиссии и МОТ является отсутствие пункта, на который ранее в статье было обращено внимание – это указание на возможность установления заболевания, вызванного и другими, не упомянутыми факторами группы, где устанавливается прямая связь с научной точки зрения или определенными методами, соответствующими принятым методикам, между воздействием этих факторов и заболеванием, которым страдает работник. Схожий пункт в рекомендации Европейской Комиссии имеется исключительно в разделе «4 Инфекционные и паразитарные болезни». Данный раздел – единственный в перечне ЕС, который указывает на возможную неполноту данного документа.

Справедливости ради, следует отметить присутствие в перечнях профессиональных заболеваний, предложенных ЕС и МОТ достаточно объемных разделов, посвященных профессиональному раку. Данные разделы были добавлены относительно недавно, и полномасштабные исследования по этой проблеме на сегодняшний день только набирают обороты.

Помимо списков профессиональных заболеваний, предлагаемых международными организациями, имеет смысл обратить внимание на нормативно-правовые акты и рекомендации конкретных стран, таких как Польша, Германия, Франция.

В Польше первый перечень профессиональных заболеваний опубликован в 1919 году и был по большей части связан с инфекционными заболеваниями. Действующий официальный перечень утвержден постановлением Совета Министров от 30 июня 2009 года и опубликован в Законодательном вестнике 2009, №105, пункт 869 [11]. Данный перечень содержит исключительно наименование заболеваний без отсылок к факторам, их вызвавшим, в отличие от вышеперечисленных перечней профессиональных заболеваний. Также в перечне профессиональных заболеваний Польши фигурирует период возникновения диагностируемых симптомов профессионального заболевания.

В Германии перечень профессиональных заболеваний представлен приложением к указу о профессиональных заболеваниях от 31 октября 1997 года с изменениями от 22 декабря 2014 года [12]. Данный перечень интересен предлагаемым приложением 2, где в процентном соотношении указана причинно-следственная связь между заболеванием и накопительным сроком

действия асбестовой пыли.

Фундаментальным нормативно-правовым актом в области обеспечения сохранения жизни и здоровья работников во Франции является кодекс социальной безопасности. Перечень профессиональных заболеваний в законодательстве данной страны представлен приложением 2 к данному кодексу в виде 98 таблиц, при этом в каждой таблице перечня представлена группа заболеваний, отнесенных к тому или иному фактору [13]. Отличительная особенность данного перечня состоит в указании периода формирования конкретного профессионального заболевания. Также в перечне приведен примерный список работ, которые могли бы привести к формированию заболевания.

Выводы:

Высокий уровень профессиональной и производственно-обусловленной заболеваемости, смертности на рабочих местах от общих заболеваний работников угольной отрасли связан с наличием большого количества рабочих мест, не соответствующих требованиям безопасности и гигиены, отсутствием надлежащей диагностики и комплекса профилактических мероприятий по предупреждению развития заболеваний, вызванных производственными факторами, низкой эффективностью функционирования системы управления охраны труда на предприятиях угольной отрасли, отсутствием научного обоснования максимально безопасного времени работы в контакте с вредными факторами в конкретных производственных условиях.

В основе мероприятий, направленных на снижение воздействия вредных производственных факторов, профессиональных рисков, должны лежать меры профилактики: внедрение новых безопасных технологий ведения горных работ, машин и оборудования, соблюдение режима труда и отдыха, гигиенических нормативов на рабочих местах горняков, проведение качественных медицинских осмотров, оздоровление и реабилитация работников. Необходимо создать систему мониторинга вредных, опасных производственных факторов; применять эффективные средства коллективной и индивидуальной защиты; систематически анализировать причины общих и профессиональных заболеваний, их причины; научное обоснование максимально безопасного времени работы в контакте с вредными факторами в конкретных производственных условиях; усовершенствовать нормативную базу.

Производственная деятельность ведущей

отрасли региона должна осуществляться в безопасной и безвредной среде, не снижающей качества жизни и не вызывающей преждевременную смерть работников. Вложение средств в создание безопасных и безвредных условий труда, в здоровье работников – фактор перспективной стабильности, способствующий экономическому росту предприятий, отрасли, области.

Снижение производственных рисков в угольной отрасли Кузбасса – способ повышения экономической эффективности труда горняков, решения социальной и демографической про-

блемы региона.

Перечни профессиональных заболеваний в различных странах, как правило, основываются на рекомендациях МОТ и опираются на международные классификаторы заболеваний, но, тем не менее, у каждой из стран имеется свое виденье на необходимость уточнения или же обобщения определенных разделов. Данные разночтения имеют место быть ввиду различных приоритетных проблем профессиональной заболеваемости, их методах диагностирования и преобладающих отраслях промышленности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Кемеровской области в 2015 году. Кемерово 2016.
2. Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. Карты учета профессиональных заболеваний (отравлений): Роспотребнадзор по Кемеровской области. Кемерово, 2016.
3. Фомин А. И. Методологические принципы управления рисками профессиональных заболеваний на угольных шахтах Кемеровской области: дис. ...д-р техн. наук. Кемерово. 2008. 241 С.
4. Акты о расследовании групповых несчастных случаев (тяжелых несчастных случаев, несчастных случаев со смертельным исходом) (Форма 4) за 2015 год в Кемеровской области. Кемерово, 2015. 457 С.
5. О пособиях в случаях производственного травматизма: Конвенция Международной Организации Труда (МОТ) № 121. Женева, 8 июля 1964 г.
6. Об утверждении перечня профессиональных заболеваний. Приказ Министерства здравоохранения и социального развития РФ от 27апреля 2012 года № 417н. // Собрание законодательства Российской Федерации. 2012. № 48. ст. 6724.
7. Об утверждении Методики проведения специальной оценки условий труда, Классификатора вредных и (или) опасных производственных факторов, формы отчета о проведении специальной оценки условий труда и инструкции по ее заполнению. Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 24 января 2014 г. № 33н // Собрание законодательства Российской Федерации. 2014. № 48. ст. 2056.
8. List of occupational diseases (revised 2010). Identification and recognition of occupational diseases: Criteria for incorporating diseases in the ILO list of occupational diseases Geneva, International Labour Office, 2010 (Occupational Safety and Health Series, No. 74) First published 2010.
9. Historical review of the List of Occupational Diseases recommended by the International Labour organization (ILO). Annals of Occupational and Environmental Medicine 2013.
10. Commission Recommendation of 19 September 2003 concerning the European schedule of occupational diseases (Text with EEA relevance) (notified under document number C(2003) 3297) Official Journal L 238 , 25/09/2003 P. 0028 – 0034.
11. Regulation of the Council of Ministers of 30 June 2009 on occupational diseases (Journal of Laws of 2009, No 105, item 869).
12. Berufskrankheiten-Verordnung vom 31. Oktober 1997 (BGBl. I S. 2623), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 22. Dezember 2014 (BGBl. I S. 2397) geändert worden ist.
13. Legifrance – Le service public pour la diffusion du droit (2012). Le code de la sécurité sociale. Annexe II : Tableaux des maladies professionnelles prévus à l'article R. 461-3.

REFERENCES

1. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Кемеровской области в 2015 году. [On the state of sanitary and epidemiological well-being of the population in Kemerovo region in 2015]. (2016). Кемерово [in Russian].
2. Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. Карты учета профессиональных заболеваний (отравлений): Роспотребнадзор по Кемеровской области. [The Federal Service for Consumer Rights Protection and Human Well-being Supervision. Maps of occupational diseases (poisonings) registration: Rosпотребнадзор in Kemerovo region]. (2016). Кемерово [in Russian].
3. Fomin, A.I. (2008). Metodologicheskie principy upravleniya riskami professionalnykh zabolevanij na ugolnykh shakhtakh Kemerovskoj oblasti [Methodological principals of occupational diseases' risk control at coal mines of Kemerovo region]. Doctor's thesis. Кемерово [in Russian].
4. Akty o rassledovanii gruppovykh neschastnykh sluchaeв (tyzhelykh neschastnykh sluchaeв, neschastnykh sluchaeв so smertelnym iskhodom) (Forma 4) za 2015 god v Kemerovskoj oblasti. [Acts on the group accidents (severe accidents, fatal accidents) investigation (Form 4) for 2015 in Kemerovo region]. (2015). Кемерово [in Russian].
5. О пособиях в случаях производственного травматизма: Конвенция Международной Организации Труда (МОТ) № 121. [On Injuries Benefits: The International Labor Organization (ILO) Convention No. 121]. Geneva, July 8, 1964. [in Russian].

6. Ob utverzhdenii perechnya professionalnykh zabolevaniy. Prikaz Ministerstva zdavoohraneniya i socialnogo razvitiya RF ot 27aprelya 2012 goda № 417n. [On the approval of the occupational diseases list. Order of the Ministry of Health and Social Development of the Russian Federation dated by April 27, 2012 No. 417n.]. (2012). *Sobranie zakonodatelstva Rossijskoj Federacii - The Russian Federation legislation collection*, 48, 6724 [in Russian].
7. Ob utverzhdenii Metodiki provedeniya specialnoj ocenki uslovij truda, Klassifikatora vrednyh i (ili) opasnykh proizvodstvennykh faktorov, formy otcheta o provedenii specialnoj ocenki uslovij truda i instrukcii po ee zapolneniyu. Prikaz Ministerstva truda i socialnoj zashchity Rossijskoj Federacii ot 24 yanvarya 2014 g. № 33n [On approval of the methodology for conducting a special assessment of working conditions, the Classifier of harmful and (or) dangerous production factors, the form of a report on the conduct of a special assessment of working conditions and instructions for filling it. Order of the Ministry of Labor and Social Protection of the Russian Federation of January 24, 2014 No. 33n] *Sobranie zakonodatelstva Rossijskoj Federacii - The Russian Federation legislation collection*, 48, 2056 [in Russian].
8. List of occupational diseases (revised 2010). Identification and recognition of occupational diseases: Criteria for incorporating diseases in the ILO list of occupational diseases Geneva, International Labour Office, *Occupational Safety and Health Series*, No. 74 [in English].
9. Historical review of the List of Occupational Diseases recommended by the International Labour organization (ILO) (2013). *Annals of Occupational and Environmental Medicine* [in English].
10. Commission Recommendation of 19 September 2003 concerning the European schedule of occupational diseases (2003). *Official Journal L 238*, 0028 – 0034 [in English].
11. Regulation of the Council of Ministers of 30 June 2009 on occupational diseases (2009). *Journal of Laws*, No 105, item 869 [in English].
12. Berufskrankheiten-Verordnung vom 31. Oktober 1997 (BGBl. I S. 2623), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 22. Dezember 2014 (BGBl. I S. 2397) geändert worden ist [Occupational Diseases Ordinance of 31 October 1997 (Federal Law Gazette I p. 2623), most recently amended by Article 1 of the Ordinance of 22 December 2014]. (2014). *BGBl - Federal Law Gazette I*, 2397 [in German].
13. Legifrance – Le service public pour la diffusion du droit (2012). Le code de la sécurité sociale. Annexe II : Tableaux des maladies professionnelles prévus à l'article R. 461-3 [The Public Service for the Dissemination of the Law (2012). The Social Security Code. Annex II: Tables of occupational diseases provided for in Article R. 461-3]. *Legifrance – French Legislation* [in French].

indsafe.ru

ПКП

ПРИБОР КОНТРОЛЯ ПЫЛЕВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

на правах рекламы



П. Б. Герике
am_besten@mail.ru

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

УДК 53.083(430.1)

К ВОПРОСУ СОЗДАНИЯ УНИВЕРСАЛЬНОЙ ПРОГНОСТИЧЕСКОЙ ДЕГРАДАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ЭНЕРГО-МЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ГОРНЫХ МАШИН

TO THE QUESTION OF A UNIVERSAL PROGNOSTIC DEGRADATION MODEL CREATION FOR MINING MACHINE ENERGY-MECHANICAL EQUIPMENT

П. Б. Герике – канд. техн. наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории ФГБНУ «ФИЦ УУХ СО РАН», 650065, г. Кемерово, Ленинградский проспект, 10

P. B. Gerike – candidate of technical sciences, assistant professor, senior researcher of laboratory of Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of SB RAS, Kemerovo, Russia, 10, Leningradsky prospect, Kemerovo, 650065, Russia

В данной статье обобщены результаты исследований по разработке универсальной математической деградационной модели, пригодной для прогнозирования процесса изменения параметров, характеризующих техническое состояние самых разных механических систем. В работе рассмотрены результаты анализа существующих методологических подходов к разработке единых диагностических критериев, основанных на принципах вибродиагностики предельно изношенного энерго-механического оборудования. Приведена подробная классификация дефектов энерго-механического оборудования горных машин, в том числе карьерных экскаваторов, буровых станков, горнотранспортного и углеобогачительного оборудования. Обосновано применение конкретных методов вибродиагностики, наиболее подходящих для проведения эффективного контроля и разработки единых диагностических критериев для оценки технического состояния объектов диагностирования, в составе комплексного диагностического подхода. Показано, что только с широким использованием современных методов вибрационной диагностики и неразрушающего контроля предоставляется возможность для своевременного выявления дефектов динамических агрегатов горного оборудования и разработки прогнозных моделей изменения их технического состояния. Результаты проведенных исследований доказывают возможность разработки универсальных прогностических моделей, подходящих для выполнения эффективного краткосрочного прогнозирования изменения технического состояния, в качестве базовых моделируемых параметров использующих единые диагностические критерии, созданные для оценки фактического состояния объектов диагностирования. Внедрение в практику вибродиагностики алгоритмов прогностического моделирования является одним из необходимых условий для осуществления перевода промышленных предприятий ТЭК Кузбасса на систему обслуживания техники по её фактическому техническому состоянию. Неотъемлемым базовым элементом концепции такой системы послужит разработанный комплекс диагностических правил выявления дефектов по результатам анализа генерируемой при работе оборудования вибрации, включающий более 120 диагностических признаков для семи основных групп дефектов.

This article summarizes the research results of a universal mathematical degradation model development suitable for predicting the process of parameter changing characterizing the technical state of different mechanical systems. In this work the analysis results of the existing methodological approaches to the development of common diagnostic criteria based on the principles of vibration diagnostics of extremely worn-out energy-mechanical equipment are considered. A detailed classification of defects in energy-mechanical equipment of mining machines, including quarry excavators, drilling rigs, mining transportation and coal-washing

equipment is given. The application of specific vibration analysis methods, most suitable for effective control and development of unified diagnostic criteria for assessing the technical condition of diagnostic objects, is substantiated as part of a comprehensive diagnostic approach. It is shown that only with the wide use of modern methods of vibration diagnostics and nondestructive testing the opportunity is offered for timely detection of defects in dynamic aggregates of mining equipment and for development of predictive models for their technical condition change. The results of the conducted studies prove the possibility of universal prognostic models development suitable for performing an effective short-term prediction of technical state changes as basic simulated parameters which use single diagnostic criteria created for assessing the actual state of the diagnostic objects. The introduction of predictive modeling algorithms into practice of vibroanalysis is one of the necessary conditions for the transfer of Kuzbass fuel and energy complex industrial enterprises to the maintenance system according to its actual technical condition. An integral basic element of the concept of such a system will be the developed set of diagnostic rules for detecting defects based on the analysis of vibration generated at the equipment operation, including more than 120 diagnostic features for major seven groups of defects.

Ключевые слова: ВИБРОДИАГНОСТИКА, ПРОГНОЗНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, НОРМИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ, УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИМ ОБСЛУЖИВАНИЕМ, ГОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Keywords: VIBRODIOGNOSTICS, PROGNOSTIC MODELLING, NORMALIZATION OF MECHANICAL VIBRATIONS, TECHNICAL SERVICE MANAGEMENT, MINING EQUIPMENT

В рамках проведения работ по техническому диагностированию, неразрушающему контролю и разработке элементов системы обслуживания по фактическому состоянию оборудования для открытых горных работ на предприятиях угольной промышленности Кузбасса учеными и специалистами ФИЦ УУХ СО РАН в настоящее время выполняется цикл исследований по выявлению критериев предельного состояния, пригодных для оценки и прогнозирования процесса изменения состояния предельно изношенного горного оборудования. Кроме того, предпринимаются попытки создания универсальной прогнозной адаптивной математической модели, описывающей процесс деградации энерго-механического оборудования горных машин различного типа и конструкции. Уход от существующей на сегодня системы планово-предупредительных ремонтов (ППР) является необходимым условием повышения безопасности горных работ, если принять во внимание, что в недопустимом техническом состоянии сегодня находится до 25 % от общего числа технических устройств, эксплуатируемых на предприятиях угольной и горнорудной промышленности Кузбасса и подлежащих обязательной процедуре экспертизы промышленной безопасности [1].

Основная идея настоящей работы заключается в использовании единых диагностических критериев (ЕДК) для прогнозирования процессов деградации технического состояния самых различных узлов и элементов энерго-механического оборудования горных машин, а именно: синхронных и асинхронных электрических двигателей, двигателей внутреннего сго-

рания, соединительных муфт, валов, зубчатых передач различного типа и конструкции, подшипников качения и скольжения, поршневых, роторных и винтовых компрессоров и т.д. Объектами данного исследования выступает оборудование одноковшовых карьерных экскаваторов, дизель-гидравлические и электрические буровые станки и установки, горнотранспортное, дробильно-сортировочное и углеобогатительное оборудование, автосамосвалы, бульдозеры, автопогрузчики, оборудование гидромеханизации, вспомогательная техника и т.д. В качестве основного метода неразрушающего контроля, который был использован для сбора и анализа диагностической информации в рамках настоящего исследования, применялся контроль по параметрам вибрации. Этот выбор обусловлен тем, что данный метод оценки состояния механических систем по параметрам механических колебаний с высокой степенью достоверности позволяет выявлять абсолютное большинство дефектов диагностируемого оборудования вне зависимости от их типа и степени развития [2, 3]. Кроме того, применение вибродиагностики является обязательным при выполнении процедуры экспертизы промышленной безопасности технических устройств и регламентировано руководящими документами Ростехнадзора РФ.

На сегодняшний день в мире не существует единой универсальной прогнозной математической модели, с одинаковым успехом описывающей процесс деградации технического состояния энерго-механического оборудования горных машин различного типа и конструкции на основании результатов анализа параметров генерируемой при их работе вибрации, при этом

еще и обладающей высокой достоверностью и достаточной адекватностью.

Этот факт объясняется недостаточной изученностью вопросов динамики горных машин, практически полным отсутствием представительных баз данных по параметрам вибрации у широкой номенклатуры технических устройств, эксплуатируемых в условиях угольной промышленности, сложностью интерпретации анализируемых диагностических характеристик, трудностями при реализации предлагаемых громоздких алгоритмов прогнозных моделей [4, 5].

Кроме того, несовершенными являются присутствующие сегодня на рынке программно-обеспечения алгоритмы автоматизированного поиска дефектов по частотным наборам базовых диагностических признаков [5]. Грамотная реализация таких алгоритмов требует наличия баз данных по параметрам вибрации однотипного оборудования, причем при смене объекта диагностирования работу по созданию признаков и правил необходимо начинать заново. Впрочем, точность результатов данного метода сильно зависит от характера исследуемых полигармонических волн и точного соблюдения методологии сбора диагностических данных, а также качества исходного сигнала.

Создание прогностических моделей, пригодных для осуществления адекватного прогноза изменения фактического состояния узлов и механизмов горных машин, основанных на анализе параметров механических колебаний, не может быть осуществлено без наличия устойчивой теоретической базы [6, 7], учитывающей характер изменения спектрального состава исследуемых диагностических характеристик. Для каждой группы дефектов энерго-механического оборудования горных машин должен быть сформулирован свой единый диагностический критерий оценки технического состояния, основанный на результатах комплексного анализа данных с использованием нескольких различных методов виброанализа. Таким образом, невозможно осуществить эффективное моделирование процессов деградации технического состояния без комплексного использования результатов анализа параметров исходных виброакустических волн с применением нескольких диагностических методов, конкретное сочетание которых зависит от типа объекта диагностирования и режимов его работы.

Существующие математические модели [1, 3, 5, 8], разработанные для описания и прогнозирования динамики процессов деградации технического состояния механических систем,

обладают существенным общим недостатком – всем им присуща крайне узкая область применения результатов моделирования. В целом ряде случаев нельзя считать достаточной апробацию полученных результатов моделирования.

В условиях действующей на предприятиях ТЭК России системы планово-предупредительных ремонтов все сроки выведения технических устройств в ремонт или на проведение технического обслуживания четко регламентированы, поэтому гораздо более важным является наличие достоверной информации о том, что объект диагностирования способен проработать без возникновения аварийных отказов до момента очередного ремонта. Именно поэтому задача по разработке моделей для осуществления долгосрочного прогнозирования является сегодня неактуальной.

Наиболее эффективно решить поставленную задачу позволяют принципы адаптивного краткосрочного прогнозирования. Адаптация модели к изменяющимся внешним условиям осуществляется на основе коррекции параметров по результатам экспериментально полученных данных последних измерений.

Научные исследования последних лет [8, 9, 10] убедительно доказали адекватность существующих краткосрочных прогнозных математических моделей, однако, их существенным общим недостатком является узкая область применения полученных результатов. Довольно часто такие модели ориентированы на прогнозирование изменения абсолютной величины единого диагностического критерия, рассчитываемого по результатам анализа параметров виброакустических характеристик с использованием методологии различных диагностических подходов и способов фильтрации исходных данных. Областью использования результатов такого моделирования обычно становятся подшипники качения, являющиеся самым изученным объектом с точки зрения вибродиагностики [5, 8].

Математические модели, способные осуществить прогноз на один-два интервала диагностирования и определить гарантированный минимальный и средний ожидаемый остаточный ресурс технологического оборудования, получили в последнее время широкое распространение, их алгоритмы успешно реализованы в программном обеспечении многих отечественных фирм (например, Dream for Windows от ЗАО «ВАСТ», г. С.-Петербург или Аврора от ООО «Вибро-Центр», г. Пермь). В качестве основного диагностического критерия в таких моделях обычно используется общий уровень среднеква-

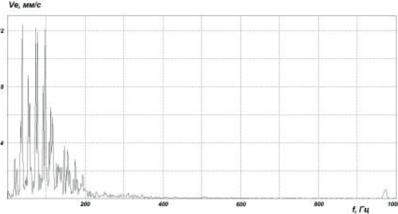
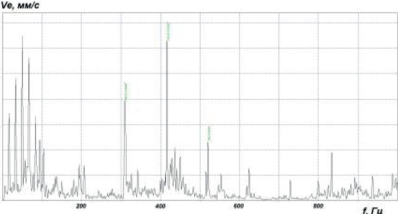
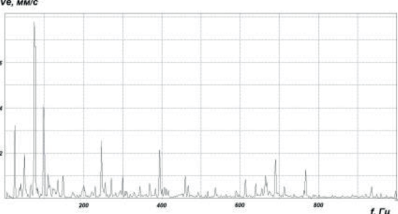
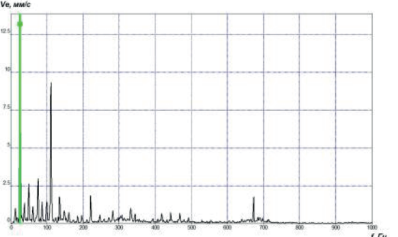
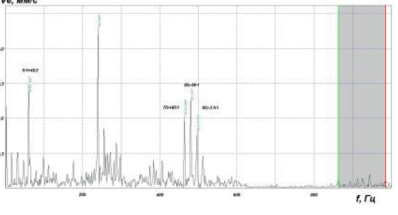
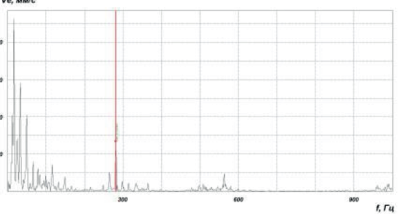
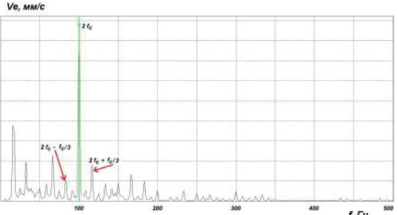
- А)  Недопустимый уровень расцентровки левого электродвигателя с редуктором подъемной лебедки экскаватора ЭШ 10/70. Ярко выраженное нарушение жесткости опорной системы.
- Б)  Развитый множественный дефект подшипника сетевого двигателя экскаватора ЭШ 11/70.
- В)  Ярко выраженное нарушение жесткости опорной системы. Ослабление крепежа электродвигателя к редуктору механизма поворота экскаватора ЭШ 6/45.
- Г)  Малая генераторная группа экскаватора ЭШ 11/70. Недопустимый дисбаланс ротора генератора собственных нужд, ярко выраженное нарушение жесткости системы, ослабление посадки подшипника и нарушение режима его смазки.
- Д)  Перекос осей валов первой и второй ступени, абразивный износ зубчатых зацеплений провала редуктора подъемной лебедки экскаватора ЭШ 10/70.
- Е)  Развитый дефект муфты, нарушение режима смазки подшипника электродвигателя ленточного конвейера В-1000.
- Ж)  Развитый дефект электрической природы – нарушение симметрии фаз генератора подъема экскаватора ЭКГ-10.

Рисунок 1 - Примеры спектров, содержащих признаки наличия семи основных групп дефектов энерго-механического оборудования горных машин
Figure 1 - Examples of spectra containing signs of seven major groups of defects in energy-mechanical equipment of mining machines

дратического значения виброскорости.

Главное отличие создаваемой модели от существующих прогнозных алгоритмов заключается в использовании в качестве моделируемых параметров большого числа ЕДК, разрабатываемых для диагностирования широкого спектра узлов энерго-механического оборудования горных машин, в числе которых синхронные и асинхронные двигателя, генераторы, подшипники качения, соединительные муфты различной конструкции, зубчатые передачи и т.д. Алгоритм создания универсальной модели включает в себя четыре основных этапа.

Первым этапом разработки достоверной краткосрочной прогнозной модели является сбор первичной диагностической информации, а также выбор, обоснование и нормирование критериев технического состояния, пригодных для выполнения оценки наличия и степени развития повреждений динамического оборудования и создания на их основе эффективных ЕДК. В рамках выполнения настоящего исследования в качестве критериев предельного состояния приняты следующие основные параметры:

- максимальные амплитуды групп информативных частот по параметрам виброскорости и виброускорения (здесь подразумеваются подшипниковые, зубчатые, лопаточные и другие частоты), а также флуктуация амплитуд соответствующих гармоник;

- общий уровень среднеквадратических значений (СКЗ) виброскорости и виброускорения в стандартном и расширенном частотных диапазонах;

- узкие частотные полосы или отдельные компоненты спектра, свидетельствующие о наличии повреждений однотипного характера (например, гармонические ряды нарушения жесткости системы $[0,4f_R \dots 24 f_{Rmax}]$ или расцентровки двигателя с редуктором $[f_R \dots 4 \dots 6f_R]$);

- размах виброперемещения в стандартном частотном диапазоне;

- мера подобия, определяемая по результатам сравнения характеристик вейвлет-преобразования и временной волны реального и «эталонного» сигналов;

- результаты нормирования параметров вибрации при помощи спектральных масок высокой степени детализации, разработанных для широкого спектра энерго-механического оборудования.

Разработка единых диагностических критериев, пригодных для оценки и прогнозирования изменения технического состояния по параметрам генерируемой вибрации каждого элемента

энерго-механического оборудования горных машин, является отдельной самостоятельной научной задачей. Очевидно, что из-за особенностей и ограничений на область применения каждого из существующих методов вибродиагностики [5, 8, 9], каждому набору диагностических параметров, на основе которого разрабатывается ЕДК для каждого конкретного элемента оборудования горных машин, будет присуща своя уникальность. Именно такой дифференцированный подход к методологии поиска единых критериев является одной из отличительных особенностей создаваемой модели, в то время как при разработке аналогичных моделей в качестве базового информативного критерия оценки зачастую используется только общий уровень СКЗ виброускорения или виброскорости в стандартном диапазоне частот.

Необходимым условием осуществления разработки эффективного ЕДК для сложной механической системы по параметрам генерируемой при её работе вибрации является анализ представительной выборки диагностических данных, полученных на однотипных объектах при их эксплуатации на штатных режимах. Такой анализ позволяет осуществить группировку дефектов обследуемого оборудования горных машин по базовым критериям технического состояния, выполнить классификацию диагностических признаков и их нормирование. В рамках проведения настоящего исследования удалось обобщить и формализовать более 120 базовых диагностических признаков, пригодных для выявления 7 основных групп дефектов энерго-механического оборудования горных машин (нарушение жесткости системы, нарушение соосности валов, неуравновешенность вращающихся деталей, дефекты подшипников качения, повреждения зубчатых передач, дефекты соединительных муфт, дефекты электрической природы – см. рис. 1). Основная часть признаков основана на результатах спектрального анализа параметров виброакустических волн (около 80 % от всей совокупности диагностических признаков). Кроме того, в общий комплекс входят результаты анализа с применением эксцесса, принципов выделения огибающей, анализа характеристики выбега, вейвлет-анализа параметров исходной волны.

Вторым этапом разработки краткосрочной прогнозной модели является выделение тренда детерминированной составляющей.

В условиях действующей на предприятиях ТЭК Кузбасса системы ППР наибольший интерес представляет решение задачи, связанной с

максимально эффективным выделением трендов детерминированной составляющей сигнала для выполнения краткосрочного прогнозирования. Классическая задача по отысканию тренда решалась с помощью использования алгоритмов разделения виброакустического сигнала на составляющие компоненты, которых на сегодняшний день разработано достаточно много [7, 8]. В рамках настоящего исследования использовалась проверка рядов данных на наличие тренда информативной составляющей по критерию Фишера. Рассматриваемая статистическая модель принималась адекватной в том случае, если рассчитываемая статистическая величина превосходит табличное значение коэффициента Фишера с учетом принятых степеней свободы и уровня значимости. Полученное уравнение регрессии основано на зависимости усредненных ЕДК от времени и позволяет осуществить расчет линии регрессии и границ доверительных интервалов, учитывающих величину разброса фактических значений ЕДК от линии регрессии. Границы доверительных интервалов были определены через дисперсию отклонения от линии регрессии:

$$S_t = \alpha \sum_{i=0}^{N-1} \beta^i K_{t-i} + \beta^N S_0, \quad (1)$$

где K_i – значение ЕДК в момент времени t_i ; – детерминированная компонента ЕДК в момент времени t_i ; n – число членов в ряду данных.

Третий этап разработки краткосрочной прогнозной модели заключается в реализации алгоритмов уточнения оборотной частоты и клиппирования исходных массивов данных.

Неотъемлемой составляющей прогнозной модели по параметрам механических колебаний является алгоритмизация процедуры уточнения оборотной частоты. Данная процедура хорошо изучена и активно используется при проведении исследований [8, 11, 12]. В рамках настоящей работы был использован алгоритм уточнения оборотной, наиболее оптимально подходящий для описания объектов диагностирования с неявным максимумом оборотной частоты, предложенный в работах [8]. Применение результатов работы такого алгоритма на практике способно значительно повысить точность проводимого анализа и эффективность нормирования спектрального состава полигармонических волн.

Создание ЕДК для каждого из типов дефектов включает в себя процедуру клиппирования, т.е. удаления из спектра всех «лишних» гармонических составляющих, напрямую не связанных с диагностическими признаками описываемых

дефектов. Таким образом, количество алгоритмов клиппирования должно соответствовать количеству потенциально возможных дефектов диагностируемого оборудования, т.к. алгоритмы разделения информативных составляющих по наличию дефектов различной природы основаны на удалении из спектра всех составляющих иной природы, по отношению к разрабатываемому ЕДК. Каждый такой алгоритм включает в себя формирование массива сглаженного (модифицированного) спектра с последующим обнулением составляющих, не имеющих отношения к типу разрабатываемого ЕДК. Так, например, при разработке ЕДК для диагностики подшипников необходимо подавить составляющие ряда оборотной частоты, а также гармонические ряды электрических, зубчатых и лопаточных частот, частот нарушения жесткости и дефектов соединительных муфт, субгармоники и обертоны перечисленных составляющих спектра. После осуществления подавления «лишних» составляющих необходимо произвести расчет результирующих диагностических критериев по общему уровню остаточных спектральных составляющих. Для этого определяется количество оставшихся значащих гармоник N , сумма квадратов данных величин умножается на коэффициент весовой функции, из полученного результата извлекается квадратный корень. Например, для выявления составляющих «зубцовой природы» данное выражение примет следующий вид:

$$K_{зуб} = \sqrt{k \sum_{i=0}^N Z(f)^2}, \quad (2)$$

где $K_{зуб}$ – результирующий диагностический критерий оценки зубчатой передачи; k – коэффициент весовой функции; $Z(f)$ – зубцовые частоты, связанные с частотой вращения через дробные коэффициенты.

Кроме того, процедуры клиппирования должны содержать в себе алгоритмическое решение задачи детектирования и удаления искаженных первичных диагностических данных. Появление искажений в исходных виброакустических характеристиках обычно вызвано несколькими причинами: погрешности интегрирования программного обеспечения, ошибки при установке датчика, дефекты соединений в системе «датчик – кабель – прибор», значительные ослабления фундамента работающего агрегата, низкая температура окружающего воздуха и ее резкие перепады и т.д. (см. пример на рис. 2). Для решения этих задач в работе использована операция модифицированного поэтапного клиппирования, предложенная в исследова-

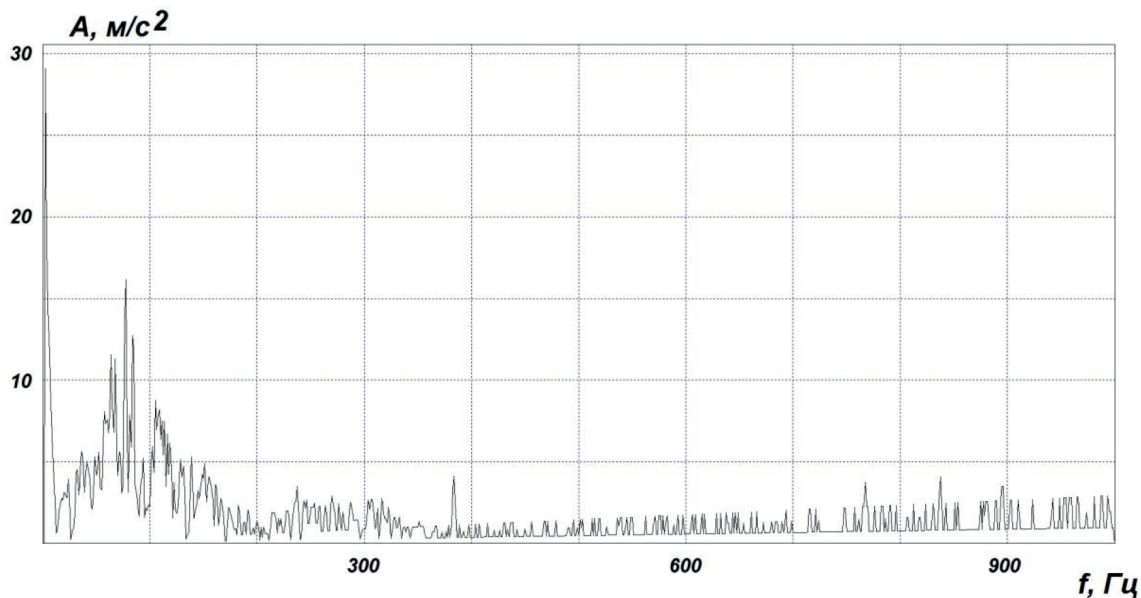


Рисунок 2 - Пример искажения спектра, причиной которого является нарушение контакта в соединении «кабель-датчик» измерительного прибора (измерения проведены на редукторе лебедки подъема экскаватора ЭКГ-4У)
 Figure 2 - An example of spectrum distortion, which is caused by a violation of the contact in the "cable-sensor" connection of the measuring device (measurements were made on the reducer of the hoist of the excavator ECG-4U)

ниях [8], предусматривающая осуществление клиппирования модифицированного (сглаженного) спектра, проходящее в несколько этапов. Предложен оригинальный алгоритм обработки исходных данных, основанный на принципе автоматизированного исключения заведомо некорректных результатов измерений по результатам оценки меры сходства спектров и нормирования общего уровня сигнала и спектрального состава измеряемых характеристик.

Результатом реализации описанных выше алгоритмов является получение результирующего модифицированного спектра, представляющего собой сумму специфических (зубцовых, подшипниковых и др.) частот и компонентов, являющихся независимыми от частоты вращения вала.

Четвертым этапом разработки является получение аналитического и численного решения модели и графического представления результатов прогнозирования.

Точность прогнозирования с использованием адаптивных моделей можно повысить уменьшением периода прогнозирования при увеличении объема выборки экспериментальных данных. Данное условие полностью совпадает со спецификой действующей на предприятиях системы планово-предупредительных ремонтов (ППР), когда наибольшую значимость представляет решение задачи краткосрочного прогнозирования, не превышающего один или два диагностических интервала, что позволяет оценить вероятность безотказной работы до момента ближайшего ремонта.

Эффективность применения адаптивных методов для осуществления краткосрочного прогнозирования процесса деградации технического состояния сложных механических систем доказана работами отечественных и зарубежных исследователей [8, 11, 12], что является достаточным основанием для их применения в условиях системы ППР. Причем большинство исследователей рекомендуют использовать для осуществления краткосрочного прогноза именно адаптивные экспоненциальные модели [8, 13]. Главным недостатком существующих моделей является их узкая область применения и отсутствие результатов апробации на большом количестве конструктивных элементов агрегатов и механизмов горной техники.

Для решения задачи прогнозирования изменения процессов вибрационной активности, формирующихся при работе энерго-механического оборудования горных машин, необходимо осуществить динамическое моделирование величин единых диагностических критериев, основанных на группах базовых информативных частот, что является не в пример более сложным по сравнению с прогнозированием величины общего уровня виброакустического сигнала.

Простейшую адаптивную модель, описывающую изменение диагностического параметра, с течением времени можно представить в виде суммы прогноза на один шаг вперед и погрешности этого прогноза, умноженной на параметр экспоненциального сглаживания. Таким образом, для записи ряда параметрических данных, имеющего N членов, можно использовать

следующее выражение [8]:

$$S_t = \alpha \sum_{i=0}^{N-1} \beta^i K_{t-i} + \beta^N S_0, \quad (3)$$

где S_t – прогноз технического состояния (изменения величины единого диагностического критерия); S_0 – начальное состояние механической системы; α – параметр экспоненциального сглаживания, $\beta=1-\alpha$; K_t – значение ЕДК в момент времени t .

Определенные затруднения при применении адаптивных методов вызывает выбор параметра экспоненциального сглаживания α , с ростом которого увеличивается значимость данных последних измерений диагностируемого параметра, но при этом плохо сглаживаются случайные колебания. Уменьшение α , напротив, ведет к лучшему сглаживанию кривой. Выбор величины параметра α обусловлен задачами моделирования. Исследования, выполненные автором в рамках настоящей работы, позволили рассчитать значение α для энерго-механического оборудования электрических карьерных экскаваторов. Так, для генераторных групп экскаваторов типа мехлопата и драглайнов параметр α составляет 0,6; для остального оборудования экскаваторов (для работы которого характерно изменение частоты вращения приводного двигателя и значительные ударные нагрузки) данный параметр не должен превышать 0,3. Выбор и обоснование α для другого горного оборудования остается за рамками настоящей работы. В общем виде рекомендуемые значения α для единичных вычислений прогнозируемых параметров находятся в диапазоне 0,1...0,3 [8].

Таким образом, обобщенный алгоритм краткосрочного прогнозирования включает в себя:

- выбор величины α (уникальной для каждого объекта диагностирования);
- определение параметра S_0 (в случае наличия большого количества априорных диагностических данных, полученных на однотипных объектах диагностирования, допускается использование усредненного ЕДК для данного типа дефекта);
- расчет матрицы величин S_{it} , характеризующих прогноз изменения технического состояния технической системы по i -му типу ЕДК;
- сравнение расчетных величин S_{it} с нормируемыми параметрами ЕДК;
- формирование заключения о работоспособности механической системы на прогнозируемый временной интервал.

Анализ параметров вибрации, генерируемой при работе энерго-механического обо-

рудования горных машин, показал, что для осуществления достоверного прогнозирования наиболее эффективным является применение комплексного диагностического подхода, состоящего минимум из трех отдельных методов: спектрального анализа параметров виброскорости и виброускорения в расширенном частотном диапазоне, анализа огибающей спектра и эксцесса исследуемого сигнала. Таким образом, ЕДК, используемый для оценки технического состояния данного типа объектов, должен сочетать в себе как минимум эти три базовых диагностических критерия.

Алгоритм разработки ЕДК основан на принципе разделения объектов, находящихся на разной стадии развития дефектов, на различные группы. Для максимально эффективного описания ЕДК для каждой группы дефектов использовалось многомерное пространство диагностических признаков с применением принципов скаляризации [8, 14]. Задача по разработке ЕДК предусматривает создание семи базовых критериев, по одному для каждой группы дефектов энерго-механического оборудования горных машин (для дефектов подшипников качения и скольжения, нарушения центровки, нарушения жесткости системы, дефектов соединительных муфт, дефектов зубчатых передач, неуравновешенности вращающихся деталей, дефектов электрической природы). Кроме того, ряд критериев и признаков имеют существенные ограничения на область применения (например, использование эксцесса невозможно для оценки состояния подшипника первичного вала редуктора и т.д.), а само оборудование может работать на нетипичных, нестандартных режимах (разгон/выбег, превышение максимальной нагрузки, ударные нагрузки и т.д.). На практике данная проблема может быть решена введением в расчеты нестационарного весового коэффициента, учитывающего влияние подобных условий работы оборудования.

Обобщая опыт ранее выполненных исследований [4, 9], можно заключить, что на сегодняшний день удалось разработать адаптивную модель и создать ЕДК для такого класса дефектов динамического оборудования, как нарушение соосности валопровода машинного агрегата. Результаты моделирования позволили получить графическую интерпретацию процесса деградации технического состояния объекта диагностирования, а также аналитическое и численное решение задачи прогнозирования. Объекты диагностирования, как и показали результаты прогнозирования, безаварийно отрабо-

тали по два интервала прогнозирования, что позволило без аварийной остановки оборудования осуществить необходимые мероприятия по ремонту и наладке, в результате чего повышенный уровень механических колебаний был устранен.

Таким образом, полученные в рамках настоящей работы научные результаты убедительно свидетельствуют об эффективности предложенной методики создания единых диагностических критериев, выбора способа выделения тренда детерминированной компоненты сигнала и создаваемой универсальной краткосрочной прогнозной адаптивной экспоненциальной модели. Дальнейшим этапом развития предложенной модели будет являться разработка алгоритма программного кода автоматизированной системы для диагностики и прогнозирования изменения фактического состояния энерго-механического оборудования горных машин.

Создаваемая математическая модель послужит неотъемлемой частью системы обслуживания техники по ее фактическому состоянию, которая предъявляет свои требования к наличию развитых программно-аппаратных средств и методов прогнозирования и контроля [5, 9]. Универсальность предлагаемой деградационной модели заключается в возможности прогнозирования изменения состояния сложных механических систем, в состав которых входят самые разные по типу и конструкции узлы и агрегаты.

Использование в качестве моделируемых параметров разрабатываемых ЕДК, основанных на результатах анализа вибрации, делает данную модель по-своему уникальной. Кроме того, осуществление перехода на систему обслуживания по фактическому состоянию невозможно без использования математических моделей, способных осуществить расчет прогноза изменения технического состояния по параметрам вибрации для широкого типового ряда горной техники, что является необходимым условием для максимально безопасной эксплуатации сложного и дорогостоящего оборудования, а также без наличия четко структурированной представительной базы данных по параметрам вибрации энерго-механического оборудования горных машин [15]. Таким образом, результатами настоящей работы убедительно доказана эффективность использования созданных предпосылок для моделирования процессов деградации сложных механических систем. Предложенный подход к созданию деградационных моделей для оборудования угольной промышленности имеет весьма важное практическое значение и может быть использован для решения задач повышения безопасности проведения горных работ, оптимизации логистических издержек предприятий и минимизации аварийных простоев ответственного технологического оборудования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ещеркин П. В. Разработка методики диагностирования и прогнозирования технического состояния дизель-гидравлических буровых станков: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Кемерово. 2012. 18 с.
2. Bently D.E., Hatch C.T. "Fundamentals of rotating Machinery Diagnostics", Bently Pressurized Press, 2002, P.726.
3. Rudloff L., Arghir M., Bonneau O., Guingo S., Chemla G., Renard E., "Experimental Analysis of the Dynamic Characteristics of A Hybrid Aerostatic Bearing" Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, vol. 134(18) – 2012
4. Герике П.Б., Субботин А.Г. Специфика анализа виброакустических волн, генерируемых при работе щековых дробилок типа СМД // Вестник КузГТУ. 2014. № 6. С. 56–60.
5. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. / Под общ. ред. В.В. Клюева. М.: Машиностроение, 2005. Т. 7: В 2 кн. Кн. 2: Вибродиагностика / Ф.Я. Балицкий [и др.]. 829 с.: ил.
6. Четыркин Е. М. Статистические методы прогнозирования. М.: Статистика, 1977. 200 с.
7. Шпаков П. С., Попов В. Н. Статистическая обработка экспериментальных данных: Учебное пособие. М.: Изд-во Московского государственного горного университета, 2003. 268 с.
8. Сушко А. Е. Разработка специального математического и программного обеспечения для автоматизированной диагностики сложных систем: дисс. ... канд. техн. наук. М.: МИФИ. 2007. 170 с.
9. Герике П. Б. Применение вибродиагностики при проведении экспертизы промышленной безопасности оборудования обогатительных фабрик Кузбасса // Отдельный выпуск Горного информационно-аналитического бюллетеня: Промышленная безопасность и охрана труда. М.: Изд-во «Горная книга». 2012. № 06. С. 21–27.
10. V. Pozhidaeva. Determining the roughness of contact surfaces of the rolling bearings by the method of shock pulses. World Tribology Congress III, September 12-16, 2005, Washington, D.C., USA
11. Skeinik R., Petersen D. Automated fault detection via selective frequency band alarming in PC-based predictive maintenance systems. CSI, Knaxville, TN 37923, USA.
12. Liu G., Parker R. Dynamic Modeling and Analysis of Tooth Profile Modification for Multimesh Gear Vibration. Journal of Mechanical Design. 2008. Vol. 130. Pp 121402/1 - 121402-13. DOI: 10.1115/1.2976803
13. Краковский Ю. М. Математические и программные средства оценки технического состояния оборудования. Новосибирск: Наука, 2006. 227 с.
14. Лукьянов А.В. Классификатор вибродиагностических признаков дефектов роторных машин. Иркутск:

Изд-во ИрГТУ, 1999. 230 с.

15. Клишин В.И., Зворыгин Л.В., Лебедев А.В., Савченко А.В. Проблемы безопасности и новые технологии подземной разработки угольных месторождений. Новосибирск, 2011. 524 с.

REFERENCES

1. Yeshcherkin, P.V. (2012). Razrabotka metodiki diagnostirovaniia i prognozirovaniia tekhnicheskogo sostoiania dizel-gidravlicheskih burovnykh stankov [Development of diagnostics and forecasting methods for technical condition of diesel-hydraulic drilling rigs]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Kemerovo [in Russian].
2. Bently, D.E., & Hatch, C.T. (2002). Fundamentals of rotating Machinery Diagnostics, *Bently Pressurized Press*, 726. [in English].
3. Rudloff, L., Arghir, M., Bonneau, O., Guingo, S., Chemla, G., & Renard, E., (2012). Experimental Analysis of the Dynamic Characteristics of A Hybrid Aerostatic Bearing". *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, v. 134(18) [in English].
4. Gderike, P.B., & Subbotin, A.G. (2014). Spetsifika analiza vibroakusticheskikh voln, generiruiemykh pri rabote shchekovykh drobilok tipa SMD [Analysis specificity of vibroacoustic waves generated during SMD type jaw crushers operation]. *Vestnik KuzGTU – KuzGTU Gerald*, 6, 56-60 [in Russian].
5. Kliuev, V.V. (Eds). (2005). Nerazrushaiushchii kontrol: Spravochnik [Nondestructive testing: Reference book], *Moscow: Mashinostroyeniye. Book 2: Balitsky, F.Ya et al. Vibrodiagnostics* [in Russian].
6. Chetyrkin, Ye.M. (1977). *Statisticheskie metody prognozirovaniia [Forecasting statistic methods]*. Moscow: Statistika [in Russian].
7. Shpakov, P.S., & Popov, V.N. (2003). *Statisticheskaya obrabotka eksperimentalnykh dannykh: Uchebnoye posobie [Statistical processing of experimental data: Textbook]*. Moscow: Moscow State Mining University Publishing House [in Russian].
8. Sushko, A.Ye. (2007). Razrabotka spetsialnogo matematicheskogo i programmnoho obespecheniia dlia avtomatizirovannoi diagnostiki slozhnykh system [Development of special mathematical and programming software for automated diagnostics of complex systems]. *Candidate's thesis*. Moscow [in Russian].
9. Gerike, P.B. (2012). Primeneniye vibrodiagnostiki pri provedenii ekspertizy promyshlennoi bezopasnosti oborudovaniia obogatitelnykh fabric Kuzbassa [The use of vibrodiagnostics in industrial safety examination of Kuzbass coal washing plant equipment]. *Otdelnyy vypusk Gornogo informacionno-analiticheskogo byulletenya: Promyshlennaya bezopasnost i okhrana truda – Special issue of Mining informational analytical bulletin: Industrial safety and labor protection*. Moscow: Gornaia kniga [in Russian].
10. Pozhidaeva, V. (2005). Determining the roughness of contact surfaces of the rolling bearings by the method of shock pulses. *World Tribology Congress III, September 12-16, 2005, Washington, D.C., USA* [in English].
11. Skeinik, R., & Petersen, D. *Automated fault detection via selective frequency band alarming in PC-based predictive maintenance systems*. CSI, Knaxville, TN 37923, USA
12. Liu, G., & Parker, R. (2008). Dynamic Modeling and Analysis of Tooth Profile Modification for Multimesh Gear Vibration. *Journal of Mechanical Design*. 2008. V. 130. Pp 121402/1 - 121402-13. DOI: 10.1115/1.2976803
13. Krakovsky, Yu.M. (2006). *Matematicheskie i programmnye sredstva otsenki tekhnicheskogo sostoiania oborudovaniia [Mathematical and software methods of equipment condition evaluation]*. Novosibirsk: Nauka [in Russian].
14. Lukianov, A.V. (1999). *Klassifikator vibrodiagnosticheskikh priznakov defekrov rotornykh mashin [Classifier of rotary machine defects vibrodiagnostic features]*. Irkutsk: IrGTU [in Russian].
15. Klishin, V.I., Zvorygin, L.V., Lebedev, A.V., & Savchenko, A.V. (2011). *Problemy bezopasnosti i novyye tekhnologii podzemnoi razrabotki ugolnykh mestorozhdenii [Safety problems and new techniques of underground coal mining]*. Novosibirsk [in Russian].

indsafe.ru

GaSos
СТАЦИОНАРНЫЙ ГАЗОАНАЛИЗАТОР КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ АТМОСФЕРЫ

на правах рекламы

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ГРУЗА НА ПОДВЕСНОМ МОНОРЕЛЬСОВОМ ТРАНСПОРТЕ НА РАБОТУ РОЛИКООПОР И ИХ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ В МОНОРЕЛЬСОВЫХ КАРЕТКАХ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕРЦЕВСКОГО ДАВЛЕНИЯ

INFLUENCE OF MONORAIL TRANSPORT CARGO MOVING METHOD ON THE WORK OF MONORAIL SUSPENSIONS AND THEIR ROLLER BEARINGS IN MONORAIL CARRIAGES. DETERMINATION OF HERTZIAN PRESSURE



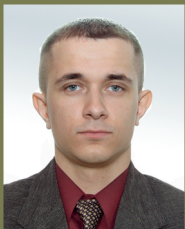
В. М. Тарасов
indsafety@yandex.ru,
rivalsit@yandex.ru



Г. Д. Буялич
gdb@kuzstu.ru



Д. В. Тарасов



А. Е. Ефлов
indsafety@yandex.ru,
rivalsit@yandex.ru



Н. И. Тарасова
indsafety@yandex.ru,
rivalsit@yandex.ru

В. М. Тарасов – соискатель Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева (КузГТУ), 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, генеральный директор ООО «РивальСИТ», 650023, г. Кемерово, Московский проспект, 17, 184, член НП ТП ТПИ

Г. Д. Буялич – доктор технических наук, профессор Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева (КузГТУ), 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, ведущий научный сотрудник ФГБНУ «ФИЦ УУХ СО РАН», 650065, г. Кемерово, Ленинградский проспект, 10

Д. В. Тарасов – студент Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева (КузГТУ), 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, специалист ОТиПБ ООО «ИКЦ «Промышленная безопасность», 650023, г. Кемерово, Московский проспект, 17, 184

А. Е. Ефлов – инженер по строительству автодорог, юрист ООО «РивальСИТ», 650023, г. Кемерово, Московский проспект, 17, 184

Н. И. Тарасова – соискатель Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева (КузГТУ), генеральный директор ООО «ИКЦ «Промышленная безопасность», 650023, г. Кемерово, Московский проспект, 17, 184

V. M. Tarasov - a competitor of the Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev (KuzGTU), 28, ul. Spring, Kemerovo, 650000, Russia. General Director of "RivalCIT" LLC, 184, 17, Moskovskij Avenue, Kemerovo, 650023, Russia. A member of the TP TPI

G. D. Buyalich - Doctor of Technical Sciences, Professor of Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev (KuzGTU), 28, ul. Spring, Kemerovo, 650000, Russia. Leading Researcher of the FGBNU "FIC UUH SB RAS", 10, Leningradsky Prospekt, Kemerovo, 650065, Russia

D. V. Tarasov - student of the Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev (KuzGTU), 28, ul. Spring, Kemerovo, 650000, Russia. Specialist of OTiPB LLC "ICC" Industrial Safety", 184, 17, Moskovskij Avenue, Kemerovo, 650023

A. E. Eflor - road construction engineer, lawyer, "RivalCIT" LLC, 184, 17, Moskovskij Avenue, Kemerovo, 650023, Russia

N. I. Tarasova - competitor of the Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev (KuzGTU), 28, ul. Spring, Kemerovo, 650000, Russia. General Director of LLC "ICC" Industrial Safety", 184, 17, Moskovskij Avenue, Kemerovo, 650023, Russia

Рассматривается вопрос влияния центра тяжести груза и его модулей с положительным и отрицательным значениями внешних сил на работу роликоопор и их подшипников качения в монорельсовых каретках, поступательное динамическое плоскопараллельное движение качения роликоопор и их подшипников качения в монорельсовых каретках. Работу подшипников можно представить как качение шарика по плоской поверхности, построение схем воздействия внешних и внутренних сил на шарик и плоскость на движение качения. Доказывается отсутствие внешних сил воздействия на шарик с положительным значением, где отрицательное значение внешних сил определяется присутствием полого шарика без внутреннего положительного герцевского давления в действующей схеме перемещения груза на подвесном монорельсовом транспорте и присутствует отрицательное герцевское давление, что приводит к колоссальному износу подшипников, максимальных касательных напряжений со знаком «минус» по критерию Данг Ванна по оси Z и стремлению к минимальному значению, к нулю по осям ХУ основной плоскости, где происходит движение волочение и отсутствует движение качения, присутствие процессов разрушения подшипников вспахивания основной плоскости, на которой находится шарик, нерациональные эксплуатационные затраты, а в предлагаемом инновационном способе наличие внутреннего герцевского давления и пятна контакта давлений шарика, присутствие движение качения и влияние центра тяжести груза и его модулей на работу подшипников. Данный способ более эффективен и безопасен для

ведения работ. Анализируется новый способ строповки и перемещения груза в горных выработках на сравнительной базе действующей схемы перемещения груза в строгом соответствии с общими законами механики, где силы формируются таким образом, что качение происходит, и шарики опорных подшипников на осях работают в качестве опоры, благодаря включению в работу двух модулей груза и влияние способа подъема перемещения груза на подвесном монорельсовом транспорте.

The question of cargo gravity center and its modules with positive and negative values of external forces influence on the operation of roller carriages and their rolling bearings in monorail carriages is considered, and the dynamic, plane-parallel motion of roller carriages and their rolling bearings in monorail carriages. The work of bearings can be represented as a ball rolling on a flat surface, constructing schemes for the impact of external and internal forces on the ball and the plane on the rolling motion. It is proved that there is no external forces acting on the ball with a positive value, where the negative value of the external forces is determined by the presence of a hollow ball without an internal positive Hertzian pressure in the current scheme of cargo movement on the suspended monorail transport and there is a negative Hertzian pressure, which results in colossal wear of the bearings, with a "minus" sign according to the Dang Vann criterion along the Z axis and tendency to the minimum value, to zero along the XY axes of the main plane. There is a movement of drawing and there is no rolling motion, there are processes of destruction of bearings and plowing of the main plane on which the ball is located, irrational operating costs.

In the proposed innovative method, there is the presence of internal Hertzian pressure and the ball contact pressure points, the presence of rolling motion and the effect of the load gravity center and its modules on the bearings operation. This method is more efficient and safe for work. A new way of slinging and moving cargo in the mine workings is analyzed on the comparative basis of the current scheme of cargo movement in strict accordance with the general laws of mechanics, where the forces are formed in such a way that the rolling takes place, and the support bearing balls on the axles work as a support due to two cargo modules included in operation and the cargo lifting and movement method influence at the suspended monorail transport.

Ключевые слова: СТРОПОВКА И ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ГРУЗА, ПЛОСКОПАРАЛЛЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ КАЧЕНИЕ, РОЛИКООПОРЫ, ПОДШИПНИКИ В МОНОРЕЛЬСОВЫХ КАРЕТКАХ, ШАРИК, ОСНОВНАЯ ПЛОСКОСТЬ, ЦЕНТР ТЯЖЕСТИ ГРУЗА, МОДУЛИ ГРУЗА, ГЕРЦЕВСКОЕ ДАВЛЕНИЕ, ГОРНАЯ ВЫРАБОТКА, ГИДРОПОДЪЕМНИК, ЭФФЕКТИВНОСТЬ, БЕЗОПАСНОСТЬ

Key words: CARGO SLINGING AND MOVEMENT, PLANE-PARALLEL ROLLING MOVEMENT, ROLL CARRIAGES, BEARINGS IN MONORAIL CARRIAGES, BALLS, MAIN PLANE, CARGO GRAVITY CENTER, CARGO MODULES, HERTZIAN PRESSURE, MINE OPENING, HYDRAULIC HOIST, EFFICIENCY, SAFETY

Рассматривая работу подшипника качения по основной поверхности, ее можно представить как качение шара по поверхности, в этой паре можно рассчитать герцевское давление, необходимое для определения несущей способности подшипника.

Перейдем к рассмотрению вопроса, схе-

матично распределим силы, воздействующие и влияющие на шарик и плоскость. В таблице 1 покажем величины и единицы измерения, необходимые при расчете сопротивления, напряжение и герцевское давление.

Определим состояние напряжения при герцевском контакте. Точечный контакт шарик-

Таблица 1. Величины и единицы измерения при расчете сопротивления

Величина	Единица измерения	Наименование	Примечание
A	$мм^2$	Площадь поперечного сечения	—
F	H	Сила, нагрузка	—
E	$H/мм^2$	Модуль упругости	$E = 210\ 000$ (сталь)
G	$H/мм^2$	Модуль сдвига	$G = 83\ 000$ (сталь)
H	$м^3$	Момент площади сечения	$H_y = \int z \cdot \delta A$
I_a	$мм^4$	Осевой момент инерции площади	$I_y = \int z^2 \cdot \delta A$
I_p	$мм^4$	Полярный момент инерции площади	$I_p = \int r^2 \cdot \delta A$
l, a	$мм$	Длина, плечо силы	
M_b	$H \cdot мм$	Момент изгиба	$M_b = Fl$ (общ.)
M_t	$H \cdot мм$	Момент вращения, момент кручения	$M_t = Fl$ (общ.)
w, f	$мм$	Деформация, прогиб	—
φ	$рад$	Угол вращения, угол кручения	—

Величина	Единица измерения	Наименование	Примечание
W_a	мм ³	Осевой момент сопротивления	$W_a = I_d / e_{max}$
W_p	мм ³	Полярный момент сопротивления	$W_p = I_p / R$ (кпуэ)
σ	Н/мм ²	Расчетное напряжение	$\sigma = E\varepsilon$ (Гук)
T	Н/мм ²	Напряжение сдвига	$T = G\gamma$ (Гук)
ε	—	Напряжение скручивания	$\varepsilon = \sigma/E = \Delta l/l_0$
ε_B	%	Предельное растяжение	—
γ	рад	Упругое скольжение	$\gamma = T/G$
R_e	Н/мм ²	Предел удлинения, предел текучести материалов	См. таблицу материалов
$R_{p0.2}$	Н/мм ²	0,2 предел растяжения	
R_m	Н/мм ²	Предел прочности при растяжении	
σ_w	Н/мм ²	Предел прочности при знакопеременных циклах	См. график длительной прочности (График Смита)
σ_{Sch}	Н/мм ²	Предел прочности при знакопостоянной периодической нагрузке	
σ_A	Н/мм ²	Прочность при амплитуде предельного цикла	
σ_p	Н/мм ²	Длительная прочность	
α_k	—	Статическая нагрузка	Статическая нагрузка
β_k	—	Коэффициент эффективности надреза	Динамическая нагрузка
S	—	Коэффициент запаса прочности	—

Таблица 2. Расчетные формулы для основной герцевской контактной пары шар/плоскость

Наименование	Формулы
Герцевское давление (общая формула)	
Комбинация тел тело 1/тело 2	Рис. 1
Полуоси эллиптических контактных поверхностей	$a = b = \sqrt[3]{\frac{6F(1-\nu^2)d_1}{4E}}$
Максимальное герцевское давление	$P_{max} = \sqrt[2]{\frac{6FE^2}{\pi^3(1-\nu^2)^2 d_1^2}}$
Сближение обоих тел	$\delta = \sqrt[3]{\frac{9F(1-\nu^2)^2}{2E^2 d_1}}$
Герцевское давление, P_{max} , (Н/мм ²) для	$P_{max} = 2716 \sqrt[3]{\frac{F}{d_1^2}}$



Рисунок 1 - Комбинация тел, тело 1/тело 2 (шарик и плоскость)
 Figure 1 - Combination of bodies, body 1 / body 2 (ball and plane)

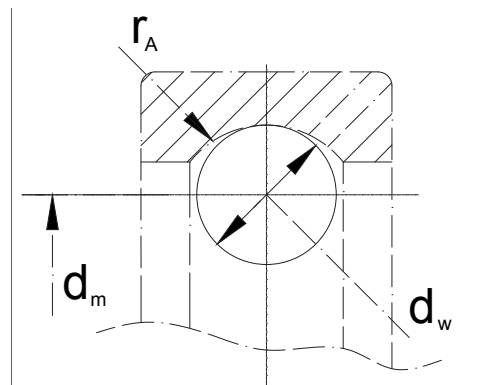


Рисунок 2 - Радиальный шарикоподшипник шарик — наружное кольцо
 Figure 2 - Radial ball bearing ball - outer ring

Таблица 3. Вспомогательные показатели для расчета герцевского давления в подшипниках качения, в радиальном шарикоподшипнике

	Наименование	Формулы
Рис.2	Радиальный шарикоподшипник шарик — наружное кольцо $\gamma = d_w / d_m$ $S = d_m / 2r_A$ $r_A \leq 0,53d_w$	$\sum k = \frac{2}{d_w} \left[\frac{2 - S + \gamma(1 - S)}{1 + \gamma} \right]$ $\text{cost} = \frac{S - \gamma(1 - S)}{2 - S + \gamma(1 - S)}$
Рис.3	Радиальный шарикоподшипник шарик — внутреннее кольцо $\gamma = d_w / d_m$ $S = d_m / 2r_I$ $r_A \leq 0,52d_w$	$\sum k = \frac{2}{d_w} \left[\frac{2 - S - \gamma(1 - S)}{1 - \gamma} \right]$ $\text{cost} = \frac{S + \gamma(1 - S)}{2 - S - \gamma(1 - S)}$

Таблица 4. Состояние напряжения при герцевском контакте, точечный контакт: шарик – плоскость

Наименование	Формулы
Точечный контакт: шарик плоскость Рис. 4	Радиус опорной поверхности: $a = \sqrt[3]{\frac{3F(1-\nu^2)d}{4E}};$ $\frac{ \sigma_z }{P_{\max}}, \frac{ \sigma_r }{P_{\max}}, \frac{ \tau }{P_{\max}}.$
	Состояние напряжения (для $r = 0$): $\frac{\sigma_z}{P_{\max}} = -\frac{1}{\left(\frac{z}{a}\right)^2 + 1};$ $\frac{\sigma_r}{P_{\max}} = -(1+\nu) \left[1 - \frac{z}{a} \operatorname{arctg}\left(\frac{a}{z}\right) \right] + \frac{1}{2 \left[\left(\frac{z}{a}\right)^2 + 1 \right]};$ $\frac{\tau}{P_{\max}} = -\frac{4}{3} \frac{1}{\left(\frac{z}{a}\right)^2 + 1} + \frac{1+\nu}{2} \left[1 + \frac{z}{a} \operatorname{arctg}\left(\frac{z}{a}\right) \right].$

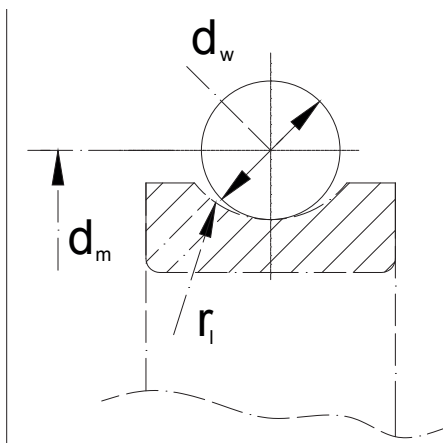


Рисунок 3 - Радиальный шарикоподшипник шарик — внутреннее кольцо
Figure 3 - Radial ball bearing ball - inner ring

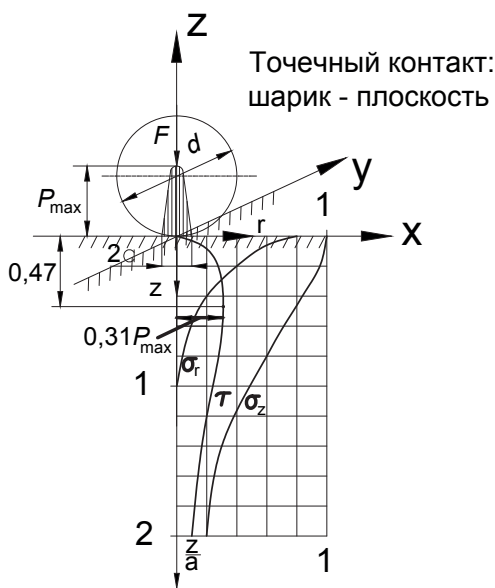


Рисунок 4 - Точечный контакт: шарик-плоскость
Figure 4 - Spot contact: ball-plane

плоскость.

Все расчетные формулы приведены при правильном расположении и воздействии силы F на шарик, выше центра катящегося шарика и основной плоскости, по которой катится шарик, наличием опоры с давлением P_{max} от поверхности до точки воздействия сил внутри шарика.

Рассмотрим работу подшипника при действующем способе (рис. 5а) перемещения груза в горной выработке на подвесном монорельсовом транспорте с помощью двух гидродоъемников и одной единицы груза, транспортируемой дизель – гидравлическим локомотивом [2, 3].

По причине отсутствия основной положительной со знаком «плюс» силы нагрузки F - тяжести по вертикальной оси Z , которая должна воздействовать на точку, лежащую выше центра шара и самой плоскости системы координат XU . Отсутствует опора во внутренней части шари-

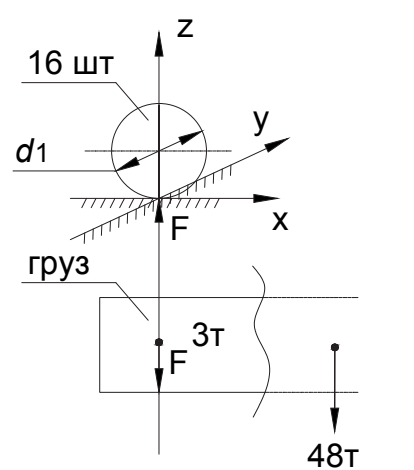


Рисунок 5а - Распределение силовой составляющей от реакции основной плоскости самого груза с отрицательным значением
Figure 5а - Distribution of the power component from the reaction of the main plane and the load itself with a negative value

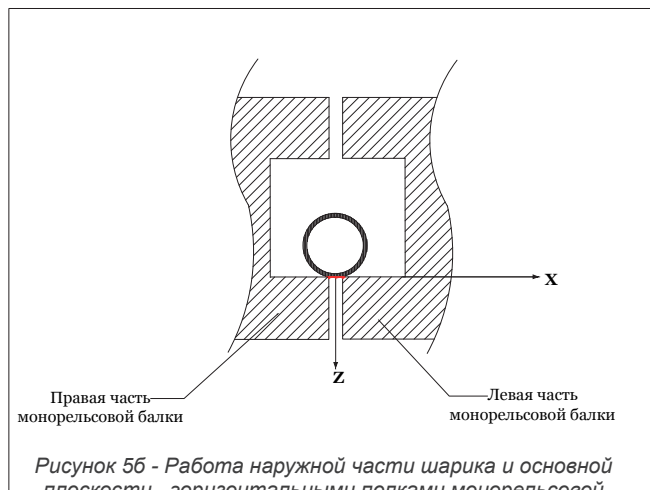


Рисунок 5б - Работа наружной части шарика и основной плоскости — горизонтальными полками монорельсовой балки
Figure 5b - Operation of the outer part of the ball and the main plane - the horizontal shelves of the monorail beam

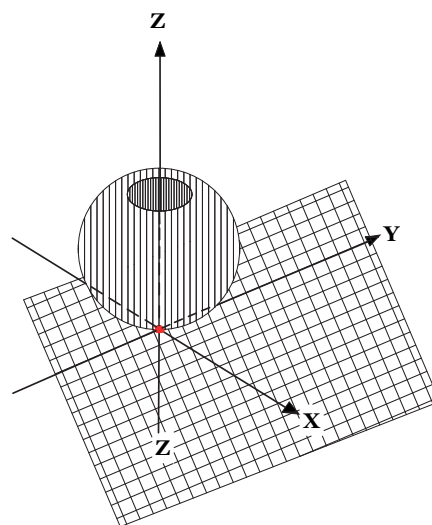


Рисунок 5в - Распределение контактных давлений при нагрузке $H = -1,102 \text{ N/MM}^2$
Figure 5c - Distribution of contact pressures at a load of $H = -1.102 \text{ N/MM}^2$

ка с давлением P_{max} , от поверхности до точки воздействия сила F тяжести также отсутствует. А сила нагрузки F тяжести по вертикальной оси Z приложена с отрицательным значением ниже самой основной плоскости в точку O контактного пятна (рис. 5б). На основную плоскость и наружную сферическую поверхность шарика приходится одна клетка, гидростатическое давление имеет наибольшее значение в точке, расположенной на поверхности контакта при $Y = 0, X = 0$ (рис. 5в). Закон его изменения в зависимости от координаты основной плоскости тела XU . И в эту точку сферы приложена сила нагрузки F реакции основной плоскости по вертикальной оси Z вверх, а также подвеса массы тела вниз, ниже основной плоскости.

Показав все силы на схеме, видим следующую картину, что шарик находится на плоскости в нижней части его сферы, снаружи закреплен и подвешен груз (на нитке, стропе, канате), пропущенный через (щель, прорезь) в основной плоскости [4]. Мысленно разрежем монорельсовую балку по вертикальной полки и оси, левую часть балки оставим на месте, а правую перенесем в левую часть рисунка для наглядности показа (рис. 5б). Из чего следует, что при такой раскладке нагружаемых сил качение шарика по основной поверхности невозможно, соответственно, и герцевское давление, и состояние напряжения при герцевских контактах, где расчетные данные равны отрицательному значению, как будто это полый шарик. По этой причине шарики подшипников колются как орехи. В статье по модернизации гидроподъемников УПГЮ [5] рассмотрен вопрос подъема максимального груза 48 т действующем способом перемещения груза двумя гидроподъемниками одну единицу груза. Просчитаем количество задействованных роликоопор и подшипников. В статье «Повышение эффективности работы подвесного монорельсового транспорта за счет рационального размещения груза» [3] в действующем способе перемещения груза двумя гидроподъемниками имеются четыре монорельсовых каретки, каждая из которых имеет четыре роликоопоры, в которых находится подшипник $4 \cdot 4 = 16$ штук, соответственно на каждый подшипник $48:16 = 3\text{ т}$ (с отрицательным знаком «-»), в которых отсутствует качение. Покажем на рисунке 5а подвешенный трехтонный груз на шарике, где качение шарика произвести невозможно. $P_{max}; F = -3\text{ тс}$, $d_1 = 20\text{ мм}$, $P = -1101577,639$, $H = -1,102\text{ Н/мм}^2$

Что еще раз подтверждает дополнительно к статье [3], в которой доказано, что качение в роликоопорах отсутствует. На шахтах, где экс-

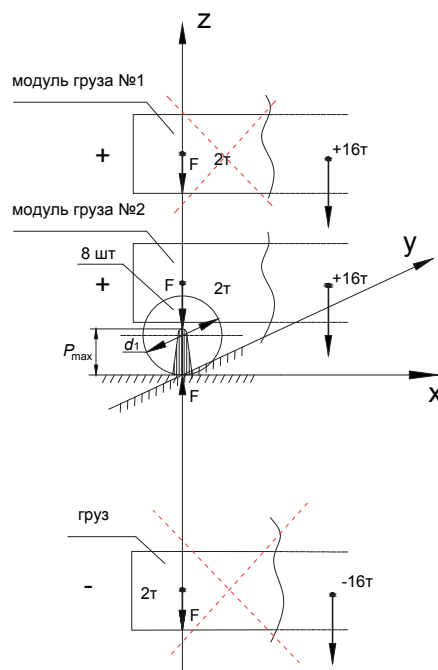


Рисунок 6а - Распределение силовой составляющей от реакции основной плоскости и модулей, и самого груза
Figure 6a - Distribution of the power component from the response of the main plane and modules, and the cargo itself

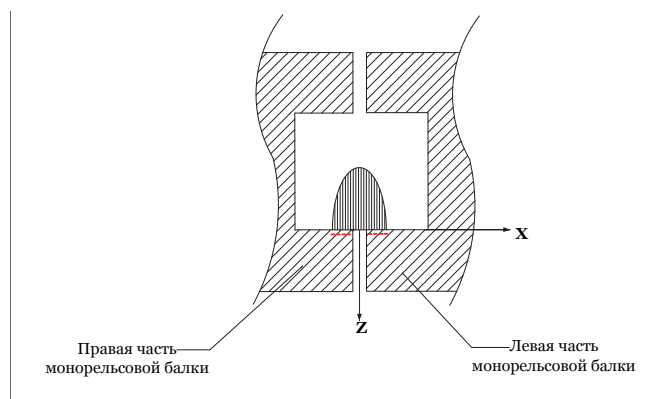


Рисунок 6б - Работа внутренней части шарика и основной плоскости – горизонтальными полками монорельсовой балки
Figure 6b - Work of the inner part of the ball and the main plane - the horizontal shelves of the monorail beam

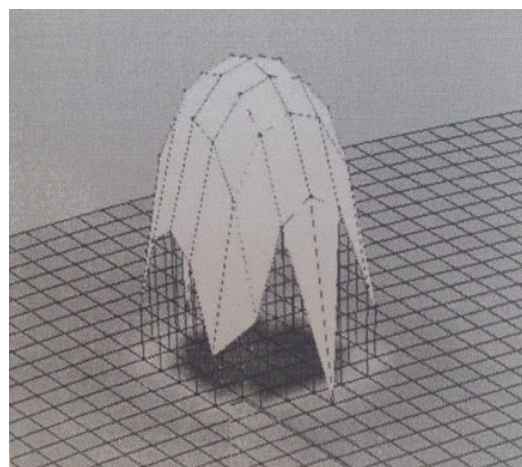


Рисунок 6в - Распределение контактных давлений при нагрузке $H = 962\text{ Н/мм}^2$
Figure 6c - Distribution of contact pressures at a load of $H = 962\text{ Н/мм}^2$

платируется этот вид транспорта, роликоопоры с подшипниками и валами стали расходным материалом. Это нонсенс!

Перейдем к рассмотрению этого вопроса при новом способе строповки и перемещения груза по горным выработкам в соответствии патента на изобретение РФ №2333880 [6]. Согласно этой технологии груз по подвесному монорельсовому транспорту транспортируется следующим способом: один гидроподъемник поднимает одну единицу груза. Определим количество роликоопор, две монорельсовых каретки на одном гидроподъемнике, а каждая каретка имеет четыре роликоопоры, соответственно $4 \cdot 2 = 8$ штук роликоопор. В предыдущей статье [3] мы описали, что по этому способу (технологии) груз поднят и зафиксирован в пространстве, где вся силовая составляющая приходит в одну точку [6, 12].

При построении плана мгновенных скоростей и благодаря правилу Жуковского – правило параллелограмма [4] – груз, поднятый и зафиксированный в пространстве, раскладывается дополнительно еще на два модуля груза: груз -1 и 2 модуля груза - это будет 3 единицы. Тогда масса груза распределится следующим образом: $48m : 3 \text{ед.} = 16m$. Система векторов определяет их место положения относительно основной плоскости в трехмерной системе координат XYZ . Покажем, как в этом способе все силы F нагрузки и реакции основной плоскости воздействуют на шарик, расположенный сверху основной плоскости.

Опишем Рис.6а [1]. Мы видим, что груз распределится в трехмерной системе координат XYZ следующим образом: два модуля груза под №1, №2 с положительным знаком на оси Z по «+» $16m$ каждый, выше основной плоскости с значениями координат XY и модуль груза под №2, а также его центр тяжести выше центра шарика, лежащего на основной плоскости. И на оси Z ниже основной плоскости с значениями координат XY расположен сам груз с отрицательным знаком «-» $16m$. При работе и взаимодействии двух грузов с положительным и отрицательным значениями образуют ноль. Приведенные к нулю модуль и груз, располагающийся на равном расстоянии от основной плоскости XY , перечеркнем их красными пунктирными линиями. Соответственно, в работе остается модуль груза под №2 с положительным знаком на оси Z «+» $16m$ выше основной плоскости с осями координат XY . Его центр тяжести выше центра шарика, лежащего на основной плоскости. Можно сказать, что модуль груза №2 располагается сверху монорель-

совых кареток, а каретки находятся под ним, в его нижней части. Следует, что модуль груза находится на каретках (как фигурист на коньках по льду или на роликах по асфальту).

На восемь роликоопор и их подшипников приходится $16m$ приведенного груза. При максимальном подъеме груза с весом в $48m$ на один подшипник сила нагрузки тяжести F приходится $16:8=2m$, в которых происходит движение качение. В статье [5] по модернизации гидроподъемников один гидроподъемник в движении будет находиться на двух монорельсовых балках, которые закреплены в кровлю выработки на шести анкерах, максимально несущая способность каждого анкера $16m$. Отсюда следует, что предлагаемая технология в шесть раз уменьшает нагрузку на анкерную подвесную систему. Запас прочности предлагаемой технологии позволяет работать с максимальным поднятым и зафиксированным в пространстве грузом $48m$, а не идти на поводу у зарубежных компаний и их разработанных технологий для Российской Федерации и уменьшать несущую способность анкера с $16m$ до $8m$.

Только благодаря новому прогрессивному и высокоэффективному способу строповки и перемещения груза в горных выработках подвесным монорельсовым транспортом [6, 7], вся силовая составляющая по взаимодействию двух тел шарика и плоскости позволяет сказать, что вся система поставлена с головы на ноги. И взаимодействие шарика и плоскости, где шарик находится под ногами – грузом, и роликоопоры исполняют правильную функцию опоры, а не подвеса. Это позволяет произвести расчет герцевского давления в подшипниках и состояние напряжения самого пятна при герцевских контактах (рис. 6в). Наличие основной положительной со знаком плюс силы нагрузки F тяжести модуля груза №2 по вертикальной оси Z воздействует на точку, лежащую выше центра шара и самой плоскости системы координат XY [8]. Присутствует опора во внутренней части шарика (рис. 6а, рис. 6б, рис. 6в) с давлением P_{max} ; $F = 2mc$, $d_1 = 20mm$, $P = 962316,7056$, $H = 0,962 \text{ Н/мм}^2$ от поверхности до точки воздействия на нее сил также тела (модуля груза №2) присутствуют. Из этого следует, что в подшипнике расчеты приведены к цельному стальному шарикю с внутренним давлением P_{max} и опорой на сорок клеток, их можно сосчитать на рисунке 6в [8].

Таким образом, предлагаемый способ подъема и перемещения груза в горных выработках на подвесном монорельсовом транспорте фундаментально меняет работу в положитель-

ную сторону и кардинально включает в работу подшипники качения в роlikоопорах на монорельсовых каретках, на которые приведен модуль груза №2 со знаком плюс, где происходит качение [10,11]. Необходимо провести модернизацию подвешенного монорельсового транспорта в шахтах Кузбасса и в целом по России.

На данном этапе развития производства и экономики России президент и правительство РФ ставят задачу о повышении производительности труда, снижении себестоимости и эффективности производства с наименьшими

затратами [9,13]. Включая новый способ строповки груза в горных выработках на модернизацию подвешенного монорельсового транспорта согласно правилам стропального дела и законов теории [12,14], позволит увеличить производительность труда в два раза, на 200 %. При минимальных затратах на модернизацию и сохранения, экономии значительных финансовых средств на ремонт и обслуживание дорогостоящего оборудования многократно сократить аварийность и травматизм на этом виде транспорта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Артемьев В.А., Добровольский А.И., Заньков А.П., Килин А.Б., Федоров А.В., Ясюченя С.В. Справочник механика угольной шахты. Пер. с нем. Д. В. Шевелева. М.: Изд-во «Горное дело» ООО Киммерийский центр», 2013. 352с., табл., ил. (Библиотека горного инженера. Т.3 «Подземные горные работы».Кн. 8). С 211-240.
2. Тарасов В. М. Технология работы дизель-гидравлических локомотивов и навесного оборудования в горных выработках // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2010. №2. С. 155–165.
3. Тарасов В. М., Буялич Г. Д., Ефлов А. Е., Тарасов Д. В., Тарасова Н. И. Повышение эффективности работы монорельсового транспорта за счет рационального размещения груза // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2016. №4. С. 89–101.
4. Клебанов Я. М., Черняховская Л. Б., Шабанов Л. А. Плоскопараллельное движение твердого тела. Самара, 2008. 26. С. 1–10.
5. Модернизация гидроподъемников на подвешенном монорельсовом транспорте / В. М. Тарасов [и др.] // Биржа интеллектуальной собственности. 2015. № 5. С. 57–4.
6. Тарасов В. М., Тарасова А. В., Тарасов Д. В. Пат. 2333880 РФ. МПК В66С 1/12 (2006.01). Способ строповки грузов в горной выработке. Патентообладатель Тарасов В. М. №2007130250/11; заявл. 07.08.2007; опубл. 20.09.2008, бюллетень № 26. 10 с.
7. Тарасов В. М., Тарасова А. В., Тарасов Д. В. Тарасова Н. И. Пат. 2480396 РФ. МПК В66С 1/12 (2006.01). Монтажно-демонтажный способ строповки и транспортировки лавного конвейера в горной выработке. Патентообладатели Тарасов В. М., Общество с ограниченной ответственностью «Ривальс Современные Инновационные Технологии» (ООО «РивальСИТ»). № 2011148728/11; заявл. 29.11.2011; опубл.27.04.2013, бюллетень № 12. 10 с.
8. Сакало А. В. Контактно-усталостная прочность колесной стали.// Вестник БГТУ. 2011. № 2. С. 35-41.
9. Трубицына Н. В., Ярош А. С. Импортозамещение // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2014. № 2. С. 6–14.
10. Тарасов В. М. Совершенствование технологии работы дизель-гидравлических локомотивов и навесного оборудования в горных выработках при внедрении инновационного способа строповки и перемещения груза // Безопасность труда в промышленности. 2009. № 8. С. 21–26.
11. Тарасов В. М., Тарасова Н. И., Тарасов Д. В. Об экономии финансовых средств и эффективности работ в процессе перемещения груза в шахте путем внедрения инновационных технологий на монорельсовом транспорте // Уголь. 2013. № 11. С. 16–9.
12. Хямяляйнен В. А., Гордиенко Р. Ф., Ведяшкина Н. А. Теоретическая механика: Учеб. пособие для вузов. Кемерово: КузГТУ, 2001. С. 30-32.
13. Тарасов В. М., Буялич Г.Д., Тарасова Н. И. Повышение эффективности работ на монорельсовом транспорте // Горный инженер. 2013. № 1. С.202–207.
14. Оберман Я. И. Стропальное дело. М.: Металлургия, 1985. 208. С. 192–196.

REFERENCES

1. Artemiev, V.A., Dobrovolski, A.I., Zankov, A.P., Kilin, A.B., Fedorov, A.V., & Yasiuchenia, S.V. (2013). *Spravochnik mekhanika ugolnoi Shakhty [Coal mine mechanical engineer reference book]*. Moscow: Gornoe delo [in Russian].
2. Tarasov, V.M. (2010). *Tekhnologia raboty dizel-gidravlicheskich lokomotivov i navesnogo oborudovaniia v gornykh vyrabotkakh [Technology of diesel-hydraulic locomotives and the rigging operation in mine workings]*. *Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugolnoi promyshlennosti – Gerald of Coal Mining Safety Scientific Center*, 2, 155-165 [in Russian].
3. Tarasov, V.M., Buialich, G.D., Yeflov, A.Ye., Tarasov, V.D., & Tarasova, N.I. (2016). *Povysheniie effektivnosti raboty monorelsovogo transporta za schet ratsionalnogo razmeshcheniia gruzha [Monorail transport efficiency increase due to rational cargo displacement]*. *Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugolnoi promyshlennosti – Gerald of Coal Mining Safety Scientific Center*, 4, 89-101 [in Russian].
4. Klebanov, Ya.M., Cherniakhovskaia, L.B., & Shabanov, L.A. (2008). *Ploskoparallellnoie dvizheniie tverdogo tela [Plane-parallel movement of a solid body]*. Samara [in Russian].
5. Tarasov, V.M. et al. (2015). *Modernizatsiia gidropodemnikov na podvesnom monorelsovom transporte*

- [Modernization of hydraulic hoists on suspended monorail transport]. *Birzha intelektualnoi sobstvennosti - Exchange of intellectual property*, 5, 4-57. [in Russian].
6. Tarasov, V.M., Tarasova, A.V., & Tarasov, D.V. (2008). Sposob stropovki грузов v gornoi vyrabotke [Method of slinging loads in the mine workings]. *Pat. 2333880 RF. MPK V66C 1/12. Published 20.09.2008, bulletin No. 26* [in Russian].
 7. Tarasov, V.M., Tarasova, A.V., Tarasov, D.V., & Tarasova, N.I. (2013). Montazhno-demontazhny sposob stropovki i transportirovki lavnogo konveiera v gornoi vyrabotke [Mounting and dismantling method of slinging and transporting the longwall conveyor in the mine workings]. *Pat. 2480396 RF. MPK V66C 1/12. Published 27.04.2013, bulletin No.12* [in Russian].
 8. Sakalo, A.V. (2011). Kontaktno-ustalostnaia prochnost kolesnoi stali [Contact fatigue strength of wheel steel]. *Vestnik BGTU – BGTU Gerald*, 2, 35-41 [in Russian].
 9. Trubitsyna, N.V., & Yarosh, A.S. (2014). Importozameshcheniie [Import substitution]. *Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugolnoi promyshlennosti – Gerald of Coal Mining Safety Scientific Center*, 2, 6-14 [in Russian].
 10. Tarasov, V.M. (2009). Sovershenstvovanie tekhnologii raboty dizel-gidravlicheskih lokomotivov i navesnogo oborudovaniya v gornykh vyrabotkakh pri vnedrenii innovatsionnogo sposoba stropovki i peremeshcheniya gruzha [Technology improvement of diesel-hydraulic locomotives and rigging operation in mine openings with the introduction of an innovative method of cargo slinging and moving]. *Bezopasnost truda v promyshlennosti – Industrial labor safety*, 8, 21-26 [in Russian].
 11. Tarasov, V.M., Tarasova, N.I., & Tarasov, D.V. (2013). Ob ekonomii finansovykh sredstv i effektivnosti rabot v processe peremeshcheniya gruzha v shakhte putem vnedreniya innovatsionnykh tekhnologiy na monorelsovom transporte [On saving financial resources and efficiency of work in the process of moving cargo in a mine by introducing innovative technologies on monorail transport]. *Ugol – Coal*, 11, 16-9 [in Russian].
 12. Khiamialainen, V.A., Gordienko, R.F., & Vediashkina, N.A. (2001). *Teoreticheskaiia mekhanika [Theoretical Mechanics] Text book for high school*. Kemerovo:KuzGTU [in Russian].
 13. Tarasov, V.M., Buialich, G.D., & Tarasova, N.I. (2013). Povysheniie effektivnosti rabot na monorelsovom transporte [Increase of work efficiency on monorail transport]. *Gorny inzhener – Mining Engineer*, 1, 202-207 [in Russian].
 14. Oberman, Ya.I. (1985). *Stropalnoie delo [Slinging]*. Moscow: Metallurgia [in Russian].



ИЗСТ-01

ИЗМЕРИТЕЛЬ ЗАПЫЛЕННОСТИ СТАЦИОНАРНЫЙ

indsafe.ru

на правах рекламы

УДК 622.647.2

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ, КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

BELT CONVEYOR SPEED CONTROL AUTOMATED SYSTEM AS THE MEAN OF ITS OPERATIONAL SAFETY INCREASE

А. И. Герусов – горный инженер, 654000, Новокузнецк, Россия

С. В. Бычков – горный инженер-сейсмолог, BCV6B3N0, Ванкувер, Канада

A. I. Gerusov – mining engineer, 654000, Novokuznetsk, Russia

S. V. Bychkov – mining engineer – seismologist, Vancouver, BCV6B3N0, Canada



А.И. Герусов
ager28@rambler.ru



С.В. Бычков
serguei58@rambler.ru

В статье описан способ повышения безопасности при эксплуатации шахтных ленточных конвейеров, на которых часто происходят возгорания вследствие высокой скорости движения ленточного полотна и высокой скорости вращения роликов, а также порывы лент из-за высоких динамических нагрузок, возникающих и при пуске груженных конвейеров и их торможении. Как правило, подобные аварии приводят к большим финансовым потерям, а иногда и к человеческим жертвам. Описанная автоматизированная система регулирования скорости ленточного конвейера позволяет изменять скорость движения конвейера в зависимости от его производительности, тем самым значительно уменьшать время работы конвейера на высокой (номинальной) скорости, снижая риск возгорания ленты при трении. Одновременно с применением системы устраняются высокие нагрузки, как механические на элементы конвейера, так и электрические на электродвигатель и кабельные сети. Снижение среднесуточной скорости ленточного конвейера не только повышает уровень безопасности при эксплуатации конвейера, но и позволяет значительно экономить быстро изнашиваемые материалы и электроэнергию, а также улучшить экологию производства.

Целью статьи является разъяснение способа уменьшения или даже полного исключения аварий на ленточных конвейерах путем описания принципа работы автоматизированной системы регулирования скорости ленточных конвейеров.

The article describes mine conveyor operational safety increase method as many fires take place on belt conveyors due to the belt high movement speed and the rollers high rotation speed. Also the belt rupture may take place due to high dynamic loads occurring both at the moment of the loaded belt start and at the moment of breaking. As a rule such accidents cause big financial losses and sometimes to human losses. The described automated belt conveyor speed control system allows to change the conveyor speed depending on its productivity, thereby significantly reducing the conveyor operating time at high (nominal) speed, reducing the belt friction fire risk. Simultaneously with the system application the high loads are eliminated, both mechanical ones on the conveyor elements, and electrical loads to the electric motor and cable networks. Reducing the belt conveyor average daily speed not only increases the conveyor operation safety level, but also significantly saves wear materials and electricity, as well as improves the production ecology.

The purpose of the article is to explain how to reduce or even completely eliminate accidents on belt conveyors by describing the belt conveyors automated speed control system operation principle.

Ключевые слова: АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ, ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫЙ ПРИВОД, ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ НАПРЯЖЕНИЯ, ДАТЧИК УРОВНЯ ПОГРУЗКИ, ПОГОННАЯ НАГРУЗКА, ГРУЗОПОТОК, РИСКИ, ПИД РЕГУЛЯТОР, ПОЖАР, ПОРЫВ ЛЕНТЫ

Key words: BELT CONVEYOR SPEED CONTROL AUTOMATED SYSTEM, FREQUENCY CONTROLLED DRIVE, POWER FREQUENCY CONVERTER, LOADING

LEVEL SENSOR, LINEAR LOAD, FREIGHT FLOW, RISKS, PID CONTROLLER, FIRE, BELT RUPTURE

Понятие экономической эффективности работы конвейерного транспорта неразрывно связано с его безопасной работой. Многочисленные примеры порывов ленточного полотна и связанные с этим травмы горнорабочих и ремонты конвейеров на горных предприятиях отрасли случаются, к сожалению, очень часто. Особо следует отметить возгорания и крупномасштабные пожары ленточных конвейеров, приводящие к катастрофическим последствиям. Ярким примером таких аварий служат катастрофы на угольных шахтах мира и России. Так 29 июля 1991 года на украинской шахте «Южнодонецкая №1» в результате возгорания ленточного конвейера погибло 32 горнорабочих. На шахте «Украина» 7 июля 2002 года при возгорании ленточного полотна конвейера погибло 35 шахтёров [1]. То, что в ходе последующих ремонтов горных выработок, конвейеров и оборудования тратятся огромные материальные средства, выступает лишь маленькой долей того, что в ходе аварий теряются человеческие жизни. Именно поэтому на каждой шахте должно уделяться большое внимание вопросам безопасной эксплуатации конвейерного транспорта, ибо часто вопрос уровня добычи на шахтах упирается не только в способность конвейерной линии доставить добычу на гора, но и сохранения жизни шахтёров.

В настоящий момент на шахтах Кузбасса происходит внедрение нового поколения пускового электрооборудования для конвейеров, которое не только позволяет существенно повысить экономическую эффективность работы подземного транспорта, но и сделать её более безопасной для горнорабочих. Существует большое количество видов аппаратуры автоматизированного контроля за работой шахтных конвейеров [2], но их работа в основном направлена на снижение последствий или предотвращение развития уже возникших аварий. Работа предлагаемой нами автоматизированной системы направлена на снижение вероятности возникновения аварий, а в некоторых случаях на их полное исключение.

Безопасность труда и эффективность работы угледобывающих предприятий в значительной степени зависит от технического состояния, грамотной эксплуатации и обслуживания оборудования, минимизации времени и средств на устранение неисправностей. В настоящее время значительную часть себестоимости угля составляют расходы на его транспортировку от

очистного забоя к поверхности шахты, что делает актуальным поиск резервов повышения эффективности использования шахтных транспортных средств, в частности, ленточных конвейеров. В угольной промышленности Кузбасса для обеспечения интенсивного ведения горных работ и увеличения производительности труда используются конвейеры различных модификаций: 1Л-120, ЛУ-120, 1Л80У, 1ЛТ1000, 3Л-1200К и др. Конвейерный транспорт, являясь довольно простым, безопасным и на первый взгляд дешевым, на деле представляет собой довольно энергозатратный вид транспорта, с очень низким коэффициентом полезного действия.

В последнее десятилетие резко возросла производительность очистных механизированных забоев. Одновременно возросла нагрузка и на конвейерный транспорт. Увеличились ширина конвейерной ленты и скорость ее движения. Выросла мощность электродвигателей приводов. Вполне очевидно, что там, где присутствуют высокая скорость и мощность, там присутствует и повышенная опасность возникновения аварии.

Основными причинами аварий при работе конвейерной линии являются высокие динамические нагрузки, возникающие в момент пуска и остановки гружёного конвейера, и высокая скорость движения конвейерной ленты и вращающихся роликов. Это проявляется в виде:

- порывов лент и цепей конвейера,
- ускоренного износа элементов конвейера,
- деформации металлоконструкций,
- появления зазоров в болтовых соединениях,
- нарушения центровки приводных барабанов и роликов,
- ускоренного разрушения роликов их нагрев и возгорание,
- проскальзывания ленты на приводных барабанах с угрозой воспламенения ленты,
- ускоренного износа футеровки приводных барабанов,
- уменьшения толщины обкладок конвейерной ленты,
- перетирания слоёв ленты, с угрозой пожара,
- ускоренного износа тормозных устройств при остановке гружёного конвейера,
- просыпания горной массы при работе с нарушенной центровкой роликов,
- выхода из строя электродвигателей из-за больших и продолжительных пусковых токов,

- неудавшегося запуска гружёного конвейера, срабатывания защиты от перегрузки,
- неэффективного торможения груженого конвейера вследствие износа тормозных колодок,
- засыпания горной массой пункта перегруза впереди стоящего конвейера вследствие отказа или износа тормозов,
- механического резонанса элементов конвейера и разрушения боковины конвейерной ленты из-за ухода её за пределы роликов вследствие нарушения их центровки.

Все вышеперечисленные риски, которых, как вы видите, достаточно много, являются причиной серьёзных аварий и инцидентов, приводящих к возникновению опасных ситуаций в горных выработках, к травмам рабочего персонала и потере значительного объема добываемого угля и, как следствие, к огромным финансовым потерям.

С появлением новейшего электрооборудования есть возможность не только устранить все риски и повысить уровень безопасности работ, но и добиться значительной экономии материальных и энергетических ресурсов. Как это можно сделать?

Рассчитанные на максимальную производительность, конвейеры как ленточные, так и скребковые большую часть своего рабочего времени работают с нагрузкой, не превышающей $1/3 - 2/3$ от максимальной величины (рис. 1).

Применив устройство, регулирующее скорость конвейера в зависимости от его загрузки (таким устройством является система, состоящая из преобразователя частоты напряжения [4] и датчика-измерителя уровня погрузки на ленточный конвейер (рис. 2)), можно добиться снижения скорости движения конвейера в 2-3 раза. Разумеется, речь идёт о средней скорости конвейера. В действительности скорость будет

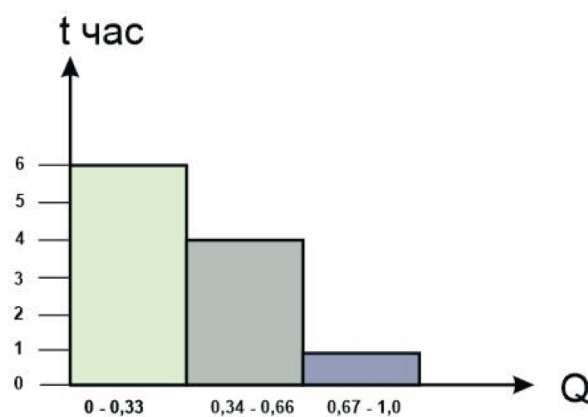


Рисунок 1 - Время работы конвейера в сутки при различных величинах грузопотока

Figure 1 - The time of the conveyor operation per day for different values of the cargo flow

изменяться от 0,1 до 1,0 её номинальной величины. Настройка работы системы предельно проста. Необходимо только правильно выставить параметры ПИД регулятора (пропорционально-интегрально-дифференциального), который является составным элементом преобразователя частоты напряжения.

Работа конвейера с постоянной погонной нагрузкой и пониженной средней скоростью благоприятно скажется на стабильности положения конвейерной ленты, её износе, а главное, снизятся условия возникновения пожара от трения. В настоящее время большинство передовых шахт мира, используя преобразователи частоты, не только добились устранения рисков, но и обеспечили безопасное перемещение людей и грузов по ленточным конвейерам, причём в обоих направлениях. Эти устройства хорошо себя зарекомендовали во многих отраслях промышленности и транспорта. Частотно – регулируемый привод широко применяется на железнодорожном и автомобильном транспорте. Например, он устанавливается на тяговые электровозы ЭП20 и на самый большой в

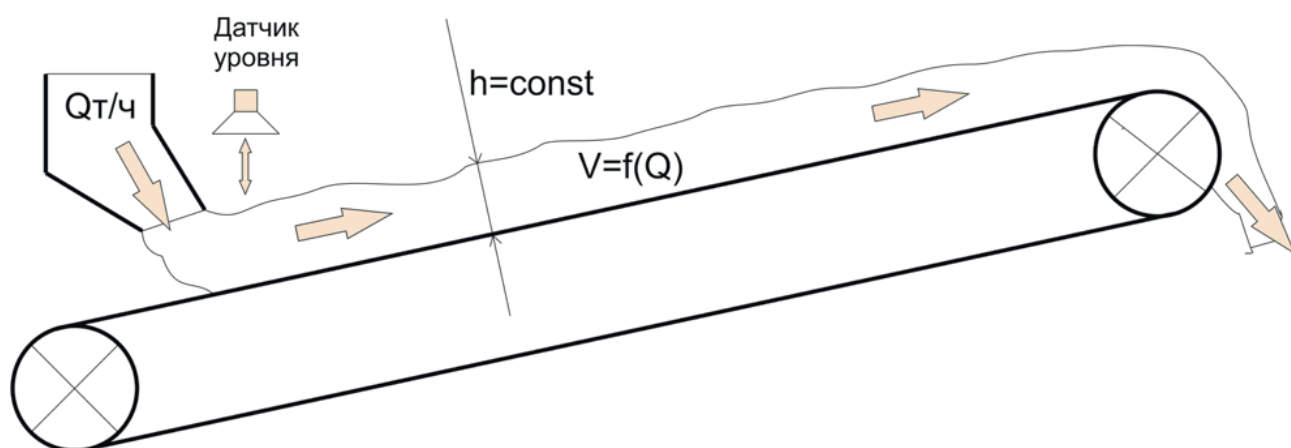


Рисунок 2 - Схема конвейера с датчиком-измерителем уровня погрузки

Figure 2 - Scheme of the conveyor with a gauge-gauge of the level of loading

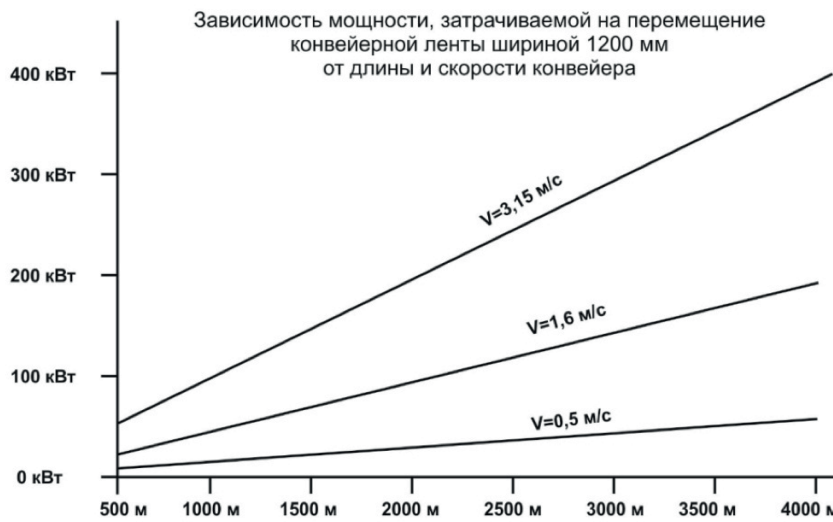


Рисунок 3 - График зависимости мощности перемещения конвейерной ленты
 Figure 3 - Graph of the dependence of conveyor belt power

мире БелАЗ-75710, а также на все вновь производимые трамваи и троллейбусы. Большинство современной бытовой техники в своём составе также содержит частотный привод, обеспечивающий надёжность и безопасность ее работы, это: стиральные машины, холодильники, кондиционеры, сварочные аппараты и микроволновые печи. Пример применения частотного регулирования на угольных шахтах помимо конвейеров – привод подачи комбайнов серии KSW и SL. Многолетняя практика применения показала значительное превосходство частотного привода над гидравлическим. Снизились частота и продолжительность ремонтов, а вместе с этим и травматизм при ведении ремонтных работ.

Снижение скорости движения конвейерной ленты приводит не только к уменьшению возможности возникновения пожара, но и к уменьшению мощности, необходимой для перемещение самой ленты, а следовательно, и к снижению расхода электроэнергии, что отражено на (рис. 3). А отсутствие пусковых токов при запуске конвейеров исключает риск отказа или аварии в пусковой аппаратуре и кабельных линиях.

Снижение скорости конвейерной лен-

ты также приводит к уменьшению пройденного ею пути, а следовательно, и к снижению количества перегибов на приводных, хвостовых и разгрузочных барабанах. Всё это положительно сказывается на прочностных характеристиках ленты и ее ресурсе, что тоже можно считать одним из факторов повышающих безопасность работы конвейера. Одновременно с повышением ресурса конвейерной ленты увеличивается ресурс стыковых соединений, футеровки приводных барабанов, роликов, чистителей и других элементов конвейера. Например, для конвейера длиной 1000 м. стоимость конвейерной ленты составляет около 8,5 млн. руб., стоимость роликов 3 млн. руб., стоимость стыковых соединений от 0,15 до 0,3 млн. руб. При снижении скорости конвейерной ленты в 3 раза ресурс этих элементов увеличивается не менее чем в 3 раза, в расчет принимаются малые динамические нагрузки при плавном изменении скорости и ускорения (рис. 4).

В среднем экономия материалов и электроэнергии для конвейера длиной в 1000 м. составляет около 4 млн. руб. [3]. При увеличении длины конвейера экономический эффект пропорционально увеличивается.

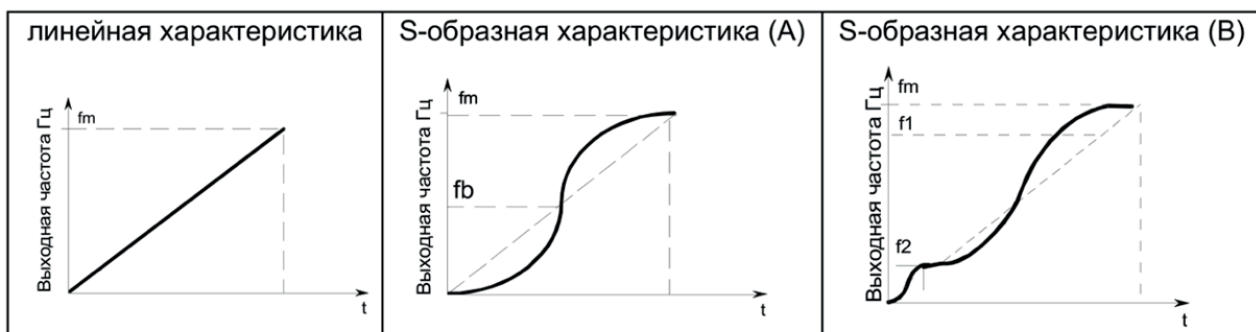


Рисунок 4 - Пусковые характеристики преобразователей частоты
 Figure 4 - Starting characteristics of frequency converters

При эксплуатации ленточных конвейеров длиной более 1500 м. применяются промежуточные приводы, сущность которых заключается в перераспределении величины натяжения конвейерной ленты по её длине. Преобразователи частоты, обладающие функцией пуска с заданной величиной момента (рис. 4.), обеспечивают плавное увеличение скорости конвейерной ленты, тем самым значительно снижая усилие на загруженную конвейерную ленту во время запуска конвейера. При использовании преобразователей частоты необходимость в промежуточных приводах отпадает, а это позволит не только сэкономить еще около 6 млн. руб., но и значительно повысить безопасность эксплуатации конвейера.

В качестве пускорегулирующей аппаратуры для ленточных конвейеров могут быть использованы преобразователи частоты напряжения различных компаний как отечественных, так и зарубежных. Каждый из них имеет свои достоинства и недостатки. Но для достижения всех вышеперечисленных факторов одного преобразователя частоты недостаточно, необходима автоматизированная система регулирования скорости конвейера, только в этом случае можно добиться наивысших результатов в повышении

ресурса конвейеров, снижении их энергопотребления, улучшения экологии и повышения общего уровня эксплуатационной безопасности.

Заключение

История внедрения частотного оборудования для управления конвейерами на шахтах Кузбасса началась в 2009 году с создания системы управления конвейерным транспортом на шахте «Котинская». Получив положительный эффект от приводов с частотным управлением, руководство АО «СУЭК-Кузбасс» оборудовало новыми приводными системами пять шахт, куда, кроме «Котинской», вошли шахты «им. Ялевского», им. Кирова, «Талдинская–Западная-1» и «Талдинская–Западная-2». Безостановочная работа высокопроизводительных конвейеров позволила шахте «Котинская» в 2010 году и шахте «Талдинская–Западная-1» в 2013 году поставить все российские рекорды по месячной добыче угля.

Аппаратура частотного регулирования зарекомендовала себя как надёжное, безотказное и простое в обслуживании оборудование. За это время не произошло ни одной серьёзной аварии и ни одного смертельного случая, связанного с авариями на конвейерах оборудованных частотным приводом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Крупнейшие аварии на шахтах Украины [Электронный ресурс]. URL: <http://kp.ua/incidents/568719-krupneishye-avaryy-na-shakhtakh-ukrainy-za-90-let>
2. Юрченко В.М. Пожарная безопасность ленточных конвейеров: проблемы и решения // Горное оборудование и электромеханика. 2015. № 7. С. 22-27.
3. Конвейеры держат удар [Электронный ресурс]. URL: <http://www.elektro-mashina.ru/section/151.html>
4. Новиков Г.В. Частотное управление асинхронными электродвигателями. М.: Изд-во МГТУ им Н.Э. Баумана, 2016. 498 с. :ил.

REFERENCES

1. Krupneishiie avarii na shakhtakh Ukrainy [The biggest accidents at the Ukrainian mines]. *kp.ua*. Retrieved from <http://kp.ua/incidents/568719-krupneishye-avaryy-na-shakhtakh-ukrainy-za-90-let> [in Russian].
2. Yurchenko, V.M., (2015). Pozharnaia bezopasnost lentochnykh konveierov: problem i reshiniia [Belt conveyors fire safety: problems and solutions]. *Gornoie oborudovaniie i elektromekhanika - Mining equipment and electromechanics*, 7, 22-27 [in Russian].
3. Konveieri derzhat udar [Conveyors take the punch]. *elektro-mashina.ru* Retrieved from <http://www.elektro-mashina.ru/section/151.html>
4. Novikov, G.V. (2016). *Chastotnoie upravleniie asinkhronnymi elektrodvigateliami* [Frequency control of asynchronous electric motors]. Moscow: Bauman MGTU [in Russian].



С.А. Лисаков
foxlsa@mail.ru



А.И. Сидоренко
sai@bti.secna.ru



И.С. Зорин
IvanZorin@hotmail.com



Е. В. Сыпин
sev@bti.secna.ru

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ МОДЕЛИРОВАНИЯ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО ОПТИКО- ЭЛЕКТРОННОГО ПРИБОРА КОНТРОЛЯ АВАРИЙНЫХ И ПРЕДАВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ COAL MINES EMERGENCY AND PRE-EMERGENCY SITUATIONS MONITORING MULTICRITERIA OPTOELECTRONIC DEVICE MODELING STATEMENT

С. А. Лисаков – инженер кафедры Бийского технологического института ФГБОУ ВО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова», Россия, 659305, г. Бийск, ул. Трофимова, 27

А. И. Сидоренко – канд. техн. наук, доцент кафедры Бийского технологического института ФГБОУ ВО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова», Россия, 659305, г. Бийск, ул. Трофимова, 27

И. С. Зорин – инженер кафедры Бийского технологического института ФГБОУ ВО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова», Россия, 659305, г. Бийск, ул. Трофимова, 27

Е. В. Сыпин – канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры Бийского технологического института ФГБОУ ВО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова», Россия, 659305, г. Бийск, ул. Трофимова, 27

S. A. Lisakov - chair engineer of Biysk Technological Institute of the Polzunov Altai State Technical University, 27, ul. Trofimova, Biysk 659305, Russia

A. I. Sidorenko - candidate of technical sciences, chair associate professor of Biysk Technological Institute of the Polzunov Altai State Technical University, 27, ul. Trofimova, Biysk 659305, Russia

I. S. Zorin - chair engineer of Biysk Technological Institute of the Polzunov Altai State Technical University, 27, ul. Trofimova, Biysk 659305, Russia

Ye. V. Sypin – candidate of technical sciences, associate professor, chair professor of Biysk Technological Institute of the Polzunov Altai State Technical University, 27, ul. Trofimova, Biysk 659305, Russia

Выполнена постановка задачи моделирования многокритериального оптико-электронного прибора контроля аварийных и предаварийных ситуаций в угольных шахтах.

Сформулированы контролируемые параметры предаварийных и аварийных ситуаций. Предложена структурная схема многокритериального оптико-электронного прибора. Приведены подходы к моделированию многокритериального оптико-электронного прибора. Определены исходные данные для моделирования. Контролируемыми параметрами являются: концентрация метана (от 0 до 2,5 % по объему); концентрация диоксида углерода (от 0 до 2% по объему); концентрация оксида углерода (от 0 до 0.01 % по объему); концентрация угольной пыли (от 0 до 7 г/м³); поток оптического излучения при пламенном горении метановоздушной смеси и тления угольной пыли. Многокритериальный оптико-электронный прибор предлагается построить с использованием совокупности оптико-электронных датчиков метана, оксида углерода, диоксида углерода, угольной пыли, оптического излучения тления и пламени. Подход к моделированию оптико-электронных датчиков измерения концентрации газов заключается в расчете спектрального коэффициента пропускания с использованием закона Бугера – Ламберта – Бера. Подход к моделированию оптико-электронного датчика измерения концентрации пыли основан на расчете спектрального коэффициента пропускания газодисперсной среды на базе теории Ми. Подходы, основанные на уравнении переноса излучения и использовании угловых коэффициентов, применяются для расчета излучения, поступающего от очага горения на входной зрачок оптико-электронного датчика пламени.

The modeling task statement of a multicriteria optoelectronic device for monitoring emergency and pre-emergency situations in coal mines has been performed.

Controlled parameters of pre-emergency and emergency situations are formulated. A block diagram of a multicriteria optoelectronic device is proposed. Approaches to the modeling of a multicriteria optoelectronic device are presented. The initial data for modeling are determined. Controlled parameters are: concentration of methane (from 0 to 2.5% by volume); concentration of carbon dioxide (from 0 to 2% by volume); concentration of carbon monoxide (from 0 to 0.01% by volume); concentration of coal dust (from 0 to 7 g/m³); the flux of optical

radiation in the case of a fiery combustion of the methane-air mixture and the smoldering of coal dust.

A multi-criteria optical-electronic device is proposed to be constructed using a set of optoelectronic sensors of methane, carbon monoxide, carbon dioxide, coal dust, optical radiation of smoldering and flame. The approach to the modeling of optoelectronic sensors for measuring the gases concentration consists in calculating the spectral transmission coefficient using the Bouguer-Lambert-Beer law. The approach to modeling an optoelectronic dust concentration measurement sensor is based on calculating the spectral transmittance of a gas-dispersed medium on the basis of the Mie theory. Approaches based on the equation of radiation transfer and the use of angular coefficients are used to calculate the radiation coming from the source of combustion to the entrance pupil of the optoelectronic flame sensor.

Ключевые слова: МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЙ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЙ ПРИБОР, КОНТРОЛЬ, АВАРИЙНАЯ СИТУАЦИЯ, ПРЕДАВАРИЙНАЯ СИТУАЦИЯ, УГОЛЬНАЯ ШАХТА

Key words: MULTI-CRITERIA OPTICAL-ELECTRONIC INSTRUMENT, CONTROL, EMERGENCY SITUATION, PRE-EMERGENCY SITUATION, COAL MINE

Введение
Несмотря на применяемые меры для обеспечения пожарной, взрывной или взрывопожарной безопасности в угольных шахтах количество аварий не уменьшается. Сложности при предотвращении аварий обусловлены многообразием причин и сложностью механизмов возникновения и развития горения газопылевоздушных смесей.

Разработка и совершенствование средств достоверного контроля по различным факторам предаварийных и аварийных ситуаций в угольных шахтах является актуальной задачей [1].

В Бийском технологическом институте на кафедре МСИА ведется разработка многокритериального оптико-электронного прибора контроля аварийных и предаварийных ситуаций в угольных шахтах. Оптико-электронный прибор предназначен для проведения комплексного контроля факторов, сопровождающих предаварийные и аварийные ситуации, связанные с возникновением взрывоопасных смесей, пожаров, взрывов.

Формулирование научно-технической проблемы обеспечения пожарной безопасности в угольных шахтах и поиск методов ее решения с использованием многокритериальных оптико-электронных приборов контроля представлено в работе [1]. В работе [1] также представлены основные задачи научного исследования, которые необходимо решить.

На первом этапе работ целью является выполнение постановки задачи моделирования многокритериального оптико-электронного прибора контроля аварийных и предаварийных ситуаций в угольных шахтах.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

– провести аналитический обзор по теме исследования и по его результатам выбрать необходимые и достаточные физические параме-

тры контроля предаварийных и аварийных ситуаций в угольных шахтах;

– определить диапазоны изменения контролируемых параметров (критериев) для рудничной атмосферы;

– предложить структурную схему многокритериального оптико-электронного прибора и возможные варианты технических решений для прибора;

– сформулировать подходы к моделированию многокритериального оптико-электронного прибора;

– определить исходные данные для моделирования.

Предаварийные и аварийные ситуации в угольных шахтах

Определение необходимых факторов, связанных с возникновением предаварийных и аварийных ситуаций проводилось на основе анализа нормативных документов и литературных источников [2-6].

Согласно нормативному документу «Положение об аэрогазовом контроле в угольных шахтах» [2] «Ситуация аварийная – ситуация, когда произошла авария и возможен дальнейший ход ее развития, а также ситуация, которая может вызвать воздействие на работающих опасных и вредных производственных факторов. ... к аварийным ситуациям относятся: прорывы и внезапные выбросы и выделения газа, аварийные загазирования, эндогенные и экзогенные пожары, взрывы, вспышки, горение газа и пыли, разрушение узлов и деталей вентиляционного, дегазационного и другого оборудования, обеспечивающего промышленную безопасность.»

В многокритериальном оптико-электронном при боре предполагается контролировать следующие аварийные ситуации – взрывы, вспышки, горение газа, аварийные загазирования, эндогенные и экзогенные пожары. Выбор

контролируемых аварийных ситуаций осуществляется исходя из того, что по статистике взрывы газа и пыли являются наиболее частыми и тяжелыми по последствиям авариями в угольных шахтах и происходят по причине возникновения аварийного загазирования (выделение метана) и при наличии источника воспламенения с высокой температурой.

Источниками воспламенения метана по статистике наиболее часто выступают неисправное электрооборудование, взрывные работы и пожары. При этом доля взрывов вызванных пожарами существенно увеличивалась в последние годы [3].

Основными причинами аварийного загазирования выработок метаном до взрывных концентраций являются: нарушение вентиляции; внезапное выделение газа; отсутствие контроля за режимом проветривания и газовой выделением; длительная остановка вентилятора главного проветривания.

Протекание взрывов, вспышек, горения метана связано с выделением продуктов горения в виде водяных паров, углекислого и/или угарного газа (в зависимости от вида реакции горения) и оптическим излучением продуктов горения.

Согласно [2] «Эндогенный пожар, возникает от самонагревания угля в результате окислительных процессов, происходящих в нем».

Экзогенный пожар возникает от внешних тепловых импульсов. Основными причинами экзогенных пожаров является: нарушение правил эксплуатации электрооборудования, ведения огневых и взрывных работ, неудовлетворительного содержания ленточных конвейеров и др. В результате происходит как тление, так и пламенное горение деревянных элементов крепи, конвейерной ленты, разрыхленного угля и других материалов.

Эндогенные и экзогенные пожары сопровождаются: увеличением температуры; выделением индикаторных газов (CO , CO_2 , H_2); наличием дыма; увеличением мощности оптического излучения в инфракрасном диапазоне [7].

Согласно [2] «Ситуация предаварийная – ситуация, при которой нарушение технологического режима или состояние оборудования приводят к выходу за предаварийные уставки и вызывают срабатывание системы противоаварийной защиты, предотвращая возникновение и развитие аварийной ситуации».

Предаварийная уставка согласно [2] определяется как – «граничное значение параметра, при преодолении которого срабатывает противо-

аварийная защита и осуществляется предаварийная сигнализация.»

Предаварийные ситуации связаны, прежде всего, с наличием в рудничной атмосфере опасных и вредных газов и пыли и обусловлены характером протекания технологического процесса и функционированием оборудования.

Контроль предаварийных ситуаций связан с тем, что накопление негативных факторов происходит постепенно и вероятность возникновения аварии значительно возрастает [8].

Определение предаварийных ситуаций необходимо для выполнения превентивных мероприятий, направленных на предотвращение негативной тенденции.

В многокритериальном оптико-электронном приборе должны контролироваться следующие предаварийные ситуации – выделение опасных и вредных газов (метан, оксид и диоксид углерода), выделение угольной пыли.

Выбор обусловлен тем, что накопление метана, оксида углерода, взвешенной в воздухе угольной пыли может привести к возникновению взрывоопасной смеси. Наличие оксида и диоксида углерода характеризует пригодность для дыхания рудничного воздуха.

В предаварийных ситуациях изменение параметров рудничной атмосферы (концентрации опасных и вредных газов, пыли) имеет стохастический характер и обусловлено в основном особенностями угольного пласта, вмещающих пород, режимом работы оборудования.

Флуктуации интенсивности выделения метана происходят [8]:

- в периоды подачи выемочной машины, когда происходит отбивание угля и обнажается пласт породы, который подхватывается вентиляционной струей. Выделение метана зависит от концентрации метана в пласте, сорбционных свойств угля и происходит:

- в моменты остановки и пуска выемочного агрегата;

- при выполнении посадки кровли.

Повышение концентрации метана связано с неэффективным проветриванием выработок [3].

В технологическом процессе интенсивно происходит выделение вредных оксидов. Главным образом повышается концентрация углекислого газа и оксида углерода вследствие взрывных работ, работы двигателей внутреннего сгорания, выделения газов из горных пород [8].

Содержание пыли в воздухе определяется способами разработки, интенсивностью проведения горных работ и пылеобразующей

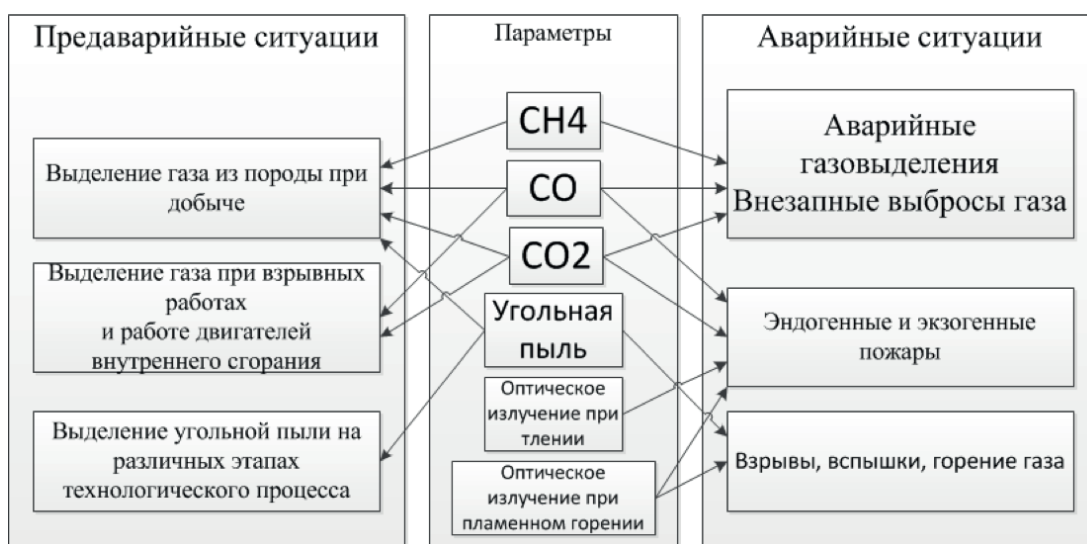


Рисунок 1 - Параметры контроля аварийных и предаварийных ситуаций МКОЭП
 Figure 1 - Parameters of emergency and pre-emergency monitoring of MCOEP

способностью угольных пластов. Запыленность зависит от эффективности применения на шахте способов и средств борьбы с пылью [3].

Параметры контроля предаварийных и аварийных ситуаций в угольных шахтах

На основе анализа литературы и нормативных документов [2-6] были выбраны параметры контроля предаварийных и аварийных ситуаций в рудничной атмосфере связанных с возникновением взрывоопасных смесей, пожаров, взрывов (рис. 1).

Многокритериальный оптико-электронный прибор контроля аварийных и предаварийных ситуаций в угольных шахтах, должен контролировать следующие параметры [1]:

- концентрации метана, оксида углерода, диоксида углерода;
- концентрацию угольной пыли в рудничной атмосфере;
- поток оптического излучения тления угольной пыли и пламенного горения метано-воздушной смеси.

Контроль параметров концентрации CH_4 , CO_2 , CO обусловлен тем, что они одновременно характеризуют возникновение различных предаварийных (выделение газа) и аварийных ситуаций (авариное загазирование, взрывы, вспышки, пожары).

Согласно [2] в рудничной атмосфере помимо CH_4 , CO_2 , CO могут контролироваться концентрации кислорода, и дополнительных газов – оксида азота, диоксида азота, сернистого ангидрида, сероводорода, водорода. Контроль концентрации кислорода не рассматривается, поскольку содержание кислорода характеризует, прежде всего, пригодность для дыхания,

а наличие аварийных ситуаций связанных с горением по содержанию кислорода выполняется косвенно [2].

Наличие дополнительных контролируемых газов обусловлено характером конкретного технологического процесса, и их контроль осуществляется при необходимости [2].

Концентрация угольной пыли характеризует наличие предаварийной ситуации и контролируется для оценки состояния рудничной атмосферы по возникновению взрывоопасной пылегазовой среды [2]. Выбор контроля концентрации угольной пыли связан с тем, что наличие взвешенной угольной пыли в рудничной атмосфере влияет на допустимую концентрацию метана выделяющегося при добыче породы. Комплексный контроль концентрации метана и угольной пыли позволит предотвратить возникновение взрывоопасной газопылевой смеси.

Контроль потока оптического излучения связанного с возникновением излучения тления угольной пыли и пламенного горения метано-воздушной смеси обусловлен тем, что пожары и взрывы должны контролироваться на начальной стадии их развития. Тление угольной пыли характеризует начальную стадию пожара, когда происходит возгорание (самовозгорание) отложившейся угольной пыли без возникновения пламени. Начальная стадия взрывного горения характеризуется воспламенением метановоздушной смеси. Контроль пламенного горения выполняется с учетом того, что на начальной стадии развития взрывного горения (до образования ударной волны) угольная пыль не участвует, и в процессе воспламенения участвует только метановоздушная смесь [3].

При контроле оптического излучения не-

обходимо учитывать, что параметры концентрации газов и пыли характеризуют промежуточную среду в виде газопылевоздушной смеси (CH_4 , CO_2 , CO , угольная пыль, воздух). Промежуточная среда ослабляет контролируемое оптическое излучение от очагов тления и пламенного горения и влияет на возможность их обнаружения.

Диапазоны изменения контролируемых параметров

Для выбранных параметров контроля определены диапазоны их изменения.

Диапазоны изменения концентрации метана и угольной пыли определяются исходя из данных о нижних концентрационных пределах воспламенения метана и угольной пыли, а также о допустимом содержании метана и взвешенной пыли (в том числе в случае одновременного их присутствия в воздухе), приведенных в литературе и в нормативных документах [2-6].

Допустимая величина концентрации (предаварийная уставка) контролируемого компонента определяется величиной нижнего предела воспламенения ка-кого-либо компонента и запасом надежности K .

Величина запаса надежности зависит от конкретного участка горной выработки и регламентирована правилами безопасности в угольных шахтах [5].

Нижний концентрационный предел воспламенения метана в смеси с воздухом составляет 5 %. Согласно [5] допустимые концентрации метана в горных выработках для различных участков находятся в пределах от 0,5 до 2 % (по объему) при запасе надежности от 10 до 2,5. Контроль концентрации метана должен осуществляться в диапазоне от 0 до 2,5 % (по объему).

Нижний концентрационный предел воспламенения угольной пыли определяется зольностью угольной пыли, дисперсностью и объемом выхода летучих горючих веществ. Расчетные значения нижнего предела воспламенения угольной пыли изменяются от 20 до 200 г/м³, экспериментальные – в пределах от 10 до 100 г/м³. Нижний предел воспламенения угольной пыли определяют для каждого шахтопласта [3].

Допустимая концентрация угольной пыли в шахтах составляет 150 мг/м³ и достигается за счет применения способов и средств борьбы с пылью [2]. При отсутствии средств борьбы с пылью допустимая концентрация, как правило, может достигать 5 г/м³ [3].

Допустимые концентрации метана в воздухе с взвешенной пылью определяются с учетом более легкой воспламеняемости метана по

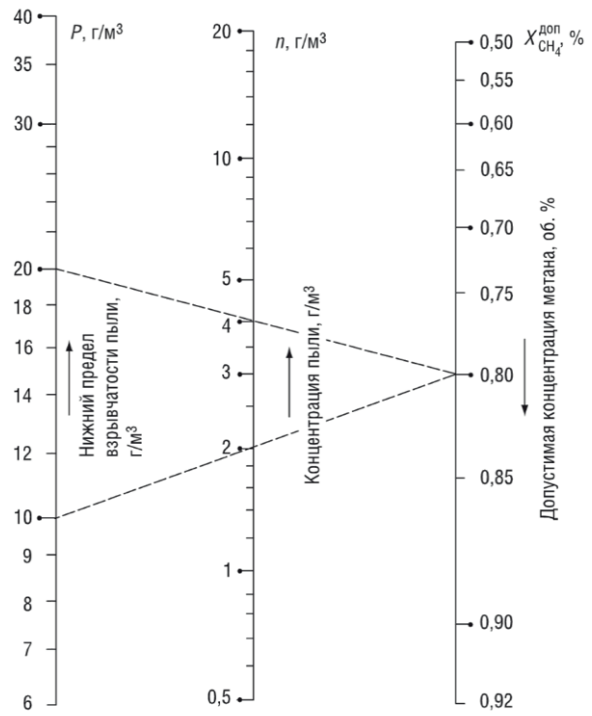


Рисунок 2 – Номограмма для определения допустимой концентрации метана в воздухе с взвешенной пылью
 Figure 2 - Nomogram for determining the permissible concentration of methane in air with suspended dust

сравнению с пылью [3].

Допустимые концентрации смеси метана и пыли определяют, принимая для метана запас надежности контроля $K=5$, а для пыли – $K=1$, т.е. без запаса (рис.2):

$$\frac{X_{CH4}}{1} + \frac{n}{P} = 1$$

где X_{CH4} – допустимая (максимальная) концентрация метана в воздухе со взвешенной пылью (об. %); n – концентрация пыли в воздухе (г/м³); P – нижний предел взрывчатости (воспламенения) данной пыли (г/м³).

Исходя из данных представленных в номограмме (рис. 2), можно сделать вывод о том, что допустимая концентрация метана существенно снижается при наличии пыли с концентрацией в диапазоне от 0,5 до 20 г/м³.

На практике концентрацию пыли измеряют в диапазоне от 0 до 7 г/м³ [4-6].

Допустимые концентрации по объему (предаварийные уставки) оксида углерода, диоксида углерода, определяются требованиями безопасности для персонала (пригодность для дыхания).

Максимально допустимая концентрация диоксида углерода в зависимости от участка горной выработки составляет от 0,5 до 1 % (по объему). Максимально допустимая концентрация оксида углерода равна 0,0017 %. Согласно [5] на практике диапазон контроля диоксида углерода составляет от 0 до 2 % (по объему), оксида угле-

рода от 0 до 0,01.

Параметрами, характеризующими поток оптического излучения при пламенном горении метановоздушной смеси и тлении угольной пыли являются температура и степень черноты.

Исследования показывают [7], что температура тления угольной пыли в зависимости от недостатка или избытка кислорода воздуха в очаге находится в пределах от 350 до 550 °С. Угольная пыль излучает, как серое тело с интегральной степенью черноты 0,7-0,85 (в данном диапазоне температур), излучение не имеет спектрально выраженных полос. ИК-излучение очага самовозгорания имеет максимум спектральной плотности в диапазоне от 3,52 до 4,65 мкм [7, 9].

Параметры и характеристики потока оптического излучения при пламенном горении метано-воздушной смеси на начальной стадии развития получены ранее и описаны в работе [9]. Температура горения стехиометрической метано-воздушной смеси составляет 1933 °С. Максимумы спектральной энергетической светимости соответствуют следующим длинам волн для углекислого газа – 1.34, 4.26, 7.45 мкм, для паров воды – 1.29, 1.87, 2.66, 2.74 и 6.27 мкм. Значения интегральной энергетической светимости находятся в диапазоне от 20 до 210 кВт/м² для огненных шаров с диаметрами от 0,1 до 5 м. Интегральная степень черноты огненного шара изменяется в диапазоне значений от 0,015 до 0,21 для значений диаметров шаров от 0,1 до 10 м [9].

Таким образом, были определены диапазоны изменения контролируемых параметров (критериев) для рудничной атмосферы:

- концентрация метана от 0 до 2,5 % (по объему);
- концентрация диоксида углерода от 0 до 2 % (по объему);
- концентрация оксида углерода от 0 до 0,01 % (по объему);
- концентрация угольной пыли от 0 до 7 г/м³;
- поток оптического излучения при пламенном горении метановоздушной смеси и тлении угольной пыли характеризуемый температурой и степенью черноты. При этом, температура горения метано-воздушной смеси принимается равной 1933 °С, а интегральная степень черноты огненного шара горения метано-воздушной смеси – от 0,015 до 0,21. температура тления угольной пыли принимается от 350 до 550 °С, а интегральная степень черноты 0,7-0,85.

Структурная схема многокритериального оптико-электронного прибора

Исходя из данных о диапазонах изме-

нения параметров контроля предаварийных и аварийных ситуаций, а также с учетом практических подходов к реализации приборов контроля аварий в угольных шахтах установлено, что комплексный контроль может быть организован с использованием совокупности оптико-электронных датчиков концентраций CH_4 , CO_2 , CO , угольной пыли, оптических излучений тления и пламени, объединенных в многокритериальный оптико-электронный прибор [4-12].

Принцип работы оптико-электронных датчиков концентрации CH_4 , CO_2 , CO основан на изменении степени поглощения инфракрасного излучения в зависимости от концентрации газа в анализируемой среде.

Преимуществами оптико-электронных датчиков концентрации газов является высокая чувствительность, селективность и быстродействие, работа в широком диапазоне концентраций. Датчики не отравляются высокими концентрациями контролируемых и сопутствующих газов [1].

На практике для контроля концентрации метана при измерении степени поглощения инфракрасного излучения метановоздушной смесью используется спектральный диапазон 3,2-3,4 мкм [11]. Концентрация диоксида и оксида углерода контролируется в спектральном диапазоне 4,2 – 4,3 мкм для CO_2 и 4,4–4,8 мкм для CO [12]. Данные диапазоны принимаются в качестве исходных данных для моделирования датчиков.

Принцип работы оптико-электронных датчиков концентрации угольной пыли основан на регистрации интенсивности поглощенного и/или рассеянного ИК-излучения, которая пропорциональна массовой концентрации аэрозольных частиц. Концентрация взвешенной угольной пыли контролируется оптико-электронным датчиком с учетом ее дисперсного состава, характерного для выработок угольных шахт.

Преимуществами оптико-электронных датчиков концентрации угольной пыли являются высокая чувствительность, простота монтажа и обслуживания.

На практике контроль концентрации угольной пыли выполняется оптико-электронными приборами по поглощению и/или рассеянию излучения пылью с учетом ее дисперсного состава (ИКВЧ, ИЗСТ-01, ИДИП-01П) [4-6].

В рамках моделирования и, исходя из практических соображений, принимается, что оптико-электронный датчик измеряет концентрацию пыли по поглощению излучения пылью в диапазоне длин волн от 0,6 мкм до 1,1 мкм [4-6].

Принцип работы оптико-электронных

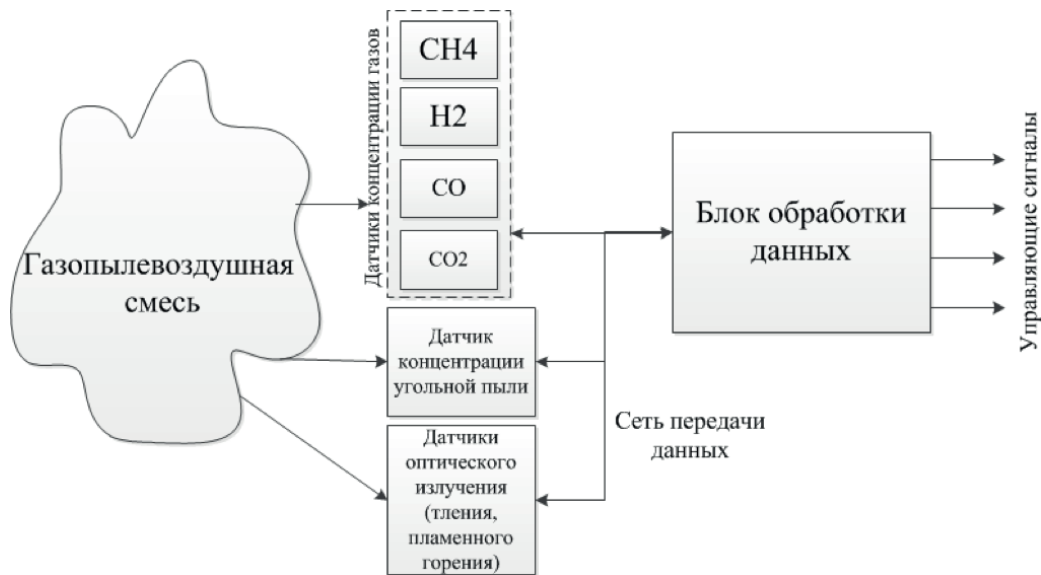


Рисунок 3 - Структурная схема многокритериального оптико-электронного прибора контроля аварийных и предаварийных ситуаций в угольных шахтах

Figure 3 - Structural diagram of a multicriterial optoelectronic device for monitoring emergency and pre-emergency situations in coal mines

датчиков пламени заключается в контроле возникновения тления и пламенного горения на начальной стадии путем регистрации потока оптического излучения в инфракрасной области спектра на охраняемом объекте [1].

Поток оптического излучения при пламенном горении и тлении определяется на основе данных о температуре и степени черноты при горении метановоздушной смеси, тлении угольной пыли.

Преимуществом оптико-электронных датчиков является высокое быстродействие при обнаружении быстро развивающегося пламенного горения [3, 4].

На практике поток оптического излучения контролируется фотоприемниками со спектральной чувствительностью соответствующей максимумам спектральной энергетической светимости очагов тления и пламенного горения. При моделировании будет использован оптико-электронных датчиков пламени

Предлагаемая структурная схема многокритериального оптико-электронного прибора построенного с использованием совокупности оптико-электронных датчиков метана, оксида углерода, диоксида углерода, угольной пыли, оптического излучения тления и пламени приведена на рисунке 3.

В многокритериальном оптико-электронном приборе сигналы с датчиков посредством сети передачи данных поступают на блок обработки данных.

Блок обработки данных прибора анализирует информацию, сигнализирует о наличии предаварийных или аварийных ситуаций и вы-

дает управляющие сигналы для приведения охраняемого объекта к нормальному режиму функционирования [1]. Алгоритм обработки данных с оптико-электронных датчиков должен учитывать связь критериев, обуславливающих наличие предаварийных и аварийных ситуаций.

В многокритериальном оптико-электронном приборе предлагается учитывать взаимное влияние следующих критериев:

- влияние концентрации взвешенной угольной пыли на допустимую концентрацию метана;
- влияние других (посторонних) газов на показания оптико-электронного датчика контролирующего концентрацию отдельного газа (перекрестная чувствительность);
- влияние промежуточной среды в виде газопылевоздушной смеси на возможность обнаружения тления и пламенного горения и выбор спектральных диапазонов контроля оптико-электронного датчика пламени.

Подходы к моделированию многокритериального оптико-электронного прибора

Моделирование многокритериального оптико-электронного прибора заключается в получении зависимостей выходных сигналов оптико-электронных датчиков от входной физической величины – контролируемого параметра.

А. Моделирование оптико-электронных датчиков измерения концентрации метана, оксида углерода и диоксида углерода

При моделировании оптико-электронных датчиков измерения концентраций CH_4 , CO_2 и CO для каждого оптико-электронного датчика входной величиной является концентрация

газа, а выходным сигналом интегральный (по спектральному диапазону) коэффициент пропускания кюветы с газом (передаточная функция датчика) [12]. Для моделирования датчиков концентрации газов используется единый подход, применяемый для исходных данных, связанных с конкретным газом.

Подход к моделированию оптико-электронного датчика измерения концентрации газа заключается в расчете спектрального коэффициента пропускания с использованием закона Бугера-Ламберта-Бера на основе данных о спектральном коэффициенте поглощения газа [12]:

$$\tau(\lambda) = \Phi(\lambda) \Phi_0(\lambda) = e^{-k(\lambda)LC}$$

где $\Phi_0(\lambda)$ – поток монохроматического зондирующего излучения, Вт; $\Phi(\lambda)$ – поток монохроматического излучения (Вт) прошедшего через газ с концентрацией исследуемого газа C (объемная доля), длиной пути поглощения L (м) и спектральным коэффициентом поглощения газовой смеси $k(\lambda)$ (м⁻¹).

Для вычисления спектрального коэффициента поглощения $k(\lambda)$ может быть использована информационная система «Спектроскопия атмосферных газов» использующая банки данных о спектрах поглощения атмосферных газов HITRAN и GEISA-97 [13].

В основу расчета спектрального коэффициента поглощения $k(\lambda)$ положен метод полинейного счета спектрального контура поглощения (распределение интенсивности поглощения в спектральной линии) веществ в газовой фазе, который представляет собой суммирование стандартных контуров поглощения изолированных спектральных линий (поглощение в изолированных линиях связано с поглощением фотонов строго определенной длины волны) [13].

При выполнении моделирования датчиков концентрации газов объемный состав газовой смеси необходимо задавать с учетом замещения выделяющимися газами кислорода и азота в нормальном атмосферном воздухе. Например, уменьшение концентрации кислорода в шахтной атмосфере в результате выделения метана определяется по формуле [3]:

$$C_{O_2} = 0,21(1 - C_{CH_4}),$$

а азота по формуле:

$$C_{N_2} = 0,79(1 - C_{CH_4}).$$

На основе данных о спектральном коэффициенте пропускания выбирается соответствующая элементная база (источник и приемник излучения) для оптико-электронных датчиков концентрации газов. Моделируется передаточная функция оптико-электронного датчика в виде интегрального коэффициента пропускания в за-

висимости от концентрации газа. Моделирование выполняется для диапазона спектра, определяемого спектральными характеристиками источника и приемника излучения (спектральный поток излучения источника и спектральная чувствительность фотоприемника). Выбор источника и приемника излучения осуществляется из набора компонентов (совокупность пар источник – приемник) на основе оценки погрешности измерения по данным о передаточной функции и отношении сигнал-шум датчика.

С учетом выбранной элементной базы определяется длина пути поглощения, обеспечивающая минимальную погрешность измерения для заданного диапазона концентраций.

Б. Моделирование оптико-электронного датчика концентрации угольной пыли

При моделировании оптико-электронного датчика концентрации угольной пыли входной величиной является концентрация угольной пыли, а выходным сигналом интегральный (по спектральному диапазону) коэффициент пропускания (передаточная функция датчика).

Задача моделирования спектрального коэффициента пропускания в газодисперсной системе угольная пыль-воздух решалась научным коллективом ранее [14, 15]. Подходы и результаты этой работы будут использованы при моделировании коэффициента пропускания. Подходы к моделированию спектрального коэффициента пропускания основаны на теории Ми [14, 15]. При этом коэффициент пропускания рассчитывается для газодисперсной системы угольная пыль-воздух с дисперсным составом характерным для угольных шахт с учетом влияния эффекта рассеяния на перенос энергии излучения.

На основе данных о спектральном коэффициенте пропускания выбирается соответствующая элементная база для оптико-электронных датчиков концентрации угольной пыли. Моделируется передаточная функция оптико-электронного датчика в виде интегрального коэффициента пропускания в зависимости от концентрации угольной пыли. Выбор источника и приемника излучения осуществляется аналогично оптико-электронным датчикам газа. Определяется длина пути поглощения, обеспечивающая минимальную погрешность измерения для заданного диапазона концентраций угольной пыли.

В. Моделирование оптико-электронного датчика пламени

При моделировании оптико-электронного датчика пламени входной величиной является поток излучения от очага тления или пламенного горения, а выходным сигналом – сигнал на выхо-

де предварительного усилителя сигнала с фотоприемника.

Моделирование оптико-электронного датчика пламени включает следующие этапы:

1) Моделирование потока излучения поступающего на входной зрачок оптико-электронного датчика пламени при тлении угольной пыли и горении стехиометрической метано-воздушной смеси с учетом влияния промежуточной среды.

При расчете используются подходы, представленные в работах [9], основанные на уравнении переноса излучения и использовании угловых коэффициентов характеризующих излучение, поступающее от очага горения на входной зрачок оптико-электронного датчика.

При этом для расчета оптического излучения пламени принимается допущение о том, что горение стехиометрической метано-воздушной смеси представляет огненный шар. Для расчета тления принимается, что горение отложившейся угольной пыли происходит на площадке квадратной формы [8].

2) выбор элементной базы (фотоприемники) для оптико-электронных датчиков контроля излучения тления и пламени с учетом влияния спектрального коэффициента пропускания промежуточной среды.

Выбор осуществляется на основе определения из набора фотоприемника с наибольшим значением отношения сигнал-шум.

При выполнении расчета в качестве промежуточной среды выступает газозвудушная

смесь с коэффициентом пропускания, полученным при моделировании датчиков концентрации газов и пылевоздушная смесь, полученная при моделировании оптико-электронного датчика концентрации угольной пыли.

Исходные данные для моделирования

Исходные данные для моделирования были выбраны для каждого оптико-электронного датчика (ОЭД) прибора в зависимости от диапазона изменения контролируемого параметра, принципа работы датчика и подхода к моделированию датчика (табл. 1).

Дальнейшая работа направлена на выполнение моделирования многокритериального оптико-электронного прибора контроля аварийных и предаварийных ситуаций в угольных шахтах.

Заключение

Выполнена постановка задачи моделирования многокритериального оптико-электронного прибора контроля аварийных и предаварийных ситуаций в угольных шахтах.

Решены следующие задачи:

– проведен аналитический обзор по теме исследования и по его результатам выбраны необходимые и достаточные физические параметры контроля предаварийных и аварийных ситуаций в угольных шахтах;

– определены диапазоны изменения контролируемых параметров (критериев) для рудничной атмосферы;

– предложена структурная схема много-

Таблица 1. Исходные данные для моделирования

Параметр	Значение
ОЭД концентрации основных газов	
Концентрация CH_4 , об. %	0-2,5
Концентрация CO_2 , об. %	0-2
Концентрация CO , об. %	0-0,01
Спектральные коэффициента поглощения $k(\lambda)$ для CH_4 , CO_2 , CO	Берутся из информационной системы «Спектроскопия атмосферных газов» [12]
Диапазон длин волн излучения λ , мкм	3,2-3,4 для CH_4 ; 4,2-4,3 для CO_2 и 4,4-4,8 для CO
ОЭД концентрации угольной пыли	
Концентрация угольной пыли, г/м ³	0-7
Диапазон длин волн излучения λ , мкм	0,7 – 1,1
ОЭД обнаружения пламенного горения и тления	
Температура горения метано-воздушной смеси, °С	1933
Интегральная степень черноты огненного шара горения метано-воздушной смеси	0,015-0,21
Диапазон длин волн излучения пламенного горения λ , мкм	1 – 5
Температура тления угольной пыли, °С	350-550
Интегральная степень черноты тления угольной пыли	0,7-0,85
Диапазон длин волн излучения тления λ , мкм	от 1 до 4,2

критериального оптико-электронного прибора и возможные варианты технических решений для прибора;

– сформулированы подходы к моделированию многокритериального оптико-электронного прибора;

– определены исходные данные для моделирования.

Контролируемыми параметрами являются: концентрация метана (от 0 до 2,5 % по объему); концентрация диоксида углерода (от 0 до 2 % по объему); концентрация оксида углерода (от 0 до 0,01 % по объему); концентрация угольной пыли (от 0 до 7 г/м³); поток оптического излучения при пламенном горении метановоздушной смеси и тлении угольной пыли.

Многокритериальный оптико-электронный прибор предлагается построить с использованием совокупности оптико-электронных датчиков метана, оксида углерода, диоксида углерода, угольной пыли, оптического излучения тления и пламени.

Подход к моделированию оптико-электронных датчиков измерения концентрации газов заключается в расчете спектрального коэффициента пропускания с использованием закона Бугера-Ламберта-Бера. Подходы к моделированию оптико-электронного датчика измерения концентрации пыли основаны на расчете спектрального коэффициента пропускания газодисперсной среды на базе теории Ми. Подходы, основанные на уравнении переноса излучения и использовании угловых коэффициентов, применяются для расчета излучения, поступающего от очага горения на входной зрачок оптико-электронного датчика пламени.

Исследование выполнено при поддержке гранта Президента РФ, № гранта МК-868.2017.8.

The study was carried out with the support of the grant of the President of the Russian Federation, grant No. MK-868.2017.8.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Sidorenko A.I. Prospects for the development of multicriterion electro-optical system for alarm and pre-emergency situations control in a coal mine / A.I. Sidorenko, S.A. Lisakov, E.V. Sypin // 18th international conference on micro/nanotechnologies and electron devices EDM 2017: Conference proceedings. – Novosibirsk: NSTU, 2017. (Принято в печать 01.02.2017)
2. Положение об аэрогазовом контроле в угольных шахтах. Серия 05. Выпуск 23. – М.: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2013. – 110 с.
3. Айруни, А.Т. Взрывоопасность угольных шахт [Текст] / А.Т. Айруни, Ф.С. Клебанов, О.В. Смирнов. – М.: Издательство "Горное дело" ООО "Киммерийский центр", 2011. – 264 с.
4. Шевцов Н.Р. Взрывозащита горных выработок [Текст] / Н.Р. Шевцов – Учебное пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. - Донецк: ДонНТУ, 2002. 280 с.
5. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах». Серия 05. Выпуск 40. – М.: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2014. – 200 с.
6. ГОСТ Р 55154-2012. Оборудование горно-шахтное. Системы безопасности угольных шахт многофункциональные. Общие технические требования. – М: Стандартинформ. – 2014. – 27 с.
7. Захаренко Д.М. Особенности развития теплофизических процессов самовозгорания и взрыва пыли бурых углей : диссертация ... кандидата технических наук : 01.04.14. – Красноярск, 2001. – 137 с.: ил.
8. Горбунов Н.И. Оптоэлектронные приборы для обнаружения и регистрации электромагнитного излучения / Горбунов Н.И. [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. – 2008. – №1. С. 47–55.
9. Лисаков С.А. Компьютерное моделирование излучения пламени при горении метано-воздушных смесей на начальной стадии развития / С.А. Лисаков, А.И Сидоренко, Е.В. Сыпин, А.Н. Павлов, Г.В. Леонов // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. – 2016. – № 3. – С. 32–41
10. Чудинов, С.Г. Модели и алгоритмы прогнозирования аэрогазовой ситуации для информационно-аналитической системы безопасности шахты : диссертация ... кандидата технических наук : 05.13.01. – Москва, 2009. – 156 с. : ил.
11. Васильев А.О. Метод измерения суммарной концентрации предельных углеводородов в газовой среде по поглощению инфракрасного излучения. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Санкт-Петербург. – 2012. – 17 с.
12. Моделирование характеристик оптических газовых сенсоров на основе диодных оптопар среднего ИК-диапазона спектра / С.Е. Александров, Г.А. Гаврилов, А.А. Капралов, Б.А. Матвеев, Г.Ю. Сотникова, М.А. Ременный // Журнал технической физики, 2009, том 79, вып. 6. – С. 112–118.
13. Михайленко С.Н., Бабиков Ю.Л., Головкин В.Ф. Информационно-вычислительная система "Спектроскопия атмосферных газов". Структура и основные функции // Оптика атмосферы и океана. 2005. Т. 18, № 09. С. 765-776.
14. Лисаков С.А. Определение ослабления оптического излучения в газодисперсной системе «угольная пыль–воздух» / С.А. Лисаков, Е.В. Сыпин, А.Н. Павлов, Г.В. Леонов // Научно-технический вестник Поволжья. – 2015. – № 5. – С. 217–222.
15. Лисаков С.А. Моделирование ослабления оптического излучения в газодисперсной системе «угольная

пыль-воздух»/ С.А. Лисаков, Е.В. Сypин, А.Н. Павлов, Г.В. Леонов // *Фундаментальные исследования*. – 2015. – № 12. – С. 288–296.

REFERENCES

1. Sidorenko, A.I., Lisakov, S.A., & Sypin, E.V. (2017). Prospects for the development of multicriterion electro-optical system for alarm and pre-emergency situations control in a coal mine. *18th international conference on micro/nanotechnologies and electron devices EDM 2017: Conference proceedings*. Novosibirsk: NSTU [in English].
2. Polozhenie ob aehrogazovom kontrole v ugolnykh shakhtakh [Regulation on air-gas control in coal mines]. (2013). Moscow: *Zakrytoe akcionernoe obshchestvo «Nauchno-tekhnicheskij centr issledovanij problem promyshlennoj bezopasnosti» - Scientific Technical Center for Industrial Safety Problems Research*, V 05, 23 [in Russian].
3. Airuni, A.T., Klebanov, F.S., & Smirnov, O.V. (2011). *Vzryvoopasnost ugolnykh shakht [Coal mine explosion danger]*. Moscow: Gornoe delo [in Russian].
4. Shevtsov, N.R. (2002). *Vzryvozashchita gornyx vyrabotok [Mine openings explosion protection]*. Donetsk: DonNTU [in Russian].
5. Federalnye normy i pravila v oblasti promyshlennoj bezopasnosti «Pravila bezopasnosti v ugolnykh shakhtakh». [Federal rules and regulations in the field of industrial safety "Safety Rules in Coal Mines"]. (2014). *Zakrytoe akcionernoe obshchestvo «Nauchno-tekhnicheskij centr issledovanij problem promyshlennoj bezopasnosti» - Scientific Technical Center for Industrial Safety Problems Research* [in Russian].
6. GOST R 55154-2012. *Oborudovanie gorno-shahtnoe. Sistemy bezopasnosti ugolnykh shakht mnogofunkcionalnye. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya [Mining equipment. Multifunctional coal mine safety systems. General technical requirements]*. (2014). Moscow: Standartinform [in Russian].
7. Zaharenko, D.M. (2001). Osobennosti razvitiya teplofizicheskikh processov samovozgoraniya i vzryva pyli burykh uglej [Brown coal dust spontaneous combustion and explosion thermophysical processes development peculiarities]. *Candidate's thesis*. Krasnoyarsk [in Russian].
8. Gorbunov, N.I. et al. (2008). Optoelektronnye pribory dlya obnaruzheniya i registracii ehlektromagnitnogo izlucheniya [Optoelectronic devices for detection and recording of electromagnetic radiation]. *Pozharovzryvbezopasnost – Fire and Explosion Safety*, 1, 47-55 [in Russian].
9. Lisakov, S.A., Sidorenko, A.I., Sypin, E.V., Pavlov, A.N., & Leonov, G.V. (2016). *Kompiuternoe modelirovanie izlucheniya plameni pri gorenii metano-vozdushnykh smesey na nachalnoj stadii razvitiya [Computer simulation of flame radiation during combustion of methane-air mixtures at the initial stage of development]*. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Sistemnyj analiz i informacionnye tekhnologii – Voronezh State University Herald*, 3, 32–41 [in Russian].
10. Chudinov, S.G. (2009). Modeli i algoritmy prognozirovaniya aehrogazovoj situacii dlya informacionno-analiticheskoy sistemy bezopasnosti Shakhty [Models and algorithms for forecasting the air and gas situation for the information-analytical system of mine safety]. *Candidate's thesis*. Moscow [in Russian].
11. Vasiliev, A.O. (2012). Metod izmereniya summarnoj koncentracii predelnykh uglevodorodov v gazovoj srede po pogloshcheniiu infrakrasnogo izlucheniya [The method of the limiting hydrocarbons total concentration measuring in a gaseous medium by the absorption of infrared radiation]. *Candidate's thesis*. St Petersburg [in Russian].
12. Aleksandrov, S.E., Gavrilov, G.A., Kapralov, A.A., Matveev, B.A., Sotnikova, G.Yu., & Remennyj M.A. (2009). Modelirovanie harakteristik opticheskikh gazovykh sensorov na osnove diodnykh optopar srednego IR-diapazona spectra [Optical gas sensors characteristics modeling based on diode optocouplers of the middle IR spectral range]. *Zhurnal tekhnicheskoi fiziki – Technical Physics Magazine*, V. 79, 6, 112-118 [in Russian].
13. Mihailenko, S.N., Babikov, Yu.L., & Golovko, V.F. (2005). Informacionno-vychislitel'naya sistema "Spektroskopiya atmosferykh gazov". Struktura i osnovnye funktsii [Information-computing system "Spectroscopy of atmospheric gases". Structure and main functions]. *Optika atmosfery i okeana - Optics of the atmosphere and the ocean*. V. 18, 9, 765-776 [in Russian].
14. Lisakov, S.A., Sypin, E.V., Pavlov, A.N., & Leonov, G.V. (2015). Opredelenie oslableniya opticheskogo izlucheniya v gazodispersnoi sisteme «ugolnaya pyl – vozdukh [Optical radiation attenuation determination in the gas-dispersed system "coal dust-air"]. *Nauchno-tekhnicheskij vestnik Povolzhia - Volga region scientific and technical herald*, 5, 217-222 [in Russian].
15. Lisakov, S.A., Sypin, E.V., Pavlov, A.N., & Leonov, G.V. (2015). Modelirovanie oslableniya opticheskogo izlucheniya v gazodispersnoi sisteme «ugolnaya pyl-vozdukh [Optical radiation attenuation simulation in a gas-dispersed coal dust-air system]. *Fundamentalnyie issledovaniia – Fundamental researches*, 12, 288-296 [in Russian].

IV. ПРОБЛЕМЫ И СУЖДЕНИЯ PROBLEMS AND OPINIONS

УДК 550.34

ДВИЖЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗАРЯДА, ЦЕПНАЯ ХИМИЧЕСКАЯ РЕАКЦИЯ, МАГНИТОСТРИКЦИЯ КАК ИСТОЧНИКИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И ВНЕЗАПНЫХ ВЫБРОСОВ

ELECTRIC CHARGE MOVEMENT, CHAIN CHEMICAL REACTION, MAGNETOSTRICTION AS SOURCES OF EARTHQUAKES AND SUDDEN OUTBURSTS

С. В. Бычков – горный инженер-сейсмолог,
BCV6B3N0, Ванкувер, Канада

S. V. Bychkov – mining engineer – seismologist,
Vancouver, BCV6B3N0, Canada



С.В. Бычков
serguei58@rambler.ru

Необъяснимый на сегодня механизм землетрясений, горных ударов и внезапных выбросов пород и газов в шахтах заставляет учёных по всему миру вновь и вновь пристально пересматривать накопленный практический опыт изучения этих грозных явлений в поисках решений, связанных с их прогнозированием и предотвращением. Годы идут, количество жертв природных катаклизмов растёт, а ответов на поставленные вопросы, к великому сожалению, как не было, так и нет. Образовался тупик, из которого нет выхода, и изучение газодинамических явлений в горном массиве превратилось в ходьбу по заколдованному кругу. Стало совершенно очевидно, что в процессе изучения этого горного явления, исследователями была допущена стратегическая ошибка, как в практике изучения процесса, так и в теоретическом его объяснении и, как следствие, исследователи ступили на ложный путь, объясняющий весь процесс землетрясений, горных ударов и внезапных выбросов. Ложный путь, ведущий в никуда. В настоящий момент главной задачей исследователей является отказ от сложившихся ложных стереотипов понимания и изучения процессов, приводящих к драматическому изменению состояния горного массива. Именно в отказе от ложных теорий и принятии на вооружение новых подходов и идей по происхождению газодинамических явлений в горном массиве видится залог будущего успеха. Есть надежда, что ответом на вызов природы послужит гипотеза Деформационного взрыва пород горного массива.

The inexplicable by now mechanism of earthquakes, rock shocks and sudden outbursts of rocks and gases in mines forces scientists around the world again and again to review the accumulated practical experience of studying these formidable phenomena in search of solutions related to their forecasting and prevention. Years go by, the number of natural disasters victims grows, and there are no answers to the questions put, unfortunately, as there were no answers before. A dead end emerged, from which there is no way out, and the study of gas-dynamic phenomena in the rock massif turned into walking along an enchanted circle. It became quite obvious that in the process of studying this mine phenomenon, researchers made a strategic mistake, both in the practice of studying the process and in its theoretical explanation, and as a consequence, the researchers went along the wrong path explaining the whole process of earthquakes, rock shocks and sudden outbursts. A false path leading to nowhere. At the moment, the main task of researchers is to abandon the established false stereotypes of understanding and studying the processes that lead to a dramatic change in the state of the rock massif. It is precisely in the rejection of false theories and the adoption of new approaches and ideas on the of gas dynamic phenomena origin in the rock massif that a pledge of future success is seen. There is a hope that the answer to the challenge of nature will be the hypothesis of the rock massif deformation explosion.

Ключевые слова: ГОРНЫЕ УДАРЫ, ВНЕЗАПНЫЕ ВЫБРОСЫ ПОРОД И ГАЗОВ В ШАХТАХ, ГОРНОЕ ДАВЛЕНИЕ, ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ, ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЗАРЯД, ТОК САМОИНДУКЦИИ, ЦЕПНАЯ ХИМИЧЕСКАЯ РЕАКЦИЯ, ДЕФОРМАЦИОННЫЙ ВЗРЫВ

ПОРОД, МАГНИТОСТРИКЦИЯ

Key words: *ROCK SHOCKS, SUDDEN OUTBURSTS OF ROCK AND GASES IN THE MINES, ROCK PRESSURE, EARTHQUAKE, ELECTRIC CHARGE, SELF-INDUCTANCE CURRENT, CHAIN CHEMICAL REACTION, ROCK DEFORMATION EXPLOSION, MAGNETOSTRICTION*

Теоретическая часть:

Сегодня у специалистов горной науки нет возможности прогнозировать и предотвращать горные удары и внезапные выбросы в шахтах. Накопленный практический опыт наблюдений газодинамических явлений и современные устоявшиеся знания, вытекающие из существующих теорий, не приносят результатов. Данная статья предлагает горным специалистам применить в своих изысканиях ту часть гипотезы Деформационного взрыва [1] пород в горном массиве, которая касается газодинамических событий [2,3] в шахтах. Задачей работы является обоснование необходимости ревизии современных теорий горных ударов и внезапных выбросов, а также методов их прогноза и предотвращения с учётом цепных химических реакций в горном массиве, приводящих к Деформационному взрыву горных пород. Член-корреспондент РАН Г. Грицко отметил в своей работе [4]: «Современные научные представления о происходящих процессах при горных ударах и внезапных выбросах в шахтах не соответствуют реальным процессам. Следует с горечью констатировать, что эффективных методов прогноза и борьбы с внезапными выбросами метана в угольных шахтах пока нет. Нет и программ создания новых научных основ для познания и предотвращения этих явлений. А безопасность добычи угля нужна здесь и сейчас». Таким образом, хорошо известный в горном мире учёный признал, что современный уровень знаний, на котором основаны теории газодинамических явлений в шахтах, не соответствует происходящим в горном массиве процессам, а значит, наши знания теоретических основ этого механизма построены на ошибочной теории, либо в этой теории существуют значительные пробелы, которые не позволяют понять суть происходящих процессов, связанных с горными ударами и внезапными выбросами.

Согласно существовавшей много лет классической теории [5, 6], горный удар происходит за счёт потенциальной энергии упругого сжатия горного массива, когда при изменении горного давления деформации напряжённого состояния какой-то его части не успевают релаксировать, что приводит к внезапному разрушению части горного массива шахтного поля. Горный удар может сопровождаться выносом пород и газов в горную выработку в виде внезапного выброса с частичным или полным разрушением выработ-

ки, а может просто сопровождаться сильным звуковым эффектом и ударным действием на борта, кровлю или почву выработки. Наиболее близко в объяснении механизма горного удара подошёл российский учёный В. В. Кузнецов [7], который в своей работе рассмотрел горный удар как проявление действия ударной волны на стенку горной выработки. Но описанный им механизм воздействия горного удара сам по себе ничего не значит и не имеет практического значения, так как сама причина горного удара не раскрыта. В отличие от землетрясений, очаг которого невозможно изучить, учёные с самого первого отмеченного случая горного удара в 1738 году в Англии и первого внезапного выброса в 1834 году во Франции имели доступ к месту проявления горных ударов и внезапных выбросов, могли проводить визуальные и инструментальные наблюдения и собирать практический материал. За много лет учёными разных стран была проделана колоссальная работа по систематизации накопленного материала, на основе которого нарабатывались методы прогноза и предотвращения газодинамических явлений в шахтах. Но в какой-то момент изучение природы и механизма этих явлений пошло по ложному пути, и сложившийся в научной среде стереотип процесса не позволил обоснованно и надёжно прогнозировать и предотвращать эти явления в шахтах. С появлением гипотезы Деформационного взрыва пород в горном массиве у горных специалистов появилась возможность отойти от сложившихся стереотипов и на основе предложенной модели объяснить суть происходящего события в горном массиве с целью максимального на него воздействия по предотвращению горных ударов и внезапных выбросов. Следует отметить, что в отличие от современных взглядов горных инженеров, считающих горный удар и внезапные выбросы разными явлениями, по теории Деформационного взрыва пород горного массива явления горного удара и внезапного выброса представляет собой один процесс. По своей сути, горные удары и внезапные выбросы – это те же землетрясения, происходящие в шахтах, но в гораздо меньших масштабах как по выделенной энергии, так и по воздействию на окружающую среду, но которые приводили к катастрофическим последствиям с большим количеством жертв. Горные удары могут приобретать разнообразные формы воздействия на

горный массив в зависимости от вида пород, глубины разработки, формы выработки, геологии и гидрогеологии участка, расположения участка горных работ относительно целиков, барьеров, а также от видов применяемого шахтного оборудования. Хотя к настоящему времени всесторонне разработанная теория горных ударов не существует, исследователям из практического опыта обследования мест их проявлений было известно, какие факторы и условия приводят к возникновению этого явления. С учётом этого учёные методом проб и ошибок и пытались объяснить суть происходящих газодинамических явлений в шахтах, основные положения, которые строились на возможных проявлениях горного удара от воздействия горного давления в породах горного массива. До настоящего момента существует две классические точки зрения на причины разрушения пород при горном ударе. Одна из них сводится к тому, что горный удар происходит в результате развития деформаций пород с разрывом сплошности в направлении, нормальном к направлению приложения нагрузки. Другая точка зрения состоит в том, что разрушение горного массива происходит под действием касательных напряжений, возникающих при действии неравномерных деформаций в краевых частях массива. И. М. Петухов – профессор российской горной науки в области горных ударов – сформулировал следующие два принципиальных положения относительно механизма горных ударов: «1. Горный удар является следствием нарушения равновесия всей системы "блок породы — полезное ископаемое" и 2. Горный удар возможен в том случае, если скорость деформации, обусловленная нарастанием удельного давления, превысит максимально возможную скорость пластического деформирования для данной части массива, находящейся в предельно напряженном состоянии». Прошу обратить внимание на слова профессора «скорость деформации». Другой профессор советской горной науки – С. Г. Авершин – рассматривал горный удар как хрупкое разрушение пород в результате возникающих разрывных деформаций. Сам механизм возникновения горного удара, по С. Г. Авершину, представляется следующим образом: «При ведении горных работ в сильно напряженных участках массива начинают развиваться локальные разрушения, даже в условиях всестороннего сжатия. Особенно это характерно для краевых частей массива, где напряженное состояние обуславливается воздействием опорного давления. В пределах этой зоны возникают трещины, её поверхность ока-

зывается в состоянии, свободном от напряжений, и вокруг неё в ничтожно малый отрезок времени создаются очень большие напряжения. Такой мгновенный перепад напряжений в определенных условиях критического состояния массива может явиться началом прогрессирующего разрушения перенапряженного участка массива, при этом область концентрации напряжений перемещается на другие участки массива». Как видим, говоря о «мгновенном перепаде напряжений», профессор Авершин повторил смысл сказанного проф. Петуховым «скорость деформации». Эти два великих горных инженера были недалёко от положений Деформационного взрыва, хотя и не имели представления о его механизме. Интуиция учёных подсказывала им, что дело заключается в скорости и величине изменения горного давления. В отношении механизма внезапных выбросов также высказывались различные точки зрения. Одни горные инженеры приписывают основную роль газовому фактору, другие – напряжённому состоянию горного массива. Наиболее признана теория профессора Ходота В.В., который обосновал Энергетическую теорию внезапных выбросов [8]. Обратите внимание, эта теория была разработана в 1952 году и с тех пор не претерпела почти никаких изменений! Дело в том, что с тех пор не было предложено никаких теорий, принципиально отличающихся от теории В.В. Ходота. Исключение из этого составляет гипотеза разложения газовых гидратов, которая была предложена сравнительно недавно. Энергетическая теория заключается в скачкообразном (обратите внимание на слово «скачкообразное» и сравните его со словами, отмеченными мною у проф. Петухова и проф. Авершина) изменении напряженного состояния горного массива в результате различных факторов: взрывной отбойки, сотрясательного взрывания, механического внедрения в массив рабочего органа, подхода выработки к тектоническому нарушению, вскрытия забоем выработки пласта или слоя, резко отличного по своим деформационным и прочностным характеристикам, динамической нагрузки в призабойной части массива в связи с обрушением зависших горных пород и пр. В соответствии с такими представлениями процесса горного удара и внезапного выброса и была разработана концепция их энергетического баланса. Эту концепцию мы можем встретить в различных учебных пособиях по горному делу, которая звучит так: «При динамических явлениях накопленная в очаге потенциальная энергия преобразуется в другие виды энергии и совершает определённые виды энергетических за-

трат: работу хрупкого разрушения и дробления полезного ископаемого и породы в очаге удара, работу при пластических деформациях, работу по выбросу в выработку части полезного ископаемого». К сожалению, концепция Энергетической теории показывает только направление движения и, как мы видим из практики математического вычисления баланса, ничего конкретного в определении самого энергетического баланса. Именно это имел в виду член-корреспондент РАН Г. Грицко, говоря о несоответствии теории реальным проявлениям внезапных выбросов. Всё, что мы имеем на сегодня, это набор эмпирических формул, с помощью которых можно получать любые значения в зависимости от увиденного в шахте результата воздействия на горную выработку горного удара. Действительно, в многочисленных диссертациях и научных работах мы видим множество различных подходов и формул для определения главной составляющей горного удара - потенциальной энергии горного массива. А в реальности? Как определить накопленную за миллионы лет горным массивом потенциальную энергию очага горного удара и какую её часть проявит горный массив? От чего будет зависеть эта часть? Может, определять её, как делают соискатели научных степеней, через горное давление на глубине выработки в зависимости от удельного веса пород, то есть через гравитационную составляющую? Как мы все знаем, это крайне сомнительный метод. Это всё равно, что определять горное давление на крепь по весу свода обрушаемых пород без учёта физико-механических свойств горных пород, структуры напластований и горно-геологических условий. А как быть с тектонической составляющей, которая является неотъемлемой и немалой частью потенциальной энергии накопленной массивом? Определять её сейсмологическим методом, так как по-другому никак нельзя? Но сейсмологи сами в этом вопросе такого эмпирического забора нагородили, что неизвестно, как использовать их труды применительно к горным ударам. Одних только методов расчёта магнитуд землетрясений у геофизиков существует не один десяток [9]. Какие ещё параметры необходимы для расчётов энергетического баланса? Площадь горного удара? С внезапным выбросом это худо-бедно ясно, а как определить площадь горного удара, если очаг горного удара скрыт от наблюдения в глубине горного массива? Эмпирическим путём через работу горного удара? А как определить работу горного удара? Через погнутую крепь горной выработки? А как быть с рассеянной и поглощён-

ной окружающим массивом энергией? Какая её часть участвует в общем процессе? Как её определить? Теоретически это можно сделать, измерив амплитуду колебаний кровли, бортов и почвы выработки в момент горного удара и попытаться вывести баланс через волновую функцию, но кто это делал и будет ли делать? Ведь для этого надо точно предугадать, где и когда произойдёт горный удар, а этого пока никто до настоящего времени сделать не смог. Это что касается горного удара и далеко не полного списка вопросов, возникающих при определении энергетики данного события, а для внезапного выброса современная наука ввела в эти формулы ещё много-много других дополнительных кинетических параметров, связанных с давлением газа в очаге выброса, которые также могут изменить результат вычисления на порядок, два порядка, три. Это смотря кто и как будет вести расчёты и какие «поправочные» коэффициенты он будет применять в своей диссертации. А ведь и применяют, и делают такие расчёты! И это несмотря на то, что из практического опыта хорошо известно, что между давлением газа в горном массиве и внезапным выбросом нет абсолютно никакой связи. Никакой. Иначе чем объяснить то, что даже при давлении газа в массиве свыше 30 кгс/см^2 выбросы не происходят, а где-то при давлении газа всего $2-5 \text{ кгс/см}^2$ горная масса с удивительной лёгкостью превращается в «бешеную муку» выброса. Или взять парадокс углекислого газа, который при одинаковом давлении в массиве с метаном выдаёт выброс почти на порядок мощнее. Невероятно, давление газа одинаковое, а выброс мощнее! Сегодня со всей очевидностью стало ясно, что если практические показатели газодинамического удара и механизма его проявления расходятся с теоретическими выкладками, то настало время коренным образом пересмотреть теории происхождения этих явлений. Как было отмечено выше, новую струю в исследование газодинамических процессов в шахтах внесли учёные, изучающие газовые гидраты. В начале работ с газовыми гидратами у учёных возникла большая надежда, что наконец-то у них появился шанс объяснить механизм горных ударов и выбросов. Казалось всё так просто - природа создаёт гидраты, которые, разлагаясь в горном массиве, и создают зоны высокого давления газа, который при резкой разгрузке массива внезапно переходит в свободное состояние и устраивает «ад» в горной выработке. Вот откуда в горном массиве в таких больших объёмах берётся газ, вот откуда возникает огромное давление газа, вот почему

этот газ с лёгкостью рушит крепление горных выработок, выламывает из горного массива тысячи тонн горной массы и отшвыривает её на сотни метров. Горные инженеры, затаив дыхание, принялись изучать свойства гидратов, условия их образования и распада, чтобы выработать действенные меры, ограждающие подземные выработки от пагубного воздействия газодинамических проявлений. Идея с гидратами оказалась до того многообещающей и понятной, что, когда появились первые сомнения в её состоятельности, некоторые учёные пытались сгладить возникающие противоречия с практикой за счёт объединения гидратной теории с существующими устаревшими теориями. Например, в работе [10] делается упор на то, что помимо гидратного газа в процессе участвует и газ, образовавшийся в горном массиве в результате механохимического разложения угля. Именно суммарное воздействие этих газов и является причиной выбросов. В чём здесь трюк и какое противоречие хотели обойти учёные? А противоречие состоит в том, что при разложении гидратов выделяется большое количество воды, а горный опыт говорит, что никакой воды после выбросов, или даже незначительного увлажнения угля, никогда не наблюдалось. Существует и второе противоречие, а именно: при выбросах газ в выработке появляется внезапно и его всегда гораздо больше, чем могло быть при естественной дегазации пласта. Авторы, чтобы найти выход из тупика и вводят в процесс механохимический газ, который, как известно, не выделяет воду и которым можно объяснить отсутствие воды при выбросах. А ещё и объяснить количество газа. Но тогда сколько гидратного газа будет участвовать в выбросе? Пара кубометров? Зачем их вообще учитывать? Пытаясь выйти из следующего тупика, который заключается в том, что в пластах угля нет полостей для образования гидратов и по этой причине никто нигде и никогда из шахтёров не встречал в шахтах гидратов, авторы предположили обходной маневр, который заключается в том, что «в геологических нарушениях пластов могут находиться зоны, в которых сохранились локальные скопления реликтовых гидратов метана в метастабильном состоянии». Однако выбросы и горные удары случаются и не в зонах геологических нарушений. Как их объяснить? То есть гипотеза работает только частично и избирательно: там работает, а в другом месте нет? Выбросы ещё как-то можно объяснить высоким давлением газа, прорвавшегося в выработку из разложившегося гидрата, а как объяснить горные удары? Куда прячется

высоконапорный газ из разложившегося гидрата после горного удара? К тому же и в зонах нарушения никто из шахтёров никогда не встречался с гидратами. Никогда и нигде. А низкие температуры, которые необходимы для существования гидратов? У нас что – холодильники в шахтах? Возникает вопрос: почему многие учёные, видя несоответствие параметров образования и разложения гидратов, всё-таки попытались почти наперекор очевидности всеми силами привязать гидраты к проблеме выбросов? А потому, что это направление открывало огромную перспективу в предотвращении газодинамических явлений в шахтах. После застарелых теорий, ведущих в никуда, появилась отдушина в виде гидратов, способных реально создать что-то напоминающее выброс газа высокого давления. Именно образование больших объёмов газа и привлекло внимание горных инженеров. Тогда в теории газодинамических явлений всё, как в сказке, стало своим местом: и большое количество газа, взявшееся из ниоткуда, и его высокое давление, и внезапность. Но сказки не получилось, как и неудавшаяся попытка выдать желаемое за действительное.

Теперь давайте рассмотрим теорию Деформационного взрыва пород как механизм землетрясений применительно к горным ударам и выбросам и определим, а не получится ли так, как получилось с газовыми гидратами. Итак, основной идеей Деформационного взрыва является утверждение того, что весь процесс построен на скачкообразном изменении горного давления в массиве и исходе газов из кристаллической решётки пород горного массива. Это порождает перестройку кристаллической решётки, и, следовательно, вся запасённая энергия сжатия кристаллической решётки реализуется в виде ударной волны. Если рассматривать процесс землетрясения и внезапного выброса с самого начала, то есть от начала формирования горного массива, то за многие миллионы лет газы атмосферы, газы углеводородов, магматические и другие газы под действиями высоких температур и горного давления сорбировались в горный массив в виде адсорбции, абсорбции и хемосорбции и образовывали связи с молекулами пород горного массива под действием сил молекулярного притяжения, диффузии, в результате чего создавались связи с образованием устойчивых химических соединений, то есть в породах образовывались твёрдые растворы газов. Такая возможность была доказана российскими учёными, которые выполнили комплексные исследования по накачке пород газом (И.Л.Гуфельд,

ОИФЗ РАН совместно с коллективом НПО «Луч» МинАТОМа); исследования А.Ю. Намиота, М.М. Бондарева из Института Нефти, Л.Л. Шанина из ИГЕМ, В.В. Чердынцева из ГИН и другие. Эти исследования подтвердили, что при повышенных температурах и давлениях газы, преодолевая энергетическое сопротивление кристаллических связей минералов и пород (включая алмазы!), вторгаются внутрь их структур и переводят системы в метастабильную субстанцию. Фотографии угля с твёрдым раствором метана на электронном микроскопе выполнил профессор А.Т. Айруни. По милости природы мы получили целые горные зоны пород с накаченными в них газами. Теперь природе остаётся найти «запал» для этой готовой «бомбы», чтобы при стечении определённых горных факторов прогремел взрыв. Этим «запалом» и являются свободные радикалы, которые образуются в горном массиве при резком падении горного давления. Характер Деформационного взрыва, как процесса, хорошо понятен и объясним в сравнении с Холодным взрывом. Холодный взрыв - явление цепной химической реакции, происходящей при охлаждении до температур, близких к абсолютному нулю. Эффект был открыт в 1980 году в Институте химической физики Академии Наук СССР. Первоначально реакция была обнаружена для смеси метил циклогексана и хлора, охлаждённой до температуры ~ 10 °K. Смесь быстро охлаждалась, и в диапазоне температур от 60 до 10 °K происходил взрыв. Инициирование образования свободных радикалов производилось лучом лазера. Механизм возникновения и прохождения цепной реакции объясняется наличием в образце деформаций сжатия, возникающих при быстром охлаждении. При резком понижении температуры деформации в образце не успевают релаксировать, что приводит к образованию цепной реакции свободных радикалов. За доли секунды их число лавинообразно нарастает, что приводит к взрыву. Отличие Деформационного взрыва от Холодного взрыва заключается в том, что в породе при очень быстром снятии горного давления возникают не деформации сжатия, а деформации мгновенного растяжения. А дальше всё происходит, как при Холодном взрыве: напряжения в горном массиве при его резкой разгрузке не успевают релаксировать, в породе происходит образование лавинообразного потока свободных радикалов, что приводит к цепной химической реакции, которая порождает Деформационный взрыв, а он в свою очередь - ударную волну. Резкое изменение горного давления выступает инициато-

ром образования свободных радикалов, как луч лазера при Холодном взрыве. С учётом вышеизложенного рассмотрим полную схему образования очага горного удара и внезапного выброса или землетрясения. Так как горное давление миллионы лет сдавливало электронные оболочки атомов породы и растворённых в ней газов, то они в результате этого уменьшились в размере пропорционально сжатию, а вся энергия сжатия породы горного массива перешла в потенциальную энергию электронных оболочек, создав высокоэнергичные зоны будущих очагов горных ударов и внезапных выбросов. Теперь в этой зоне в случае инициирования процесса резким изменением горного давления начнётся цепная химическая реакция образования свободных радикалов и произойдёт Деформационный взрыв. Чтобы расставить все точки над важной темой образования свободных радикалов в горном массиве, без которых эта теория не будет работать, представьте себе модель атома Томсона, наиболее простую для понимания, которую физики в шутку называли *Сливочный пудинг*, но которая тем не менее по физической сути мало чем уступает моделям ядра Резерфорда и Бора. Давайте вместо «пудинга» (ядра), начинённого «орехами» (электронами), представим теннисный мяч, «утыканный» электронами. Теперь бросим мяч в стенку. Момент удара мяча в стенку будет имитировать момент резкого снятия горного давления. Наш «мяч-пудинг» (атом) отскочит от стенки, а вот некоторые «орехи» (электроны) останутся на ней в силу собственной большой кинетической энергии и второй силы, вызванной явлением всем понятной инерции, которые в сумме окажутся больше кулоновской силы. В итоге наш «пудинг - мяч – ядро» потеряет свои «орехи – электроны» и превратится в свободный радикал. Если кто-то думает, что для отрыва электрона от ядра требуются большие энергии, то я отсылаю их к хорошо известным и давно измеренным энергиям ионизации. Например, энергия ионизации атома водорода составляет всего 13,6 эВ. Маленькие значения энергий ионизации легко объяснимы и понятны, ибо в противном случае в мире не происходили бы химические реакции. Говоря о явлении инерции, я прежде всего имею в виду хорошо нам известную со школьной скамьи энергию самоиндукции. Именно эта энергия позволяет электронам в некоторых случаях перескочить с орбиты на орбиту и уйти в пространство. Если говорить с позиции квантовой физики, то именно волновая функция энергии самоиндукции выступает в роли туннельного эффекта, который физики

объясняют принципом неопределённости, открытым В. Гейзенбергом. Никакой неопределённости в данном конкретном случае не существует, туннельный эффект определённо вызван волновой функцией энергии самоиндукции. Но об этом очень важном моменте чуть позже. Для чистоты рассуждений давайте рассмотрим и более современную конструкцию - модель Бора. Электроны на высокой стационарной орбите, получив потенциальную энергию от резкой смены горного давления, не могут покинуть атом по причине кулоновской силы, а электроны с низшей орбиты, также получившие энергию от смены горного давления, не могут занять запрещённый им высший уровень, пока там находятся другие электроны. Атом будет находиться в таком возбуждённом состоянии, пока со временем не рассеет свою потенциальную энергию. Но проблема в том, что при резком снятии горного давления время на релаксацию (рассеивание энергии) нет, и электроны низкой орбиты вынуждены вытеснить электроны с высшей орбиты (одинаковые заряды отталкиваются), передав ему (им) часть кинетической энергии для того, чтобы он (они) преодолели кулоновское притяжение. Для полноты картины прибавьте сюда энергию самоиндукции, возникающей при резком снятии горного давления, которая буквально подталкивает электроны и вносит свою роль в процессе образования свободного радикала. Если же мы выше упомянули туннельный эффект, то давайте рассмотрим атом и Деформационный взрыв и с этой стороны. Если рассматривать момент образования свободного радикала, к примеру, гидроксила ОН с точки зрения квантовой модели атома, то получается следующая картина: существующие у атома кислорода две потенциальные ямы заняты электронами. При воздействии на молекулы горного давления, как и в классической модели Бора, электроны из первой ямы, получив потенциальную энергию от воздействия горного давления в массиве, не могут совершить квантовый прыжок во вторую яму. Они «рады и уже готовы сделать это», у них достаточно для этого энергии, но, «к сожалению», яма занята, «а прыгнуть на голову своим собратьям» им запрещается. А электроны из второй ямы, получив избыточную энергию давления горного массива, не могут совершить квантовый прыжок в пространство, чтобы покинуть молекулу. Совершить квантовый прыжок им не даёт кулоновская энергия в виде волновой функции, известной как потенциальный барьер. При резком падении горного давления за счёт того, что волновая функция энергии самоиндукции находится в од-

ной фазе с волновой функцией энергии электрона и в противофазе волновой функции энергии притяжения электронов к ядру происходит понижение потенциального барьера от каких-то максимумов до каких-то минимумов, что значительно повышает вероятность протекания процесса квантования электронов. Очевидно, что эта вероятность будет возрастать с увеличением амплитуды волновой функции энергии самоиндукции, эта вероятность есть не что иное, как знаменитый туннельный эффект, который и создаёт дополнительную возможность квантового прыжка для некоторых электронов. Таким образом, электроны из второй ямы либо «перескакивают» потенциальный барьер, либо проходят через туннель (скорее всего возможны обе вероятности), превращая тем самым молекулу или атом в свободный радикал или ион, а электроны из первой ямы получают возможность совершить квантовый прыжок во вторую яму.

Как мы видим, все три известные на сегодняшний день модели атома прекрасно объясняют процессы образования свободных радикалов и ионов с позиции движения электронов в горном массиве и возникающей при этом энергии самоиндукции. Именно с появлением на «сцене» энергии самоиндукции всё становится на свои места. В горном массиве появляются свободные радикалы или ионы. Начинается процесс цепной химической реакции, энергия которой в сумме с энергией, выделившейся при изменении формы кристаллической решётки, вызывает сейсмический удар. Но возникает вопрос: почему автор привязал к горному давлению явление самоиндукции? При чём здесь электричество и землетрясения? При чём здесь движение заряда по проводнику и внезапный выброс? В этом и заключается особенность теории Деформационного взрыва. Давайте рассуждать. Что из себя представляет электрон? Ответ только один. Электрон есть заряженная частица. Это давно известно и сомнению не подлежит никаким образом. При снятии горного давления происходит изменение размеров атома, а значит, электроны приходят в движение и начинают с ускорением по спирали отдаляться от атома. Сила, которая его «гонит прочь», является кулоновская сила, возникшая как производная от силы объёмного сжатия массива. Эта сила, как сжатая пружина, постарается отодвинуть электрон на положенную ему орбиту, после чего начнёт тормозить движение электрона от ядра, стараясь удержать его на орбите. Как мы знаем из курса школьной физики, при движении заряда (электрона) возникает электрический ток, а так как движение

происходит с ускорением, то сила тока будет меняться. Вокруг заряда возникнут электрические и магнитные поля. В результате изменения силы тока произойдёт изменение магнитного поля, что повлечёт за собой появление индукционного тока, названный Фарадеем током самоиндукции, который, в свою очередь, вызовет появление поля самоиндукции. Именно ток самоиндукции при торможении электрона кулоновской силой начнёт ей активно противодействовать и вытеснять электрон за пределы атома, а говоря языком квантовой теории, создаст туннель, через который электрон, возможно, пройдёт потенциальный барьер. В итоге получается такая схема: при резкой разгрузке горного массива начинается ускоренное движение электронов за счёт накопленной потенциальной энергии сжатия кристаллических решёток пород в виде реакции на это сжатие кулоновской силы. При ускоренном движении электронов возникнет ток самоиндукции, который в начале процесса движения электрона будет тормозить его, а потом в противовес кулоновской силы станет отталкивать электрон от атома. Если у электрона с помощью тока самоиндукции хватит энергии уйти от ядра атома, то возникнет свободный радикал, который в свою очередь запустит цепную химическую реакцию. При цепной химической реакции газ, растворённый в породе в виде твёрдого раствора, начнёт переходить в свободное состояние и покидать места, занимаемые им в кристаллической решётке породы. Кристаллические решётки начнут принимать первоначальную форму, в результате которой выделится потенциальная энергия, затраченная горным массивом на сжатие пород. В результате этого обязательно возникнет магнитоупругий эффект Виллари. Но так как при движении заряда возникает магнитное поле, то возникнет явление обратное эффекту Виллари - явление магнитострикции. Очевидно, что частота этих родственных процессов в массиве с одними физическими свойствами будет почти всегда совпадать с возможностью резонанса горного массива. Но даже без достижения резонанса эти два эффекта начнут «раскачивать» горный массив, то сжимая его, то разжимая. Явлением магнитострикции можно объяснить хорошо известные, предваряющие внезапные выбросы шелушение забоя, стреляние забоя кусочками породы, шумы, нарастание газовыделения, потрескивание и другие подобные явления. Гул при землетрясениях, напоминающий шум танковой колонны или огромного роя пчёл, можно объяснить именно явлением магнитострикции, и он ничем не будет отличат-

ся от гула, издаваемого мощным трансформатором, который гудит именно по причине сжатия – растяжения сердечника трансформатора в результате явления магнитострикции. Следом произойдёт Деформационный взрыв. Остаётся добавить, что при тщательном рассмотрении и расчёте параметров Деформационного взрыва следует учитывать все сопутствующие ему электрические процессы и явления. Например, при движении электрон будет сталкиваться и с решёткой пород, и с другими электронами, следовательно, обязательно возникнет классическое сопротивление. Необходимо учитывать движение протонов и нейтронов, магнитные поля и другие параметры, связанные с движением заряда в магнитном поле. Зная законы, по которым развиваются химические цепные реакции и зная процесс образования Деформационного взрыва в горном массиве, у горных инженеров появляется реальный шанс «обуздать» подземную стихию. Например, из кинематики цепных химических реакций известно, что некоторые примеси, даже в самых малых концентрациях, могут оказать огромное влияние на скорость цепной реакции: в одном случае разогнать реакцию до взрыва, в другом – перевести её в режим вялого течения, а в третьем случае сделать её невозможной. Так почему нам не использовать эти присадки? Или из законов цепных реакций вытекает, что газовые смеси могут взрываться только при определённых концентрациях. Из этого мы можем с уверенностью предположить, что этот закон действует и для твёрдых растворов газов. Естественно, этот процесс не будет сопровождаться взрывом в классическом понимании: не будет ни дыма, ни пламени. В этом случае газ из твёрдого раствора будет массово, если так можно выразиться, переходить в свободное состояние. Вот только какие это концентрации ещё следует определить в химических лабораториях. Зная законы, возникающие при движении заряда, мы можем уверенно прогнозировать и предотвращать не только внезапные выбросы, но и землетрясения.

Заключение

С появлением теории Деформационного взрыва горных пород появилась возможность разработать совершенно новую теорию горных ударов и внезапных выбросов, а вместе с ней и надёжные методы прогноза и предотвращения этого «грозного врага» подземных рабочих. Следует добавить, что теория Деформационного взрыва разрабатывалась автором для объяснения не только горных ударов в шахтах, но и для

прогноза землетрясений. По мнению автора, Деформационный взрыв является причиной не

только горных ударов, но и всех типов землетрясений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бычков С. В. Химические реакции в процессе землетрясений. Взрыв пород горного массива как источник толчков, внезапных выбросов и горных ударов. // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2016. № 4. С. 38-47.
2. Горная энциклопедия. Внезапный выброс [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.mining-enc.ru/v/vnezapnyj-vybros/>
3. Горная энциклопедия. Горный удар [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.mining-enc.ru/g/gornyj-udar/>
4. Грицко Г. Г. Внезапные выбросы метана в шахтах // Наука в Сибири. 2007. № 32-33. 2617-2618.
5. Авершин С.Г. Горные удары. М., Углетехиздат, 1955.
6. Петухов. И.М. Горные удары на угольных шахтах. М., Недра, 1972.
7. Кузнецов В.В. Горный удар – причина выброса метана в угольной шахте? [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://vvkuz.ru/books/guft.pdf>.
8. Ходот В.В. Внезапные выбросы угля и газа. М., ГНТИ, 1961.
9. Сторчеус А.В. Заметки к методике расчёта сейсмической энергии взрывов и землетрясений [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.kscnet.ru/ivs/publication/volc_day/2008/art33.pdf.
10. Опарин В.Н. Скрицкий В.А. О механизме зарождения процессов, завершающихся внезапным выбросом угля и газа [Электронный ресурс] Горная промышленность. 2012. № 5. Режим доступа: <http://mining-media.ru/ru/article/prombez/3036-o-mekhanizme-zarozhdeniya-protsessov-zavershayushchikhsya-vnezapnymi-vybrosami-uglya-i-gaza>.

REFERENCES

1. Bychkov, S.V. (2016). Khimisheskie reaktsii v protsesse zemletriasenii. Vzryv porod gornogo massiva kak istochnik toichkov, vnezapnykh vybrosov i gornyx udarov [Chemical reactions in the process of earthquakes. Rock massif explosion as a source of shocks, sudden outbursts and mine shocks]. *Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugolnoi promyshlennosti – Gerald of scientific center for safety in coal industry*, 4, 38-47 [in Russian].
2. Gornaia entsiklopediia. Vnezapnyi vybros [Mining Encyclopedia. Sudden outburst]. *mining-enc.ru*. Retrieved from <http://www.mining-enc.ru/v/vnezapnyj-vybros/> [in Russian].
3. Gornaia entsiklopediia. Gornyi udar [Mining Encyclopedia. Rock shock]. *mining-enc.ru*. Retrieved from: <http://www.mining-enc.ru/g/gornyj-udar/> [in Russian].
4. Gritsko, G.G. (2007). Vnezapnyie vybrosty metana v shakhtakh [Sudden outbursts of methane in mines]. *Nauka v Sibiri – Science in Siberia*, 32-33, 2617-2618 [in Russian].
5. Avershin, S.G. (1955). *Gornye udary [Mine rock shocks]*. Moscow: Ugletekhizdat [in Russian].
6. Petukhov, I.M. (1972). *Gornye udary na ugolnykh shakhtakh [Rock shocks in coal mines]*. Moscow: Nedra [in Russian].
7. Kuznetsov, V.V. Gornyi udar – prichina vybrosa metana v ugolnoi shakhte? [Rock shock – the reason for methane outburst in coal mine?]. *vvkuz.ru* Retrieved from: <http://vvkuz.ru/books/guft.pdf>. [in Russian].
8. Khodot, V.V. (1961). *Vnezapnyie vybrosty uglia i gaza [Sudden outbursts of coal and gas]*. Moscow: GNTI [in Russian].
9. Storcheus, A.V. (2008). Zаметки k metodike rascheta seismicheskoi energii vzryvov i zemletriasenii [Notes to the explosion and earthquake seismic energy calculation]. *kscnet.ru*. Retrieved from: http://www.kscnet.ru/ivs/publication/volc_day/2008/art33.pdf. [in Russian].
10. Oparin, V.N., & Skritskii, V.A. (2012). O mekhanizme zarozhdeniia protsessov zavershaiushchikhsia vnezapnym vybrosom uglia i gaza [On the processes origination mechanism that result in sudden coal and gas outburst]. *Gornaia promyshlennost – Mining industry*, No. 5. *mining-media.ru*. Retrieved from: <http://mining-media.ru/ru/article/prombez/3036-o-mekhanizme-zarozhdeniya-protsessov-zavershayushchikhsya-vnezapnymi-vybrosami-uglya-i-gaza>.

V. ПЕРВЫЕ НАУЧНЫЕ ОЧЕРКИ FIRST SCIENTIFIC ESSAYS

УДК 622.81

МЕТОДИКА АНАЛИЗА ОТРАЖАТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ ПОВЕРХНОСТИ СМЕСИ УГОЛЬНО- ИНЕРТНОЙ ПЫЛИ

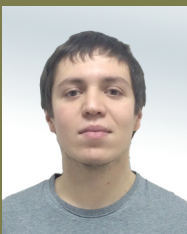
COAL-INERT DUST MIXTURE SURFACE REFLECTIVITY- BASED ANALYZING METHOD



М. Ю. Недоступ
Nedostup_maksim@
mail.ru



А. П. Пашнин
Artemiy89@hotmail.
com



А. О. Ребятников
Spamer_2005@inbox.
ru



В. И. Сокольчук

М. Ю. Недоступ – ведущий инженер сервисного отдела ООО «Горный-ЦОТ», Россия, 650002, г. Кемерово, Сосновый бульвар, 1

А. П. Пашнин – ведущий конструктор ООО «Горный-ЦОТ», Россия, 650002, г. Кемерово, Сосновый бульвар, 1

А. О. Ребятников – начальник сервисного отдела ООО «Горный-ЦОТ», Россия, 650002, г. Кемерово, Сосновый бульвар, 1

В. И. Сокольчук – инженер-электроник сервисного отдела ООО «Горный-ЦОТ», Россия, 650002, г. Кемерово, Сосновый бульвар, 1

M. Yu. Nedostup – service department leading engineer of ООО “Gorny-COT”, 1, Sosnovy Boulevard, Kemerovo, 650002, Russia

A. P. Pashnin – leading designer of ООО “Gorny-COT”, 1, Sosnovy Boulevard, Kemerovo, 650002, Russia

A. O. Rebiatnikov – service department head of ООО “Gorny-COT”, 1, Sosnovy Boulevard, Kemerovo, 650002, Russia

V. I. Sokolchuk – electronics engineer of ООО “Gorny-COT”, 1, Sosnovy Boulevard, Kemerovo, 650002, Russia

В статье приведены результаты лабораторных испытаний по созданию способа и средства оперативного контроля пылевзрывозащиты горных выработок, основанных на определении отражательной способности отложившейся пыли. Установлена зависимость количественного показателя отражения от степени метаморфизма углей, дисперсного состава угольной пыли.

Сложность исследования состоит в том, что метод требует отслеживания самых опасных фракций менее 75 мкм. Кроме того, рассматривается как чистая угольная пыль, так и результат искусственного осланцевания с помощью инертной пыли.

В качестве интегрального показателя состояния смешанной пылевой поверхности предложено использовать характеристику отражения света от мобильного источника излучения.

Разрабатываемый алгоритм анализа в ближнем инфракрасном спектре позволит разработать методику для дистанционного сканирования поверхности выработки в автономном режиме на предмет скопления угольной пыли и информирования о необходимости проведения мероприятий по пылевзрывозащите.

В статье приведены результаты испытания четырёх спекающихся марок углей: «Г», «Д», «Ж», «К».

Угольная и инертная пыль резко отличаются друг от друга по цвету, следовательно и поглощающая способность светового излучения различна. Отсюда следует, что угольная пыль обладает более низким коэффициентом отражения, чем инертная. Градация "тёмный – светлый" зависит от массовой доли инертной пыли в угольной.

The article presents the laboratory test results of mine workings dust explosion protection operational control method and means creation, based on deposited dust reflectivity determination. The reflection quantitative index dependence on the degree of coals metamorphism, the dispersed composition of coal dust is established.

The complexity of the study is that the method requires tracking the most dangerous fractions of less than 75 microns. In addition, both pure coal dust and the result of artificial rock dusting with the help of inert dust is considered.

As an integral indicator of mixed dust surface state, it is proposed to use the light reflection from a mobile light radiation source.

The developed analysis algorithm in the near-infrared spectrum will allow to develop a technique for opening surface remote scanning in an autonomous mode to check the coal dust accumulation and to inform about the need for carrying out the dust explosion protection

measures.

The article presents the testing results of four caking coal ranks: "G", "D", "Zh", "K".

Coal and inert dust differ sharply from each other in color, hence the absorbing capacity of light radiation is different. It follows that coal dust has a lower reflection coefficient than the inert one. Gradation "dark - light" depends on the mass fraction of inert dust in the coal one.

Ключевые слова: ПЫЛЕВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ, МЕТОДИКА АНАЛИЗА, УГОЛЬНАЯ ПЫЛЬ, ИНЕРТНАЯ ПЫЛЬ, ОТРАЖАТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ, АЭРОГЕЛЬ, АЭРОЗОЛЬ

Key words: DUST EXPLOSION SAFETY, ANALYSES METHOD, COAL DUST, INERT DUST, REFLECTING ABILITY, AEROGEL, AEROSOL

К сожалению, риск возникновения аварий на угольных шахтах России, угрожающих жизни людей, сохраняется весьма высокий. Наиболее опасные аварии – это взрыв метановоздушной смеси и угольный пыли. За последние несколько лет на шахтах Кузбасса произошло не менее 10 аварий, связанных со взрывами метана и угольной пыли. Это происходит из-за несовершенства методов и способов контроля пылевзрывобезопасности, требующих оперативного и своевременного вмешательства с применением инновационных систем и оборудования.

Важную роль в развитии пылевзрывобезопасности горных выработок играют научные исследования по борьбе с угольной пылью в различных ее проявлениях и пылевзрывозащите угольных шахт. Не секрет, что интенсификация добычи угля и увеличение нагрузки на очистные забои приводят к росту выделения пыли в атмосферу горных выработок и, как следствие, повышению интенсивности пылеотложений, характеризующих степень пылевзрывобезопасности, которая в настоящее время оценивается неадекватно ситуации из-за устаревающих методов контроля.

Угольная пыль критически опасна при взрыве метана, будь она в состоянии аэрогеля или аэрозоля. При взрыве метановоздушной смеси образуется ударная волна, которая взметывает осевшие в горношахтной выработке угольные частички – аэрогель (во взвешенном состоянии их называют – аэрозолью), которые вследствие нагрева передают свою энергию соседним пылинкам и формируют повторную ударную волну. Взрывчатость угольной пыли напрямую зависит от ее дисперсного состава, выхода летучих веществ, зольности и влаги. Во взрыве принимают участие в основном пылинки дисперсного состава до 100 мкм. Как показывают многочисленные опыты, максимально опасная фракция угольной пыли находится в диапазоне меньше 75 мкм. Получается, что основными факторами, влияющими на пылевзрывобезопасность, является дисперсный состав и интенсив-

ность пылеотложения. Увеличивая нагрузку на очистной забой, мы провоцируем обильное поступление пыли в воздух и, как следствие, ее отложение по всей сети горной выработки.

Источники образования пыли можно разделить на два вида:

- первичный - интенсивное воздействие на угольный пласт горнодобывающей техникой;
- вторичный – поступление частиц в воздух в результате взметывания осевшей пыли.

По характеру пылевыделения:

- периодические - взрывные работы;
- непрерывные - работа очистных и проходческих комбайнов, конвейеров и т.п.

Для борьбы с взрывоопасной пылью существует несколько способов пылевзрывозащиты, направленных на снижение опасности отложения угольной пыли. Наиболее действенные из всех способов является осланцевание и гидроуборка [1-2]. Осланцевание представляет собой искусственное увеличение зольности взрывчатой пыли, оседающей в подземных горных выработках путем добавления или нанесения на нее инертной пыли. Таким образом, во время взрыва угольная пыль оказывается в облаке негорючей (инертной) пыли и не способна передать свою энергию соседней угольной пылинке, что препятствует развитию взрыва.

После проведения мероприятий по осланцеванию горных выработок требуется ежедневно проводить контроль качества осланцевания визуальным методом (просматривается отсутствие накоплений взрывчатой пыли поверх инертной в количестве превышающим нижний предел взрываемости) и ежеквартально методом отбора проб с последующим анализом. Из вышесказанного становится видно, что при ежедневном контроле качества осланцевания горных выработок огромную роль играет человеческий фактор. Нет гарантий добросовестного и тщательного осмотра выработки. Визуальному осмотру может помешать коммуникационные особенности участка, и осмотр не будет проведен в полной мере, что может повлечь за собой самые непредсказуемые последствия.

Таблица 1. Анализ пластовых проб угля марки "Д"

№ п/п	Наименование показателя	Единицы измерения	Метод испытания	Значение показателя
1	Общая влага	%	ГОСТ 11014-2001	11,9
2	Максимальная влагоемкость	%	ГОСТ 8858-93	8,7
3	Зольность	%	ГОСТ 11022-95	14,0
4	Выход летучих веществ	%	ГОСТ 6382-2001	43,8
5	Сера	%	ГОСТ 8606-93	0,28
6	Хлор	%	ГОСТ 9326-2002	0,04
7	Мышьяк	%	ГОСТ 10478-93	0,0003
8	Теплота сгорания высшая (сухое беззольное состояние)	Ккал/кг МДж/кг	ГОСТ 147-95	7689
				32,19
9	Теплота сгорания высшая (влажное беззольное состояние)	Ккал/кг МДж/кг	ГОСТ 147-95	6926
				29,00
10	Теплота сгорания низшая (рабочее состояние)	Ккал/кг МДж/кг	ГОСТ 147-95	5530
				23,15

Для исключения человеческого фактора и недопущения аварийных последствий специалистами компании ООО «Горный-ЦОТ» была поставлена задача по разработке физической модели устройства автоматического контроля качества осланцевания горных выработок.

Сотрудниками компании проведены исследования в области пылевзрывозащиты горных выработок и разработана методика анализа по отражательной способности поверхности смеси угольно-инертной пыли. Методика заключается в регистрации пробы фотозащитным и обработке отраженного излучения от поверхности угольно-инертной смеси посредством системы с микроконтроллером.

Для реализации поставленной задачи была создана специальная камера высотой 280 мм с фиксированным уровнем освещения в 1000 лк, в которой сделаны цифровые снимки подготовленных проб с угольно-инертной смесью. По-

сле снимки были обработаны в фоторедакторе. Анализ изображений с помощью разложения на RGB-вектор показал наличие зависимости между массовой долей инертной пыли в пробе и ее оттенком.

Для упрощения элементной базы инструмента анализа проб ограничили систему излучатель-приемник в ближнем инфракрасном диапазоне.

В ходе исследований было отобрано более 120 проб угля с шахт и разрезов методом отбора эксплуатационных проб согласно [3].

Пробы выбирали среди четырех марок углей «Г», «Д», «Ж», «К». В основном это спекающиеся марки углей, так как при взрыве угольной пыли реакция окисления может быть не только в газовой фазе, но и на поверхности угольных пылинки. Вследствие нагрева на поверхности пылинки образуется пленка жидкой фазы, включающая в себя газообразные продукты пироли-

Таблица 2. Массовая доля инертной и угольной пыли в пробе

Массовая доля инертной пыли в пробе, %	Массовая доля угольной пыли, гр.	Массовая доля инертной пыли, гр.
0	30	0
10	27	3
20	24	6
30	21	9
40	18	12
50	15	15
60	12	18
70	9	21
80	6	24
90	3	27
100	0	30

за. Во время остывания жидкие пленки пылинок могут сливаться в одну массу, заполненную как газообразными, так и твердыми продуктами термического разложения. Образования такого типа называются «кокстик», оно является одним из признаков, по которому судят об участии пыли во взрыве в условиях шахты.

Из отобранных углей произведено более двухсот проб по 30 гр для лабораторного исследования в соответствии с представленной ниже таблицей 2. Это потребовалось для изучения углей как в чистом виде, так и их смеси с инертной пылью [4-5].

Пробы приготовлены с разным дисперсным составом углей: 63-100мкм, 160-200мкм, 400-500мкм, 800-1000мкм. Формирование проб в данных диапазонах обусловлено возможностью изучить более узкий дисперсный состав уголь-

ной пыли в отдельности. Исходя из возможности смешивания угольной и сланцевой пыли в любых соотношениях, границы массовых долей инертной пыли варьируются от 0 до 100% включительно. Для исследования шаг дискретности был принят равным 10%.

Угольная пыль и инертная резко отличаются друг от друга по цвету, следовательно, и поглощающая способность светового излучения различна. Отсюда следует, что угольная пыль обладает более низким коэффициентом отражения, чем инертная. Градацию «темный – светлый», в зависимости от массовой доли инертной пыли в угольной, отчетливо видно на рисунках 1-4.

Далее наше суждение подтверждает график на рисунке 5, на котором изображена зависимость количества отраженного излучения от

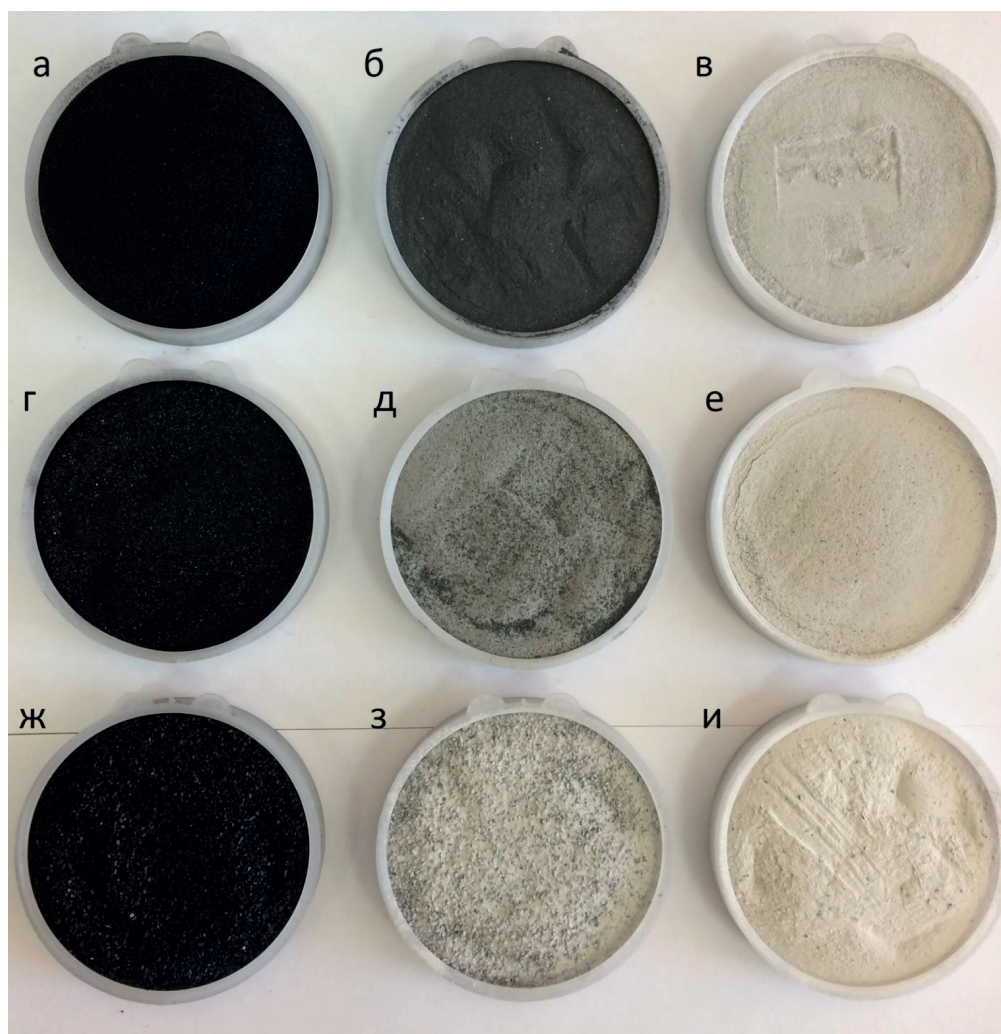


Рисунок 1 – Пробы со смесью угольно-инертной пыли, марка угля «Г» :
 а – инертная пыль 0%, фракция – 63-100мкм; б - инертная пыль 50%, фракция – 63-100мкм;
 в - инертная пыль 90%, фракция – 63-100мкм; г - инертная пыль 0%, фракция – 400-500мкм;
 д - инертная пыль 50%, фракция – 400-500мкм; е - инертная пыль 90%, фракция – 400-500мкм; ж - инертная пыль 0%, фракция – 800-1000мкм; з - инертная пыль 50%, фракция – 800-1000мкм; и - инертная пыль 90%, фракция – 800-1000мкм
 Figure 1 - Samples with a mixture of coal-inert dust, coal grade "G":
 а - inert dust 0%, fraction - 63-100 μm; б - inert dust 50%, fraction - 63-100 μm;
 в - inert dust 90%, fraction - 63-100μm; г - inert dust 0%, fraction - 400-500 μm;
 д - inert dust 50%, fraction - 400-500μm; е - inert dust 90%, fraction - 400-500 μm; ж - inert dust 0%, fraction - 800-1000 μm; з - inert dust 50%, fraction - 800-1000 μm; и - inert dust 90%, fraction - 800-1000μm.

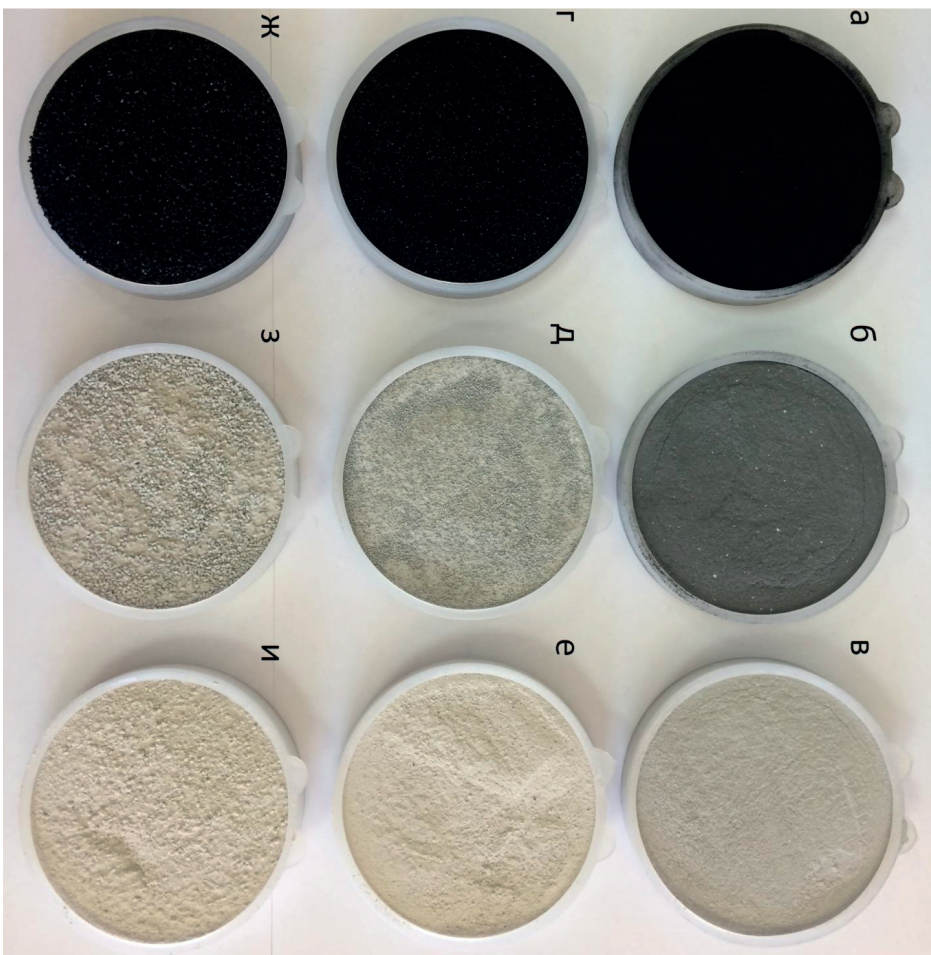


Рисунок 2 – Пробы со смесью угольно-инертной пыли, марка угля «Д»:
 а – инертная пыль 0%, фракция – 63-100мкм; б – инертная пыль 50%, фракция – 63-100мкм;
 в – инертная пыль 90%, фракция – 63-100мкм; г – инертная пыль 0%, фракция – 400-500мкм;
 д – инертная пыль 50%, фракция – 400-500мкм; е – инертная пыль 90%, фракция – 400-500мкм;
 ж – инертная пыль 0%, фракция – 800-1000мкм; з – инертная пыль 50%, фракция – 800-1000мкм;
 и – инертная пыль 90%, фракция – 800-1000мкм.
 Figure 2 - Samples with a mixture of coal-inert dust, coal grade "D":
 а - inert dust 0%, fraction - 63-100 μm; б - inert dust 50%, fraction - 63-100 μm;
 в - inert dust 90%, fraction - 63-100μm; г - inert dust 0%, fraction - 400-500 μm;
 д - inert dust 50%, fraction - 400-500μm; е - inert dust 90%, fraction - 400-500 μm; ж - inert dust 0%, fraction - 800-1000 μm; з - inert dust 50%, fraction - 800-1000 μm; и - an inert dust of 90%, fraction - 800-1000μm.

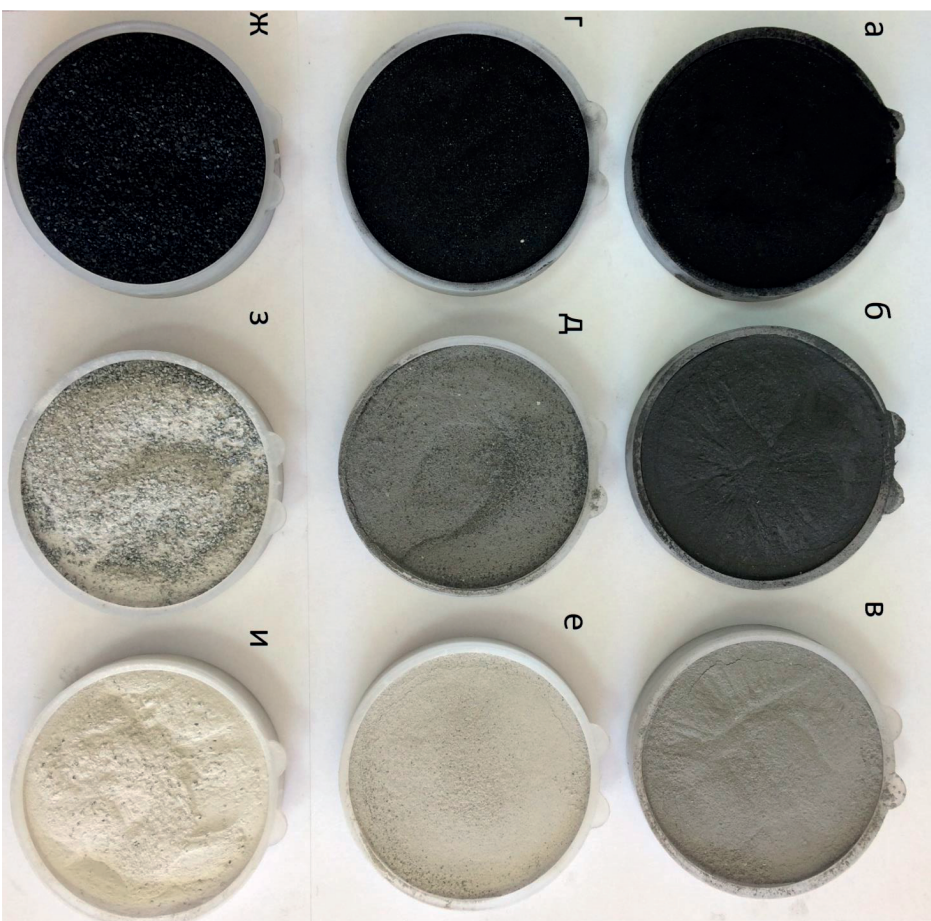


Рисунок 3 – Пробы со смесью угольно-инертной пыли, марка угля «Ж»:
 а – инертная пыль 0%, фракция – 63-100мкм; б – инертная пыль 50%, фракция – 63-100мкм;
 в – инертная пыль 90%, фракция – 63-100мкм; г – инертная пыль 0%, фракция – 400-500мкм;
 д – инертная пыль 50%, фракция – 400-500мкм; е – инертная пыль 90%, фракция – 400-500мкм;
 ж – инертная пыль 0%, фракция – 800-1000мкм; з – инертная пыль 50%, фракция – 800-1000мкм;
 и – инертная пыль 90%, фракция – 800-1000мкм.
 Figure 3 - Samples with a mixture of coal-inert dust, coal grade "E":
 а - inert dust 0%, fraction - 63-100 μm; б - inert dust 50%, fraction - 63-100 μm;
 в - inert dust 90%, fraction - 63-100μm; г - inert dust 0%, fraction - 400-500 μm;
 д - inert dust 50%, fraction - 400-500μm; е - inert dust 90%, fraction - 400-500 μm; ж - inert dust 0%, fraction - 800-1000 μm; з - inert dust 50%, fraction - 800-1000 μm; и - 90% inert dust, fraction - 800-1000 μm

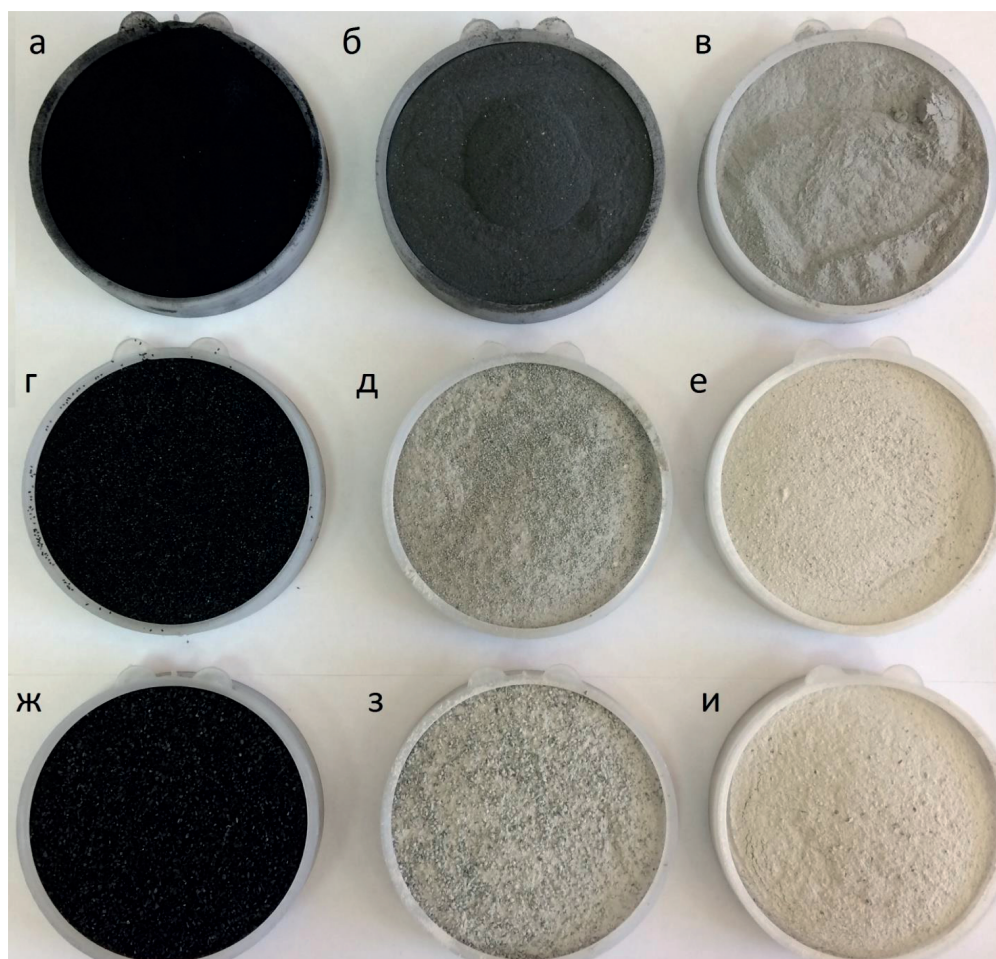


Рисунок 4 – Пробы со смесью угольно-инертной пыли, марка угля «К» :
 а – инертная пыль 0%, фракция – 63-100мкм; б - инертная пыль 50%, фракция – 63-100мкм;
 в - инертная пыль 90%, фракция – 63-100мкм; г - инертная пыль 0%, фракция – 400-500мкм;
 д - инертная пыль 50%, фракция – 400-500мкм; е - инертная пыль 90%, фракция – 400-500мкм; ж - инертная пыль 0%, фракция – 800-1000мкм; з - инертная пыль 50%, фракция – 800-1000мкм; и - инертная пыль 90%, фракция – 800-1000мкм

Figure 4 - Samples with a mixture of coal-inert dust, coal grade "K":
 а - inert dust 0%, fraction - 63-100 μm ; б - inert dust 50%, fraction - 63-100 μm ;
 в - inert dust 90%, fraction - 63-100 μm ; г - inert dust 0%, fraction - 400-500 μm ;
 д - inert dust 50%, fraction - 400-500 μm ; е - inert dust 90%, fraction - 400-500 μm ; ж - inert dust 0%, fraction - 800-1000 μm ;
 з - inert dust 50%, fraction - 800-1000 μm ; и - an inert dust of 90%, fraction - 800-1000 μm .

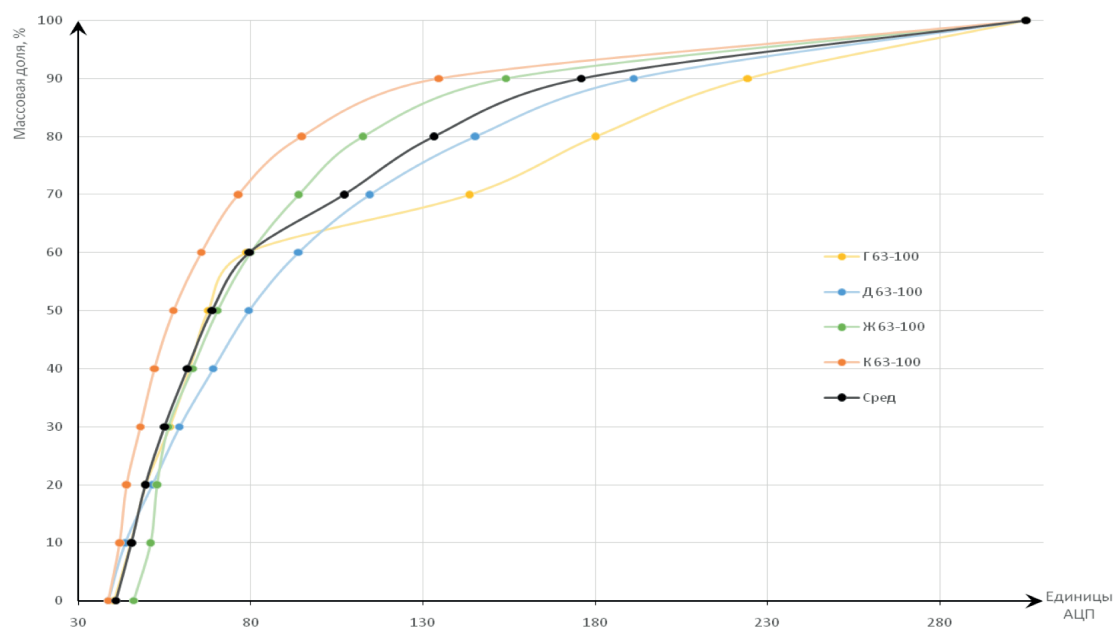


Рисунок 5 - Зависимость сигнала АЦП от массовой доли инертной пыли в пробе
 Figure 5 - Dependence of the ADC signal on the mass fraction of inert dust in the sample

Таблица 3. Результаты измерений отражательной способности углей дисперсного состава 63-100мкм

Массовая доля инертной пыли в пробе, %	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Марка угля «Г» единицы АЦП	40,24	45,11	49,45	56,39	62,18	67,57	78,75	143,55	180,16	224,19	305
Марка угля «Д» единицы АЦП	38,56	43,52	51,42	59,32	69,11	79,45	93,78	114,59	145,14	191,13	305
Марка угля «Ж» единицы АЦП	45,97	50,93	52,79	56,07	63,04	70,34	79,95	93,95	112,6	154,02	305
Марка угля «К» единицы АЦП	38,61	41,92	43,95	47,95	52,01	57,59	65,59	76,34	94,75	134,57	305
Среднее значение по 4-м маркам единицы АЦП	40,84	45,37	49,40	54,93	61,58	68,73	79,52	107,10	133,16	175,97	305

массовой доли инертной пыли в пробе, численные результаты представлены в таблице 3.

Также на рисунке № 5 можно увидеть, что количественные показатели отражения для разных марок углей находятся в довольно широком диапазоне.

График на рисунке 6 показывает зависимость сигнала, как и на предыдущем графике, но обратим внимание, что количественный показатель отражения зависит не только от марки углей, но и от фракционного состава. Область изменения показателя отражения по дисперсному составу лежит в широком диапазоне, в зависимости от стадии метаморфизма угля.

В результате проведенных исследовательских работ установлено, что:

- величина отражательной способности различных марок углей изменяется в широком

диапазоне;

- дисперсный состав углей разных марок оказывает существенное влияние на величину показателя отраженной способности;

- коэффициент отраженной способности проб разного марочного и дисперсного состава углей в смеси с инертной пылью имеет неоднозначности в весьма широком диапазоне.

Подобные исследования неоднократно проводились, но не были доведены до технического устройства в силу слабого промышленного развития и недостатка элементной базы. На данный момент перечень и мощности электроники в мире сильно возросли, что дает возможность для успешного развития этой методики и дальнейшего исследования.

Возможные пути развития данного метода исследования на базе предложенной системы:

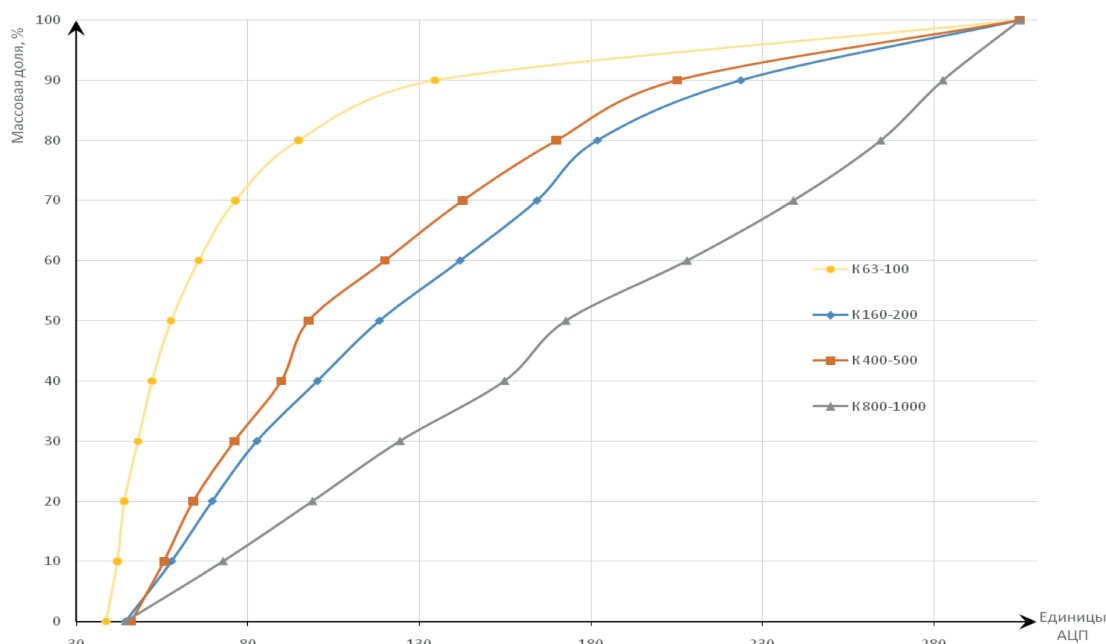


Рисунок 6 - Зависимости сигнала АЦП от массовой доли инертной пыли в пробе разных дисперсных составов угля марки "К"
Figure 6 - Dependence of the ADC signal on the mass fraction of inert dust in the sample of various dispersed coal compositions of grade "K"

Таблица 4. Результаты измерений отражательной способности углей дисперсного состава 63-100 мкм

Массовая доля инертной пыли в пробе, %	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Марка угля «К» Фракция 63-100 единицы АЦП	38,61	41,92	43,95	47,95	52,01	57,59	65,62	76,34	94,75	134,57	305
Марка угля «К» Фракция 160-200 единицы АЦП	44,3	57,75	69,57	82,6	100,24	118,3	141,8	164,2	181,8	223,65	305
Марка угля «К» Фракция 400-500 единицы АЦП	46,03	55,54	64,08	76,08	89,72	97,68	119,89	142,6	169,95	205,12	305
Марка угля «К» Фракция 800- 1000 единицы АЦП	44,25	72,25	98,73	124,23	154,71	172,59	207,92	238,95	264,37	282,53	305

- введение температурной компенсации для повышения точности измерений;
- увеличение мощности излучения за счет увеличения количества излучателей и (или) использования импульсного включения и управления током питания светодиода;
- применение фокусирующей оптики как на излучателе, так и на приемнике;

- использование полосовых фильтров приемника для исключения влияния внешних факторов;
- конструктивная разработка модели системы;
- сбор данных по другим дисперсным составам, структуре поверхности, влиянии инородных тел в пробе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Инструкция по предупреждению и локализации взрывов угольной пыли. Приложение к § 262, 268, 270, 271 ПБ. Правила безопасности в угольных шахтах. Книга 3. Инструкции по борьбе с пылью и пылевзрывозащите к Правилам безопасности в угольных шахтах. Липецк: Липецкое изд-во, 1999. 109 с.
2. Правила безопасности в угольных шахтах. Самара: Самар. Дом печати, 1995. 242 с.
3. ГОСТ 16094-78 угли бурые, каменные, антрацит и горючие сланцы, метод отбора эксплуатационных проб: Сб. ГОСТов. М.: ИПК «Издательство стандартов», 2003.
4. ГОСТ Р 51569-2000 Пыль инертная. Технические условия. М.: ИПК «Издательство стандартов», 2000.
5. ГОСТ Р 51063-97 Пыль инертная. Методы испытаний. М.: ИПК «Издательство стандартов», 1997.

REFERENCES

1. Instrukciya po preduprezhdeniyu i lokalizacii vzryvov ugolnoj pyli. Prilozhenie k § 262, 268, 270, 271 PB. Pravila bezopasnosti v ugolnykh shahtakh. Kniga 3. Instrukcii po borbe s pyliu i pylevzryvozashchite k Pravilam bezopasnosti v ugolnykh shahtakh [Instructions for the prevention and containment of coal dust explosions. Annex to § 262, 268, 270, 271 PB. Safety rules in coal mines. Book 3. Instructions for dust suppression and dust explosion protection to the Safety Rules in Coal Mines]. (1999). *Lipetsk: Lipetsk Publishing House* [in Russian].
2. Pravila bezopasnosti v ugolnykh shakhtakh [Safety rules in coal mines]. (1995). *Samara: Samara Publishing House* [in Russian].
3. GOST 16094-78 uglj burye, kamennye, antratsit i goriuchie slantsy, metod otbora ekspluatatsionnykh prob [GOST 16094-78 coals brown, black, anthracite and combustible shales, the operational samples selection method]. (2003). *Sobranie GOSTov - GOST Collection*, Moscow: IPK Izdatelstvo Standartov [in Russian].
4. GOST R 51569-2000 Pyl inertnaya. Tekhnicheskie usloviya [Inert dust. Technical conditions]. (2000). *Moscow: IPK Izdatelstvo Standartov* [in Russian].
5. GOST R 51063-97 Pyl inertnaya. Metody ispytanii [Inert dust. Test methods]. (1997). *Moscow: IPK Izdatelstvo Standartov* [in Russian].

ТРЕБОВАНИЯ К РАЗМЕЩЕНИЮ РЕКЛАМНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Научно-технический журнал «Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности» приглашает научные институты, организации и промышленные предприятия разместить информацию о конференциях, выставках, разрабатываемой и выпускаемой продукции в области охраны труда, безопасности в чрезвычайных ситуациях, пожарной и промышленной безопасности в угольной промышленности, контроля природной среды, веществ, материалов и изделий, а также приборостроения.

РАЗМЕРЫ РЕКЛАМНЫХ МОДУЛЕЙ:

- размер для 1 полосы: 216*303 мм, включая по 3 мм на обрезку с каждой стороны внешнего периметра, на корешок допуск ставить не нужно.
- 1/2 полосы вертикальная: 103*303 мм,
- 1/2 полосы горизонтальная: 216*151 мм
- 1/3 полосы горизонтальная: 216*92 мм
- 1/4 полосы горизонтальная: 216*67 мм
- 1/4 полосы вертикальная в верхнем или нижнем внешнем углу страницы: 103*151 мм

ТРЕБОВАНИЯ К РЕКЛАМНЫМ СТАТЬЯМ

1. Текст для статьи предоставляется только в текстовом редакторе Word.
2. Объем статьи: не более 4500 печатных знаков с пробелами (без изображений). При использовании фотографий объем текста пропорционально уменьшается.
3. Требования к фотографиям: формат *.eps* или *.tiff* с разрешением 300 dpi.
4. Логотип – в форматах *.cdr*, *.eps*, при этом шрифты должны быть переведены в кривые.
5. Текст рекламной статьи должен включать заголовок (подзаголовок), выходные данные заказчика: название, адрес, телефон, электронный адрес компании.

ТРЕБОВАНИЯ К РЕКЛАМНЫМ МАКЕТАМ

1. Размер электронного макета должен соответствовать размерам рекламного модуля.
2. Растровые файлы должны быть в форматах *.tif*, *.psd*, *.eps* с разрешением 300 dpi, векторные – *.ai*, *.eps* и *.cdr*.
3. Оригинал-макеты передаются в цветовой модели CMYK без компрессии.
4. Верстка может быть в форматах Adobe Illustrator, Corel Draw, Adobe InDesign (в этом случае должны предоставляться все связанные элементы, а также все используемые шрифты, обязательно макет должен так же прилагаться в pdf).
5. В макете, подготовленном в пакете Corel Draw не допускается наличие следующих эффектов: shadow, transparency, gradient fill, lens, texture fill и postscript fill. Все вышеперечисленные эффекты Corel Draw должны быть конвертированы в bitmap 300 dpi.
6. Черный цвет текста должен состоять только из черного канала – C:0, M:0, Y:0, K:100 или 100 Black в одноцветной шкале Grayscale.
7. Все текстовые элементы оригинал-макета должны быть переведены в кривые.
8. Текст и важные изображения (логотип и т. п.) не должны располагаться ближе 5 мм к обрезному краю.

Информация о расценках на размещение рекламы размещена на сайте www.ind-saf.ru.

Редакция журнала оставляет за собой право отбора поступивших рекламных материалов.



indsafe.ru

ООО «ВостЭКО»

Уважаемые партнёры!

**Редакция журнала «Вестник»
предоставляет вам возможность
размещения рекламных и
информационных материалов на
страницах нашего издания и на
сайте журнала.**

Журнал адресован профессионалам и одинаково полезен как ученым, аспирантам, студентам вузов, так и практикам – руководителям высшего и среднего звена, а также инженерно-техническим работникам. «Вестник» – это уникальное в своем роде научно-техническое издание по вопросам промбезопасности, входящее в перечень журналов ВАК.

**Журнал "Вестник" – это
эффективная возможность для
размещения рекламы:**

Обращаем внимание на соответствие исходных материалов требованиям редакции.

Рекламные модули должны быть в форматах eps, pdf или tif разрешением 300 dpi. Другие технические требования уточняйте в редакции

Тираж издания: **1000** экземпляров

Периодичность выхода: **4** раза в год

Формат: **A4**

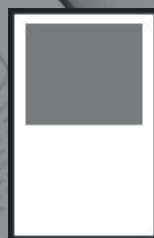
Предусмотрены скидки в зависимости от объема и количества публикаций.

Контакты редакции журнала «Вестник»
г Кемерово, Сосновый бульвар, 16, оф 228
тел/факс: 8 (3842) 340670
email: dtrubitsyna@gmail.com

ind-saf.ru



A4



1/2 A4



2 A4 - разворот



1/4 A4 (горизонтальная
полоса)



1/4 A4 (вертикальная
полоса)

ТРЕБОВАНИЯ, УСЛОВИЯ И ПОРЯДОК ПРЕДСТАВЛЕНИЯ РУКОПИСЕЙ В НТЖ «Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности»

I. Порядок представления материалов в редакцию

1. В журнал принимаются статьи, соответствующие его тематике – охрана труда, безопасность в чрезвычайных ситуациях, пожарная и промышленная безопасность в угольной промышленности, приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий.

2. Статья должна быть оригинальной, не представленной в других изданиях.

3. Вместе со статьей необходимо предоставить в редакцию отзыв кандидата/доктора наук.

4. На основании положений части четвертой Гражданского кодекса Российской Федерации (раздел VII «Права на результаты интеллектуальной деятельности и средства индивидуализации») представляемые в журнал статьи должны сопровождаться лицензионным договором о передаче ООО «ВостЭКО» (издатель журнала) простой (неисключительной) лицензии. Договор заполняется на бланках по образцам лицензионных договоров с одним или коллективом авторов (при написании статьи несколькими авторами). Лицензионный договор является договором присоединения. Необходимо заполнить и подписать договор, отсканированный вариант отправить по e-mail: yarosh_mv@mail.ru, два первых экземпляра оформленного договора отправить в редакцию по почте: 650002, Кемерово, Сосновый бульвар, д. 1, ООО «ВостЭКО». Договор, подписанный автором/авторами и направленный по электронной почте, признается равнозначным документу на бумажном носителе, подписанному собственноручной подписью, порождающим права и обязанности сторон. Скачать бланки договора можно на сайте www.indsafe.ru.

II. Форма представления рукописи

1. Рукопись представляется отпечатанной в текстовом редакторе Word через 1,5 интервала на одной стороне стандартного листа белой бумаги формата А4 и в электронном виде (передается по электронной почте yarosh_mv@mail.ru или на магнитном носителе).

2. Все страницы рукописи, включая таблицы, список литературы, рисунки должны быть пронумерованы. Рекомендуемый объем статьи 5–7 страниц. Статья должна быть подписана всеми авторами.

3. Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

Подготовка электронной версии материалов

1. Текст набирается шрифтом Arial, размер шрифта 10, для заголовка 14, полуторный интервал, абзацный отступ 1,25 см, формат листа А4. Поля с левой стороны 3 см, сверху и снизу 2 см, справа 1,5 см;

2. Электронная версия должна быть идентична распечатанному тексту. В случае расхождения за основу берется печатный вариант.

Структура статьи

1. Индекс УДК.

2. Фотографии всех авторов (форматы: TIF, Jpeg, Png, не сканированные, не ретушированные, не обрезанные, разрешение 300 dpi).

3. Инициалы и фамилия автора (ов).

4. Место работы.

5. Название статьи.

6. Реферат. *Реферат должен быть информативным, отражать основное содержание статьи и результаты исследований, следовать логике описания результатов в статье, укладываться в объем от 100 до 250 слов. Возможно краткое повторение структуры статьи, включающей введение, цели и задачи, методы, результаты, заключение.*

7. Ключевые слова.

8. Текст статьи с таблицами, иллюстрациями, формулами.

9. Список литературы (оформленный в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5 - 2008 «Библиографическая

ссылка. Общие требования и правила составления»).

На отдельном листе или в конце статьи размещается «Список авторов», который должен содержать:

- публикуемые сведения об авторах (название организации указывается в соответствии с учредительными документами);
- служебные или домашние адреса с указанием почтового индекса;
- адрес электронной почты (e-mail).

Обращаем ваше внимание, что представление оригинальной статьи к публикации в НТЖ означает согласие авторов на передачу права на воспроизведение, распространение и доведение произведения до всеобщего сведения любым способом.

Редколлегия



ind-saf.ru
Новый сайт журнала "Вестник"

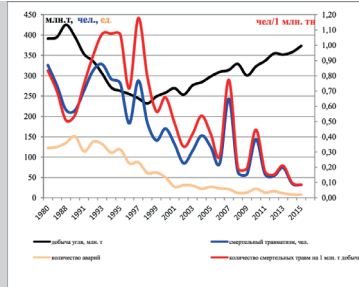
СЛОВО РЕДАКТОРА // EDITORIAL

5 Трубицына Н. Trubitsyna N.

АКТУАЛЬНО // IMPORTANT

6 А. Р. Литвинов, К. С. Коликов, О. Г. Ишкнели. Аварийность и травматизм на предприятиях угольной промышленности в 2010-2015 годах

A. R. Litvinov, K. S. Kolikov, O. G. Ishkhneli. Accident and traumatism at coal industry enterprises in 2010-2015



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

18 Г. Я. Полевщикова, Е. Н. Козырева, Е. С. Непейна, А. А. Рябцев, Р. И. Родин. Изучение газокинетических характеристик угольных пластов Кузбасса

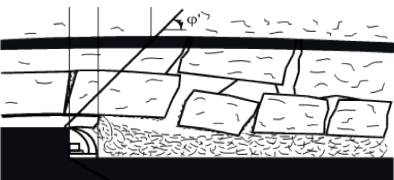
G. Ya. Polevshchikova, E. N. Kozyreva, E. S. Nepeina, A. A. Ryabtsev, R. I. Rodin. Study of gas-kinetic characteristics of kuzbass coal-based plasts

31 А. В. Шадрин. Влияние упрощения методики текущего прогноза выбросоопасности угольных пластов на достоверность прогноза

A. V. Shadrin. The effect of simplifying the methodology of the current forecast of the coal coal ejection hazard on the reliability of the forecast

34 Н. В. Черданцев. Исследование состояния анизотропного массива горных пород в окрестности выработки, пройденной вблизи дизъюнктивного нарушения

N. V. Cherdantsev. Anisotropic rock massif state around the mine opening headed near a disjunctive disturbance research



42 Е. Н. Козырева. Влияние геомеханических процессов на газокинетические характеристики выработанного пространства

E. N. Kozyreva. The influence of geomechanical processes on the gas-kinetic characteristics of the worked-out space

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

48 А. А. Харионовский, М. Ю. Данилова. Охрана атмосферы на предприятиях угольной промышленности

A. A. Kharyonovsky, M. Yu. Danilova. Protection of the atmosphere at the enterprises of coal industry

53 О. Б. Кудряшова, Ю. А. Галенко, Е. В. Сыпин, С. А. Лисаков, Н. Ю. Тупкина. Детонация реакционноспособных газовых смесей как задача об очаговом тепловом взрыве

O. B. Kudriashova, Yu. A. Galenko, Ye. V. Sypin, S. A. Lisakov, N. Yu. Tupikina. Detonation of reactive gas mixtures as problem of focal thermal explosion

59 А. С. Ворошилов. Численная оценка риска травматизма по смертельным несчастным случаям и по числу несчастных случаев с учетом дней нетрудоспособности работников

A. S. Voroshilov. Numerical evaluation of the risk of injury for fatal accidents and the number of accidents taking into account the workers disability days

63 А. И. Фомин, М. Н. Малышева, И. М. Анисимов, В. В. Соболев, М. С. Сазонов. Обзор состояния профессиональной заболеваемости работников угольной промышленности кемеровской области и концепция мировой законодательной деятельности по выявлению и учету профессиональных

заболеваний

A.I. Fomin , M.N. Malysheva, I. M. Anisimov, V. V. Sobolev, M. S. Sazonov. Overview of kemerovo region coal industry workers occupational morbidity state and the world lawmaking activity concept to identify and record occupational diseases

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

72 П. Б. Герике. К вопросу создания универсальной прогностической деградационной модели для энерго-механического оборудования горных машин

P. B. Gerike. To the question of a universal prognostic degradation model creation for mining machine energy-mechanical equipment

82 В. М. Тарасов, Г. Д. Буялич, Д. В. Тарасов, А. Е. Ефлов, Н. И. Тарасова. Влияние способа перемещения груза на подвесном монорельсовом транспорте на работу роликоопор и их подшипников качения в монорельсовых каретках. Определение герцевского давления

V. M. Tarasov, G. D. Buyalich, D. V. Tarasov , A. E. Yeflov, N. I. Tarasova. Influence of monorail transport cargo moving method on the work of monorail suspensions and their roller bearings in monorail carriages. Determination of hertzian pressure

91 А. И. Герусов, С. В. Бычков. Автоматизированная система регулирования скорости ленточных конвейеров, как средство повышения безопасности их эксплуатации

A. I. Gerusov, S. V. Bychkov. Belt conveyor speed control automated system as the mean of its operational safety increase

96 С. А. Лисаков , А. И. Сидоренко, И. С. Зорин, Е. В. Сыпин. Постановка задачи моделирования многокритериального оптико- электронного прибора контроля аварийных и предаварийных ситуаций в угольных шахтах

S. A. Lisakov , A. I. Sidorenko, I. S. Zorin, Ye. V. Sypin. Coal mines emergency and pre-emergency situations monitoring multicriteria optoelectronic device modeling problem statement

IV. ПРОБЛЕМЫ И СУЖДЕНИЯ // PROBLEMS AND OPINIONS

107 С. В. Бычков. Движение электрического заряда, цепная химическая реакция, магнитоstriction как источники землетрясений и внезапных выбросов

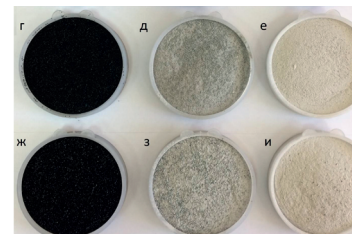
S. V. Bychkov. Electric charge movement, chain chemical reaction, magnetostriction as sources of earthquakes and sudden outbursts

IV. ПЕРВЫЕ НАУЧНЫЕ ОЧЕРКИ // FIRST SCIENTIFIC ESSAYS

116 М. Ю. Недоступ, А. П. Пашнин, А. О. Ребятников, В. И. Сокольчук.

Методика анализа отражательной способности поверхности смеси угольно-инертной пыли

M. Yu. Nedostup, A. P. Pashnin, A. O. Rebyatnikov, V. I. Sokol'chuk. Electric charge movement, chain chemical reaction, magnetostriction as sources of earthquakes and sudden outbursts



124 ТРЕБОВАНИЯ К РЕКЛАМНЫМ МАТЕРИАЛАМ // ADVERTISING MATERIALS REQUIREMENTS

126 ТРЕБОВАНИЯ К СТАТЬЯМ // DEMANDS TO ARTICLES

128 СОДЕРЖАНИЕ // CONTENT

Подписано в печать 16.06.2017. Тираж 1000 экз. Формат 60x90 1/8.
Выпуск 2-2017, дата выхода в свет 23.06.2017
Объем 11 п. л. Заказ № 2 2017 г. Цена свободная.
Типография ООО «ИНТ».
650065, Россия, Кемеровская область, г. Кемерово, пр-т Октябрьский, 28 офис 215
Тел. 8 (3842) 657889.