

ВЕСТНИК

Научного центра по безопасности работ
в угольной промышленности

Научно-технический журнал



Кемерово

1-2016

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

№ 1-2016

Выходит 4 раза в год

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

ЖУРНАЛ ЗАРЕГИСТРИРОВАН

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

ЖУРНАЛ ВКЛЮЧЕН

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

Учредитель и издатель

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

Адрес издателя и редакции:

650002, г. Кемерово, Сосновый бульвар, 1

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

Компьютерная верстка *Д.А. Трубицына*

тел. 77-86-62, 64-26-51.

e-mail: yarosh_mv@mail.ru

Leeanatoly@mail.ru

www.indsafe.ru

**Позиция редакции не всегда совпадает
с точкой зрения авторов публикуемых материалов**

**В номере использованы материалы сайтов
www.lori.ru, www.freelimages.com, National Institute for
Occupational Safety and Health, и www.graphicriver.net**

© ООО «ВостЭКО», 2016

Адрес типографии:

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

тел. 8 (3842) 657889.

ООО «ИНТ».

Редакционная коллегия:

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

А.А. Ли – заместитель главного редактора,
зам. генерального директора по научной работе -
ученый секретарь АО «НЦ ВостНИИ»,
д-р техн. наук, проф., академик АГН, МАНЭБ

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

М.В. Ярош – редактор ООО «ВостЭКО»

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

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

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

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

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

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

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

VESTNIK

OF SAFETY IN COAL MINING SCIENTIFIC CENTER

Scientific-technical magazine

Kemerovo

1 - 2016

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

№ 1-2016

Is issued 4 times a year

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

MAGAZINE IS REGISTERED

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

THE MAGAZINE IS INCLUDED

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

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

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

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

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

www.indsafe.ru

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

**In the issue of the magazine materials of sites
www.lori.ru, www.freelimages.com, National Institute for
Occupational Safety and Health, and www.graphicriver.
net are used**

© Co Ltd «VostEKO», 2016

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

Editorial board:

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

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

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

M.V. Yarosh – OOO «VostEKO» editor

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

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

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

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

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

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

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

ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ: ПОДДЕРЖКУ ИННОВАЦИОННЫМ ИДЕЯМ И ПРОЕКТАМ

Уважаемые читатели, партнеры и авторы!

Уважаемые читатели, партнёры и авторы,

Первый в этом году номер «Вестника» аккумулирует практически весь тематический спектр публикаций нашего издания. Актуальность резко возросла, ведь проблемы, поднимаемые авторами и авторскими коллективами, вольно или невольно воспринимаются через призму последних чрезвычайных ситуаций на угольных шахтах за рубежом и в России.

Огромный резонанс в среде специалистов и общественности получила февральская авария на шахте "Северная" в г. Воркуте, унёсшая жизнь 36 горняков и горноспасателей. И сегодня мало разделить с семьями погибших горечь утрат. Государство, собственники, учёные, предприятия, чья продукция обеспечивает промышленную безопасности, должны честно и, как говорится, в лоб задать себе вопрос: есть ли у нас необходимый потенциал оборвать порочную цепь трагедий на шахтах?

Из последних заявлений Президента России В. Путина, Председателя правительства Д. Медведева, руководителей профильных федеральных ведомств и регионов следует, что для государства задача минимизации рисков при добыче угля приоритетна и вновь актуализирована. Буквально за несколько дней до выхода "Вестника" в свет об одной из предпринимаемых мер - разработке стратегии по повышению контроля за безопасной работой шахт - члены правительства предметно говорили на специальном заседании. Одновременно Ростехнадзор развернул подготовку ко II форуму-диалогу «Промышленная безопасность – ответственность государства, бизнеса и общества». Он пройдёт в мае, а первый состоялся, как известно, в прошлом году.

Кузбасс уже выступил с законодательной инициативой и внёс свой вклад в решение стоящих проблем. Недавно стало известно, что закон Кемеровской области по повышению уровня промышленной безопасности в угледобывающей отрасли лёг в основу аналогичного Федерального законопроекта, внесённого в Государственную Думу.

В конце моего обращения хотелось бы выразить уверенность, что в этом, а также в других номерах журнала 2016 года, авторы разовьют свои научные и практические идеи, изложат аргументы и убедительные доказательства в пользу тех или иных современных тенденций, отражающих весь диапазон современных взглядов по профильной для всех деятельности.

Поэтому первый номер журнала "Вестник" прошу воспринимать как начало, как старт и приглашение к важной для нас дискуссии.



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

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ИНТЕНСИВНОСТИ ПЫЛЕОТЛОЖЕНИЙ И МЕТОДИКИ ПРОГНОЗА ЗАПЫЛЕННОСТИ ВОЗДУХА



А.А. Трубицын
доктор техн. наук, проф., зам
директора по научной работе
ООО «ВостЭКО+»



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



В.В. Скатов
начальник отдела
управления по надзору в
угольной промышленности
Федеральной службы
по экологическому,
технологическому и атомному
надзору

УДК 622.8

В статье приведены результаты разработки системы мониторинга интенсивности пылеотложений в горных выработках угольных шахтах. Даны алгоритмы оценки и принципиальные схемы устройств контроля показателей, методики прогноза ожидаемой запыленности воздуха при различных технологических процессах.

Ключевые слова: ИНТЕНСИВНОСТЬ ПЫЛЕОТЛОЖЕНИЙ, ГОРНАЯ ВЫРАБОТКА, ДИСПЕРСНЫЙ СОСТАВ УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ, ЗАПЫЛЕННОСТЬ ВОЗДУХА, ПЫЛЕВЗРЫВОЗАЩИТА, ПРОГНОЗ.

Важнейшей проблемой промышленной безопасности в угольных шахтах является предотвращение взрывов пыли. Решение ее в разные периоды развития угольной отрасли формировалось в направлении создания комплексов профилактических мероприятий, которые регламентировались, на определенных этапах, различными нормативными документами. Даже при использовании действенных при низких нагрузках на забои мероприятий по пылевзрывозащите горных выработок до 2000 годов не существовало средств для оперативной оценки их состояния. При этом основной показателем степени опасности состояния горной выработки - интенсивность пылеотложений до сих пор определяется методом, предложенным еще в 60-е годы прошлого столетия, с помощью подложек [1]. Метод весьма трудоемок, продолжителен по времени и говорить о его оперативности не представляется возможным.

В разные годы предпринимались многочисленные попытки создания устройств для автоматического определения интенсивности пылеотложений. Например, известен датчик контроля интенсивности накопления пыли [2], состоящий из чувствительного элемента, соединенного с блоком обработки и передачи информации через блок согласования, и блока питания. Чувствительный элемент снабжен микровесами, состоящими из приемной платформы и пьезокристалла и схемой возбуждения. Недостатком данного датчика является наличие микровесов, что создает определенные проблемы в обслуживании и эксплуатации датчика и поэтому он не эксплуатируется на угольных шахтах.

В настоящее время группой компаний ВостЭКО и Горный-ЦОТ разрабатываются методы и средства непрерывного мониторинга интенсивности пылеотложений, которые бы поэтапно, с учетом существующей сложной экономической ситуации в угольной отрасли, обеспечивали бы внедрение системы при-

борного контроля степени взрывоопасности горной выработки.

На первом этапе для реализации системы мониторинга интенсивности пылеотложений предлагается использовать действующие в системах АГК датчики контроля запыленности воздуха и с помощью известного пересчетного алгоритма, установленного на сервере диспетчера, осуществлять непрерывную оценку показателя. Данный алгоритм приведен подробно в [1] и заключается в определении интенсивности пылеотложения по изменению средней концентрации витающей в воздухе пыли в выработках со стационарными источниками пылевыделения. Выбираются два сечения на различном расстоянии от источника (в пределах участка выработки, где определяется пылеотложение), но не далее соответственно 10 и 50 м. В этих сечениях одновременно замеряется запыленность воздуха. Значение интенсивности пылеотложения (P_t) на участке выработки между этими сечениями рассчитывается по формуле:

$$P_t = \frac{C_1 - C_2}{(l_2 - l_1) \cdot S \cdot t} Q, \text{ г/м}^3 \cdot \text{сут}, \quad (1)$$

где C_1, C_2 - концентрация пыли соответственно в 1 и 2 сечениях, г/м³; l_1, l_2 - расстояние от источника пылевыделения соответственно до 1-го и 2-го сечения, м; S - площадь поперечного сечения выработки в свету, м²; Q - количество прошедшего за время замера воздуха, м³; t - продолжительность замера, сут.

На первом промежуточном этапе внедрение этого метода существенно повысит достоверность и оперативность контроля степени взрывоопасности горной выработки. Наряду с этим, уже на протяжении четырех лет ведутся интенсивные шахтные и лабораторные исследования по установлению закономерностей распределения интенсивности пылеотложений [3] и работы по созданию компактного устройства для его определения.

Известно, что для исследования концентрации пыли и ее дисперсного состава применяют весовой, счетный фотометрический и радиометрический методы [4]. При весовом методе определяется концентрация пыли, выраженная в миллиграммах на один кубический метр воздуха. При счетном методе подсчитывается число пылевых частиц, содержащихся в одном кубическом сантиметре исследуемого воздуха, а также определяются их размеры (дисперсность - фракционный состав пыли) под микроскопом или с помощью кинопроекторной аппаратуры. Приборы для измерения запыленности воздуха методом фотометрии получили название фотопылемеров. Принцип действия этих приборов основан на измерении фотометрическим способом изменения (ослабления) интенсивности светового потока, проходящего через запыленный воздух. Но, как правило, известные приборы не учитывают общее состояние атмосферы в комплексе, что повышает погрешность при оценке фактор запыленности. Например, важными факторами, влияющими на интенсивность пылеотложения, являются такие параметры, как влажность и скорость воздушного потока.

Актуальной задачей является разработка автоматических средств контроля интенсивности пылеотложения, т.е. разработка датчика интенсивности пылеотложения. При этом датчик должен удовлетворять следующим основным условиям: осуществлять непрерывное измерение массы пыли, ее дисперсный состав с выводом данных на дисплей. При этом должен



Я.С. Ворошилов
канд. техн. наук, зам. директора
ООО «Горный-ЦОТ»



С.Н. Мусинов
заместитель директора ООО
«ВостЭКО»



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

быть надежным в эксплуатации и обслуживании и иметь небольшую погрешность в измерении.

Для повышения точности контроля состояния пылевзрывобезопасности атмосферы с помощью оптического метода предложено использовать компоновку источников света под малыми углами рассеяния для определения дисперсности пыли и увеличения количества показателей, характеризующих состояние атмосферы. Предварительные тестовые исследования показали эффективность и надежность данного способа, который заключается в определении интенсивности пылеотложения на основе регистрации комплекса параметров, таких как, величина запыленности воздуха, влажность, температура, скорость движения воздуха, дисперсность пыли. При этом уровень запыленности определяют по средней концентрации витающей в воздухе пыли с использованием оптического метода малых углов рассеяния с учетом влажности воздуха и скорости воздушного потока с помощью встроенного алгоритма оценки (закономерностей) распространения и отложения пыли по длине выработки.

Для реализации способа разрабатывается датчик контроля интенсивности пылеотложения, включающий блок питания, блок обработки и передачи информации, линию передачи данных на дисплей, модуль оптического излучения и приемники оптического излучения, расположенные под разными углами, передающие информацию на модуль измерения дисперсного состава пыли, модуль измерения скорости воздушного потока, модуль измерения влажности, модуль измерения температуры, модуль измерения атмосферного давления, передающие информацию на блок обработки и передачи информации, где происходит логическая увязка всех сигналов с сигналами, полученными от модуля измерения дисперсного состава пыли, расчет дисперсности пыли и оценка интенсивности пылеотложения.

Сущность способа определения интенсивности пылеотложения заключается в том, что для определения дисперсности пыли, содержащейся в атмосфере, и интенсивности запыленности используется оптический метод, а не весовой. При этом интенсивность пылеотложений определяется с учетом скорости движения воздуха и его влажности, и с помощью разработанного алгоритма рассчитывается распределение пыли по длине выработки.

Одной из важнейших характеристик запыленного воздуха (воздушно среды) является дисперсный состав входящих в нее частиц.

Функция распределения частиц по размеру может быть найдена по известной формуле:

$$f(r) = \frac{dn}{n dr}, \quad (2)$$

где n - полное число частиц; dn - число частиц, радиус которых лежит в интервале от r до $(r+dr)$.

Влажность воздуха влияет на летучие свойства угольной пыли. Чем влажнее воздух тем частицы пыли становятся тяжелее, следовательно путь их распространения по выработке становится короче. Скорость движения воздуха влияет на дальность полета пылевых частиц, следовательно учитывая этот показатель можно определить планируемую территорию запыленности.

При этом учитывая все указанные выше показатели и используя математические вычислительные методы можно точно дать оценку состояния шахтной атмосферы, интенсивности пылеотложения и оценить пылевзрывобезопасность горных выработок в шахте.

Согласно теории рассеяния определяется функция $\varphi(x)$, где x – заданная геометрическая или оптическая характеристика. При этом $\varphi(x)$ и $f(r)$ связаны между собой соотношением:

$$\varphi(x) = \int F(xr)f(r)dr \quad (3)$$

где $F(xr)$ – величина известная из теории рассеяния света на отдельной частице.

Решая известное равенство, которое является интегральным уравнением первого рода, получаем значение функции. Используя известный метод, можно получить информацию о дисперсном составе частиц, на которых происходит рассеяние.

Шахтная атмосфера содержит частицы разного размера, таким образом, пучок света проходит через слой различных по размеру частиц с функцией распределения $f(r)$. При этом мы определяем индикатрису рассеяния по соотношению:

$$I(\beta) = \frac{I_0}{\beta^2} \int_0^\infty f(r)r^2 J_1(\rho\beta) dr. \quad (4)$$

Далее определяется функция распределения частиц по размерам:

$$f(r) = -\frac{C}{r^2} \int_0^\infty F(\rho\beta)\varphi(\beta)d\beta, \quad (5)$$

где $F(\rho\beta) = \rho\beta J_1(\rho\beta)N_1(\rho\beta)$; $(\rho\beta)$ – функция Неймана первого порядка; C – нормировочная постоянная.

Таким образом, определяется спектр размеров частиц по экспериментально найденной индикатрисе рассеянного света. Далее определяется оптическая толщина исследуемой дисперсной среды:

$$\tau = \ln \frac{I_0}{I} \leq 0,3, \quad (6)$$

где τ - оптическая толщина исследуемой дисперсной среды; I_0 – интенсивность света в отсутствие частиц; I – интенсивность рассеяния света на частицах света.

Получая этот показатель, мы определяем дисперсность пылевых частиц в атмосфере шахты. Показатели дисперсного состава пыли и ее влажность являются существенными, т.к. оказывают влияние на интенсивность запыленности. Дисперсный состав пыли и влажность оказывают существенное влияние на сдуваемость пыли. Если пыль сухая, то скорость, при которой начинается ее сдувание, гораздо ниже. Одновременно, по мере продвижения запыленного воздуха по горным выработкам его дисперсный состав изменяется. Это происходит за счет того, что выпадают наиболее крупные фракции пыли. Интенсивность пылеотложения определяется по формуле:

$$P_t = 86,4 \frac{f(r)vl^B}{S(W+W_B)} \text{ г/м}^3 \text{ сут.}, \quad (7)$$

где v - скорость движения воздуха по выработке, м/с; l - расстояние от источника пылеобразования, м; S - сечение выработки, м²; B - коэффициент, учитывающий влияние степени метаморфизма угля; $f(r)$ - суммарное значение функции распределения частиц по размеру в момент измерения концентрации, мг/м³; W - естественная влажность угля, %; W_B - относительная влажность воздуха в горной выработке, %.

Степень взрывчатости пыли зависит от вида вещества, образовавшего взрывчатую пыль, дисперсного состава пыли, выделения летучих (горючих) веществ при её нагреве, от влажности, содержания золы и др. Взрывчатость пыли возрастает с увеличением степени дисперсности.

Оптические датчики реагируют на непрозрачные и полупрозрачные предметы, водяной пар, дым, аэрозоли. Предмет, попавший в активную зону оптического датчика, вносит изменения в прохождение луча. В данном случае, это пылевые частицы разного размера. В основе работы датчика лежит принцип использования оптического метода малых углов рассеяния для определения дисперсности пыли. Изменение фиксируется приёмниками, расположенными под разными углами к лучу. После обработки, появившийся сигнал подаётся на модуль расчета дисперсного состава пыли, где и происходит обработка, преобразование сигналов из аналогового в цифровой и их сравнение, затем определяется гранулометрический состав пыли. Далее данные поступают на блок обработки и передачи информации, где информация анализируется во взаимосвязи с поступившей информацией с модулей скорости воздушного потока, измерения влажности, температуры и атмосферного давления. В зависимости от гранулометрического состава атмосферы, скорости воздушного потока и влажности воздуха расчетно определяется характер распределения пылеотложения. Модуль измерения скорости воздушного потока базируется на принципе действия ультразвукового анемометра. Измеряется скорость и направление движения воздуха. Модули измерения влажности и температуры содержат датчики влажности и температуры соответственно. Модуль измерения влажности предназначен для измерения и контроля количества влаги в атмосфере. При этом измеряется относительная влажность, то есть количество водяного пара, которое содержит воздух при данной температуре. Модуль измерения атмосферного давления содержит датчик давления, например это может быть тензометрический датчик давления Bosch BM180.

Блоком обработки и передачи информации сигналы с датчиков обрабатываются и передаются на дисплей, где одновременно с информацией о характере пылеотложения показана информация о дисперсности пыли. В блоке обработки и передачи информации производится математическая обработка сигналов (с использованием формулы способа определения интенсивности пылеотложения), а на дисплей информация выводится как в цифровом виде, так и графическом, что усиливает наглядность подаваемой информации. Анализ дисперсного состояния пыли с учетом скорости движения воздуха и его влажности позволит оперативно и наиболее точно определить показатель интенсивности пылеотложения. В систему АГК в качестве уровня тревоги вводится значение нижнего предела взрываемости отложившейся угольной пыли для конкретного угольного пласта, определяемого по результатам лабораторных испытаний. При достижении расчетного количества отложившейся на участке выработки пыли значения 90 % нижнего предела взрываемости, система выдает сигнал тревоги и диспетчер должен дать команду персоналу, обслуживающему данную выработку, на приведение ее в пылевзрывобезопасное состояние. После проведения мероприятий по пылевзрывозащите расчет показателей интенсивности пылеотложе-

ний и количества отложившейся по выработке угольной пыли возобновляется. Использование предлагаемого способа и устройства (заявка на изобретение направлена в Роспатент) позволит оперативно и своевременно проводить мероприятия по обеспыливанию атмосферы шахты.

Кроме того, на этапе разработки проектной документации в соответствии с пунктом 11 [1] выбор мер по борьбе с пылью осуществляется на основании прогноза запыленности рудничного воздуха в горных выработках шахты.

В целях содействия соблюдению требований Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности была разработана методика, определяющая порядок проведения прогноза запыленности рудничного воздуха в горных выработках шахты, и выбора мер, направленных на снижение запыленности рудничного воздуха.

Запыленность воздуха в угольных шахтах зависит от многих факторов, в основном же определяется интенсивностью образования и выделения пыли в рудничную атмосферу при выполнении различных производственных процессов и эффективности применяемых мер, способов и средств борьбы с пылью. Основной характеристикой пылеобразующей способности угольных пластов является удельное пылевыведение, определяемое расчетом суммарного содержания в разрушенном угле пылевых частиц размерами 1 – 100 мкм, которые способны переходить во взвешенное состояние, что явилось основополагающим для разработки данной методики.

Для определения прогнозной запыленности рудничного воздуха используются установленные в документации по ведению горных работ значения: вынимаемая мощность пласта m_e , м; производительность очистного комбайна $P_{оч}$, т/мин; производительность проходческого комбайна $P_{пр}$, т/мин; расход воздуха в очистном забое $Q_{оч}$, м³/мин; расход воздуха в забое подготовительной выработки $Q_{пр}$, м³/мин; скорость воздуха в забое очистной выработки $v_{оч}$, м/с; скорость воздуха в забое подготовительной выработки $v_{пр}$, м/с.

Методика включает в себя следующие этапы:

1. Проведение лабораторных испытаний пластовых проб угля.
2. Расчет прогнозной запыленности рудничного воздуха.

3. Выбор мер по борьбе с пылью при расчетном превышении прогнозной запыленности рудничного воздуха к максимально допустимой и проверка эффективности принятых мер.

Для проведения лабораторных испытаний отбирают пластовые пробы угля в соответствии с [4]. Места отбора пластовых проб выбираются на участках горных выработок, где в дальнейшем планируется ведение горных работ по добыче угля или проведению горной выработки.

Лабораторные испытания пластовых проб состоят из следующих этапов: взвешивание пластовой пробы; дробление пластовой пробы; определение гранулометрического состава пластовой пробы после ее дробления.

Пластовые пробы взвешиваются на технических весах с относительной погрешностью взвешивания не более 0,1 %. Дробление пластовых проб проводится в соответствии с [5]. Гранулометрический состав пластовых проб после их дробления определяется в соответствии с [6]. Рассев пластовых проб начинается на сите с наибольшим размером отверстий сетки и заканчивается на контрольной сетке по [7] с номинальным размером сторон ячеек в свету 0,1 мм. После определения гранулометрического состава в пластовой пробе определяется общая влага угля по [8].

По результатам определения гранулометрического состава пластовой пробы после ее дробления и общей влаги рассчитывается удельное пылевыведение $q_{пл}$, г/т, по формуле:

$$q_{пл} = 150 \times a_{100} \times ((0,65m_b + 0,007) \times 5,5(\exp(-0,3W))), \quad (8)$$

где a_{100} – выход при ситовом анализе класса крупностью менее 0,1 мм, %; W – общая влага угля, %.

Прогнозная запыленность рудничного воздуха определяется:

для очистного забоя $C_{оч.заб}$, (мг/м³), по формуле:

$$C_{оч.заб} = 1000 \frac{2q_{пл}P_{оч}(0,07v_{оч}^3 + 1,1v_{оч}^2 - 3,1v_{оч} + 3,5)}{Q_{оч}} (1 - \mathcal{E}_{оч}), \quad (9)$$

где $\mathcal{E}_{оч}$ – эффективность мер по борьбе с пылью в очистном забое, содержащихся в проектной документации на строительство, реконструкцию и техническое перевооружение шахт в составе мероприятий по безопасному ведению работ, связанных с пользованием недрами, доля;

для подготовительного забоя $C_{п.заб}$, (мг/м³), по формуле:

$$C_{п.заб} = 1000 \frac{q_{пл}P_{пр}(0,7v_{пр}^3 + 8,5v_{пр}^2 - 7,6v_{пр} + 2,7)}{Q_{пр}} (1 - \mathcal{E}_{пр}), \quad (10)$$

где $\mathcal{E}_{пр}$ – эффективность мер по борьбе с пылью в подготовительном забое, содержащихся в проектной

Таблица 1 - Эффективность мероприятий по борьбе с пылью в очистных забоях

Меры по борьбе с пылью	Эффективность, доли	
	Комбайны с открытым исполнительным органом	Комбайны с ограждающими щитами
Орошение:		
внешнее	0,7 – 0,92	0,8 – 0,9
внутреннее и внешнее	0,9 – 0,93	–
водовоздушные эжекторы	0,9 – 0,95	–
пневмогидроорошение	0,9 – 0,98	–
Пылеотсос	0,7 – 0,93	–
Пена	–	0,9 – 0,95
Комбинированное:		
внешнее орошение и пылеотсос	0,95	–
водовоздушные эжекторы и пылеотсос	0,97	–
пена и пылеотсос	–	0,94 – 0,97
внутреннее и внешнее орошение и пылеотсос	0,98	–
Предварительное увлажнение угольного массива:		
водой	0,4 – 0,6	–
с применением добавок	0,6 – 0,8	

П р и м е ч а н и е. При оценке комплекса мер по борьбе с пылью принимаются меньшие значения эффективности.

Таблица 2 - Эффективность мероприятий по борьбе с пылью в подготовительных забоях

Меры по борьбе с пылью	Эффективность, доли	
	Комбайны с открытым исполнительным органом	Комбайны с ограждающими щитами
Орошение:		
внешнее	0,7 – 0,92	0,8 – 0,9
внутреннее и внешнее	0,9 – 0,93	–
водовоздушные эжекторы	0,9 – 0,95	–
пневмогидроорошение	0,9 – 0,98	–
Пылеотсос	0,7 – 0,93	–
Пена	–	0,9 – 0,95
Комбинированное:		
внешнее орошение и пылеотсос	0,95	–
водовоздушные эжекторы и пылеотсос	0,97	–
пена и пылеотсос	–	0,94 – 0,97
внутреннее и внешнее орошение и пылеотсос	0,98	–
Предварительное увлажнение угольного массива:		
водой	0,4 – 0,6	–
с применением добавок	0,6 – 0,8	

П р и м е ч а н и е. При оценке комплекса мер по борьбе с пылью принимаются меньшие значения эффективности.

документации на строительство, реконструкцию и техническое перевооружение шахт в составе мероприятий по безопасному ведению работ, связанных с использованием недрами, доля.

В случаях, когда определенная прогнозная запыленность рудничного воздуха в очистном или подготовительном забое, превышает запыленность рудничного воздуха для данных выработок, регламентированную пунктами 36, 44 [1], в документацию по ведению горных работ включают дополнительные меры по ее снижению.

Принятая прогнозная запыленность рудничного воздуха, рассчитанная с учетом данных дополнительных мер определяется:

для очистного забоя $C_{оч.заб.пр}$, мг/м³, по формуле:

$$C_{оч.заб.пр} = C_{оч.заб} \prod_{k=1}^n (1 - \mathcal{E}_k), \quad (11)$$

для подготовительного забоя $C_{п.заб.пр}$, мг/м³, по формуле:

$$C_{п.заб.пр} = C_{п.заб} \prod_{k=1}^n (1 - \mathcal{E}_k), \quad (12)$$

где \mathcal{E}_k – эффективность мероприятий по борьбе с пылью, выбранных при составлении документации по ведению горных работ, доля; n – количество дополнительно выбранных мер по борьбе с пылью при составлении документации по ведению горных работ, шт.

Значения коэффициента \mathcal{E}_k для очистных забоев приведены в таблице 1, для подготовительных – в таблице 2.

Выбранные меры, направленные на снижение запыленности рудничного воздуха в угольных шахтах, можно считать достаточно эффективными, если значения принятой прогнозной запыленности рудничного воздуха не превышают нормативных значений запыленности, соответствующих Инструкции по борьбе с пылью.

На основании проведенных исследований был разработан нормативный документ Ростехнадзора Руководство по безопасности «Рекомендации по прогнозу и выбору мер, направленных на снижение запыленности рудничного воздуха в угольных шахтах» [9].

Таким образом, реализация и внедрение разработанного способа, комплекса методик и алгоритмов, а также средств для мониторинга запыленности воздуха и оценки интенсивности пылеотложения позволят сформировать надежную и эффективную систему мониторинга оценки взрывоопасности горных выработок, что обеспечит оперативность проведения профилактических мероприятий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Российская Федерация. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности. Инструкция по борьбе с пылью в угольных шахтах. приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору 14 окт. 2014 г. N 462.
2. Трубицына, Д.А. Результаты шахтных исследований интенсивности пылеотложений по сети горных выработок /Д.А. Трубицына, А.А. Анисимов, Д.С. Хлудов, С.В. Оленников, Н.В. Трубицына// Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности.- 2014.-№1. – С.68-74.
3. Белов С.В. Учебник по безопасности жизнедеятельности. - М.: Высшая школа, 2003 г.
4. ГОСТ 9815-75. Межгосударственный стандарт. "Угли бурые, каменные, антрацит и горючие сланцы. Метод отбора пластовых проб"- М.: "ИПК Издательство стандартов", 1998.
5. ГОСТ 21153.1-75. Межгосударственный стандарт. "Породы горные. Метод определения коэффициента крепости по Протодьяконову"- М.: ИПК Издательство стандартов, 1999.
6. ГОСТ 2093-82. Межгосударственный стандарт. "Топливо твердое. Ситовый метод определения гранулометрического состава"- М.: "ИПК Издательство стандартов", 1998.
7. ГОСТ 6613-86. Межгосударственный стандарт. "Сетки проволочные тканые с квадратными ячейками"- М.: Стандартиформ, 2006.
8. ГОСТ 52911-2013. Национальный стандарт Российской Федерации. "Топливо твердое минеральное. Определение общей влаги"- М.: Стандартиформ, 2014.
9. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору № 83 от 04.03.2016 г. Об утверждении Руководства по безопасности «Рекомендации по прогнозу и выбору мер, направленных на снижение запыленности рудничного воздуха в угольных шахтах».

DEVELOPMENT OF MONITORING SYSTEM DUST DEPOSITS INTENSITY AND METHODS OF FORECAST OF DUST LEVELS

Trubitsyn A.A., Podobrajn S.N., Voroshilov Y.S., Musinov S.N., Trubitsyna D.A.

The results of monitoring the intensity of the development of deposits of dust in mountain developments coal mines. Given estimation algorithms and concepts of indicators for monitoring devices, methods of forecasting the expected particulate air pollution in various industrial processes.

Keywords: THE INTENSITY OF DUST DEPOSITS, EXCAVATION, DISPERSE COMPOSITION OF COAL DUST, AIR DUST, DUST EXPLOSION, FORECAST.

Трубицын Анатолий Александрович
atrubitsyn@rambler.ru

Подображин Сергей Николаевич
tghcn13@mail.ru

Скатов Виктор Васильевич
V.Skatov@gosnadzor.ru

Ворошилов Ярослав Сергеевич
yaroslav.voroshilov@gmail.com

Мусинов Станислав Николаевич
e-mail: vosteko@inbox.ru

Трубицына Дарья Анатольевна
dtrubitsyna@gmail.com



ИЗСТ-01

ИЗМЕРИТЕЛЬ ЗАПЫЛЕННОСТИ СТАЦИОНАРНЫЙ

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

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

*«Уголь любой ценой – Кузбассу не
нужен»*

А.Г. ТУЛЕЕВ

ООО "ВОСТЭКО"

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

экспертиза промышленной безопасности;

в том числе:

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

Направления деятельности Испытательной лаборатории:

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

indsafe.ru

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

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

патентные исследования;

Сектор патентных исследований проводит:

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

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

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

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

I. ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ГЕОМЕХАНИКА INDUSTRIAL SAFETY AND GEOMECHANICS

УДК 622.121

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ НА ГАЗОНОСНОСТЬ ПРИКОНТУРНОЙ ЧАСТИ ПЛАСТА

Представлены описание разработанного метода и результаты измерений газокинетических характеристик пласта путем контроля давления и температуры газа в колбах с пробами выбуренного угля. Получены высокая сходимость результатов по параллельным пробам и их соответствие известному снижению геологической газоносности в приконтурной части пласта под влиянием снижения напряжений.

Ключевые слова: УГОЛЬНЫЙ ПЛАСТ, ГОРНАЯ ВЫРАБОТКА, ШПУР, ПРОБА, ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ, ДИНАМИЧЕСКАЯ И ОСТАТОЧНАЯ ГАЗОНОСНОСТЬ, ТВЕРДЫЙ УГЛЕГАЗОВЫЙ РАСТВОР, НАПРЯЖЕНИЯ, ДАВЛЕНИЕ И ТЕМПЕРАТУРА ГАЗА, СКОРОСТЬ ГАЗОИСТОЩЕНИЯ

Основной задачей проектирования режимов проветриваний шахт и оценки эффективности технологических решений по управлению метанообильностью и газодинамической безопасностью является информация о газоносности угольных пластов. Актуальность этой задачи значительно

возросла при широком внедрении в практику горных работ высокопроизводительных технологий добычи угля. В изменившихся условиях стало явно недостаточно геологоразведочных данных о газоносности пласта на основе весьма редкой сети пробуренных с поверхности скважин. Все большее количество работ ориентируется на определение газоносности из горных выработок. Над этими решениями работает ряд научно-исследовательских коллективов при активном участии специалистов шахт и угольных компаний.

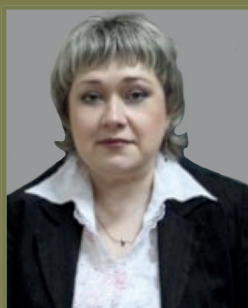
Фундаментальный научный задел в этом направлении сделан российскими учеными в начале 80-х годов [1–2], а в 90-х годах он признан научным открытием [3]. Открыто свойство «органического вещества угля образовывать с газами метастабильные однофазные системы по типу твердых растворов, возникновение которых 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 при неиз-



Г. Я. Полевщиков

д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник ФГБНУ «ФИЦ УУХ СО РАН»



Е. Н. Козырева

канд. техн. наук, заведующая лабораторией ФГБНУ «ФИЦ УУХ СО РАН»



А. А. Рябцев

ведущий инженер ФГБНУ «ФИЦ УУХ СО РАН»



Р. И. Родин

младший научный сотрудник ФГБНУ «ФИЦ УУХ СО РАН»



Е. С. Непкина

ведущий инженер ФГБНУ «ФИЦ УУХ СО РАН»



Е. М. Цуран

ведущий инженер ФГБНУ «ФИЦ УУХ СО РАН»

менных внешних условиях газоносность пласта может сохраняться сколь угодно долго. А при снижении напряжений, например в зоне влияния горных работ метан выделяется из твердого раствора в трещинно-пористую систему пласта, формируя градиент давления свободного газа и, соответственно, фильтрационный поток в направлении к обнаженной поверхности. Поскольку исходная механическая нагрузка (геостатическое давление) в 2,5 раза больше газового давления (гидростатического давления) в фильтрующих трещинах (кливаж), то потенциально возможное повышение давления, выделяющегося из раствора метана (диффузия), в значительной мере определяется снижением механических напряжений. В результате давление газа над внутренней поверхностью угля возрастает, соответствующая часть перешедшего в свободное состояние метана адсорбируется, снижая прирост давления газа. Чем выше сорбционный потенциал угля, тем больше его влияние на «демпфирование» динамики давления свободного метана. Величина этого давления и определяет режим фильтрации газа в направлении к обнаженной поверхности пласта, создаваемой выработкой или скважиной, и газодинамическую устойчивость слоя угля между этой поверхностью и трещиной. Отметим, распад твердого раствора сопровождается повышением, а десорбция газа – понижением температуры. В силу меньшей связанности адсорбированного метана с поверхностью угля, по сравнению с «растворенным», например, при разрушении предварительно разгруженного, но недегазированного угля начальная скорость газовыделения будет значительно выше [4]. В настоящее время исследования свойств газоносных угольных пластов как двухкомпонентных геоматериалов активно развиваются [5–21].

Принимая, что снижение механических напряжений предшествует распаду ТУГР, который является основой диффузии свободного метана к границам блока угля, для изолированного от выработки блока на некоторый момент времени от начала снижения напряжений, справедливы соотношения

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

где $\sigma_1 > \sigma_2$ – механические напряжения, МПа; P_ϕ – избыточное давление свободного газа в изолированном блоке угля при снижении в нем механических напряжений, МПа;

X_{cs} – приведенное к нормальным условиям количество свободного метана в пустотах блока угля, м³/т;

P_{am} – атмосферное давление, МПа;

Π_y – объем пустот в блоке угля, м³/т.

Отметим, размеры блока угля равны расстоянию между трещинами в пласте, обеспечивающими его как минимум водопроницаемость. При распаде ТУГР эти размеры могут существенно уменьшаться за счет развития в блоке закрытых микротрещин (микродислокаций в структуре угля) с выходом их на систему фильтрующих трещин. Эта перспектива определяется условием:

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

где P_ϕ – давление в фильтрующих трещинах, ограничивающих блок, МПа;

$[\sigma_p]$ – предельные растягивающие напряжения для угля, МПа.

Динамика перехода формы существования газа из одного метастабильного состояния в другое соответствует закону сохранения его массы, в нашем случае отражающем изменение структуры газоносности угля по формам существования метана

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

где $X_1(\sigma_1) > X_2(\sigma_2, P_\phi, t)$ – газоносности ТУГР, соответствующие σ_1 и $(\sigma_2 + P_\phi)$, м³/т;

t – время с момента снижения напряжений, с;

X_a – адсорбированный метан, м³/т;

A, B – константы изотермы сорбционной метаноемкости угля, м³/т, 1/МПа, соответственно;

T – температура в пласте, градус;

X_o – диффундировавший метан, м³/т;

K_o – 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

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

где ΔX_ϕ – увеличение объема фильтрующегося к обнаженной поверхности пласта метана на интервале R_ϕ , м³/т;

K_ϕ – коэффициент газопроницаемости пласта;

L – расстояние от блока до обнаженной поверхности пласта, м.

Все слагаемые в равенстве (3) являются затухающими во времени функциями. Их общая асимптота при $t \rightarrow \infty$ определяется условием

$$P_\phi \approx P_\phi, \quad (5)$$

так как закон диффузии применим лишь к свободному и адсорбированному метану, а газ в составе ТУГР связан напряжениями $\sigma_2 + P_\phi$.

Вне зоны влияния горных работ наличие в пласте значимых объемов свободного и, следовательно, адсорбированного метана невозможно, так как за геологический период времени

он, диффундируя в систему фильтрующих трещин, «вымывается» их них потоками подземных вод. По этой причине измеряемое через пробуренную скважину давление газа в пласте в наиболее благоприятной ситуации (оперативная и надежная герметизация измерительной камеры) лишь приближается к гидростатическому давлению, то есть в общем случае следует принимать

$$P_{\phi} \geq P_z > P_{\phi} \quad (6)$$

где P_z – гидростатическое давление в фильтрующих трещинах, МПа.

При наличии в пласте свободной воды и связи с дневной поверхностью гидравлическое давление на блок угля при $\sigma_1 = const$ не столько поддерживает существование небольшой части метана в свободном и адсорбированном состоянии (3 и 5), а создает свою часть напряжений в пласте аналогично действию литологического давления вышележащих пород. Из соотношения плотности пород и воды следует, что эта часть может повысить газоносность ТУГР до 40 %. 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 при σ^1 .

Обоснованность приведенного описания особенностей существования метана в угольных пластах можно проиллюстрировать опытом их дегазации.

На глубинах залегания до 300 м, где гидродинамика месторождения относительно активна, снижение газоносности не разгруженного 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. Поступление при этом воды в скважины требует установки на дегазационных трубопроводах специальных водоотделителей. Отметим, что 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 невелико, так как удельный объем природных фильтрующих трещин мал. Резкое увеличение их плотности обеспечивается гидроразрывом пласта с соот-

ветствующим ростом эффективности дегазации, но только после вытеснения воды из системы трещин, на что потребуется до двух лет.

На глубинах больше 300 м значительная часть природных трещин закрывается, их гидродинамическая связь с дневной поверхностью снижается, и газоносность ТУГР зависит в основном от литологического давления. Поступление воды в дегазационные скважины практически отсутствует. Эффективность дегазации не разгруженных от горного давления пластов на глубинах 500–700 м по данным мониторинга дегазационных систем составляет менее 10 % при плотности бурения 3–5 м и продолжительности работы скважин более одного года. Даже весьма затратные технологии гидроразрывов пласта на значительной площади не позволяют достичь 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 трещин большой протяженности через удаленную скважину, минимизируется. Для достижения эффекта более перспективна технология поинтервального ориентированного гидроразрыва пласта непосредственно через дегазационную скважину [22, 23], когда радиус гидроразрыва составляет несколько метров и осушка трещин гидроразрыва не требует больших давлений в них газа для вытеснения воды.

Сложность изучения состояния метана в угольных пластах обусловлена техническими трудностями извлечения проб в их природном состоянии, то есть без изменения напряжений и газоистощения. 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 изменений газоносности и давления невозможно. Не снижает потери 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 в керне 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 в ФИЦ

УУХ СО РАН разработана специальная методика и, совместно с ИФП СО РАН, взрывозащищенные термобарометрические колбы с электронными датчиками давления и температуры и чипами хранения информации [24].

Проба выбуренного угля помещается в колбу и герметизируется. Контролируемая электронной системой термо- и бародинамика процесса определяется снижением газоносности угля с нарастанием давления в постоянном свободном объеме. При средневзвешенном диаметре частиц 1–2 мм и продолжительности отбора пробы до 1,5 минут сохранение остаточных напряжений в угле исключается. Но рост давления выделяющегося из угля газа в колбе создает напряжения в частицах угля, что сдерживает процесс распада ТУГР. Тем самым условия экспериментов 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 газоистощения газоносного угля. Для снижения теплообмена с окружающей средой внутренняя поверхность колбы футеруется термоизолятором. Замеренное время выравнивания температур в колбе и атмосфере составляет около 2 часов при перепаде температур в 5 0С.

Подобные измерения возможны и при искусственном насыщении предварительно дегазированной пробы угля метаном с последующим определением сорбционной метаноемкости при соответствующих давлении и температуре. Для краткости изложения результатов исследований условимся определять такие условия подготовки проб к опыту как газонасыщенный уголь.

Отметим, что приведенное к нормальным условиям (давление 760 мм.рт.ст, температура

20 °С) общее количество газа в угле и свободном объеме колбы после ее герметизации не зависит от изменения температуры и давления. При этом количество свободного газа определяется законом Клайперона. Следовательно, можно использовать правило двух сообщающихся сосудов с различными термобарическими характеристиками, известными для одного из них.

Отбор и анализ проб газоносного угля выполнялись путем бурения шпуров из подготовительной выработки на шахте «Чертинская-Коксовая». Глубина залегания пласта в месте отбора проб около 550 м, геологическая газоносность составляет 28,5 м³/т. Глубина отбора проб от борта выработки 2–3,5 м на расстоянии от забоя 2–3 м. После загрузки в колбы пробы герметизировались и активировались электронные системы контроля давления и температуры. Время доставки колб на поверхность составляло 4–6 часов, в лабораторию - до 10 часов. Снятие показаний электронных чипов проводили в лаборатории. Затем колбы помещались в термостат (20 °С), где выдерживались в течение двух суток для стабилизации давления и температуры. После стабилизации значений колбы подсоединяли к заполненным водой газосборным сосудам и выполнялись ступенчатые выпуски газа с измерением выпускаемых объемов и последующим контролем и стабилизацией на каждой ступени изменений давления и температуры (рис. 1). Выпускаемые объемы газа приводились к давлению 760 мм рт. ст. и температуре 20 °С. После окончания измерений выполнялись анализы технического и гранулометрического состава проб (табл. 1).

При обработке результатов измерений учитывалось, что рост давления газа в колбах обусловлен газоистощением угля. При этом скорость распада ТУГР снижается как по мере газоистощения частиц, так и с ростом давления

Таблица 1 – Результаты измерений технического и гранулометрического состава проб угля

Показатель	проба № 1	проба № 2	проба № 3
Объем колбы, см ³	755	755	750
Масса пробы, г	369,5	353,5	384,2
Зольность, %	21,9	15,3	14,8
Влажность, %	0,52	0,56	0,63
Выход летучих, %	33,9	34,8	35,4
Сухая беззольная масса, г	286,7	297,4	325
Средневзвешенный диаметр частиц, см	0,14	0,13	0,10
Общая удельная поверхность, м ² /г	0,78	0,42	1,34

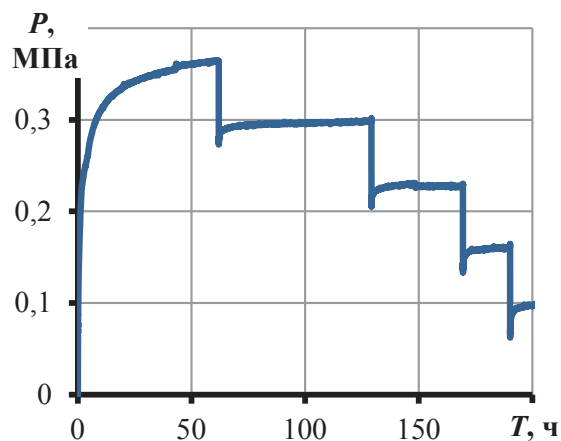


Рисунок 1 – Изменение давления газа P в колбе при его ступенчатых выпусках во времени T

свободного газа с переходом в пределе, в новое метастабильное состояние (см. рис. 1). Исходя из этого представления, по графику давления определялись эмпирические коэффициенты аппроксимирующей функции. С учетом свободного объема колбы, рассчитывалась динамика соответствующего притока метана, динамическая газоносность при различных установившихся давлениях (рис. 2) на момент герметизации (табл. 2). Отметим, что идентификация аппроксимирующей функции позволяет найти значение скорости газоистощения угля, в том числе и в начальный момент после герметизации колбы. Принимая в первом приближении, что это значение в период от начала выбуривания до герметизации пробы остается постоянным, можно оценить также объем упущенного метана на единицу сухой беззольной массы угля (табл. 2).

Методика не предусматривала этап дробления и термовакуумирования пробы после выпуска метана при атмосферном давлении для определения остаточной газоносности угля при

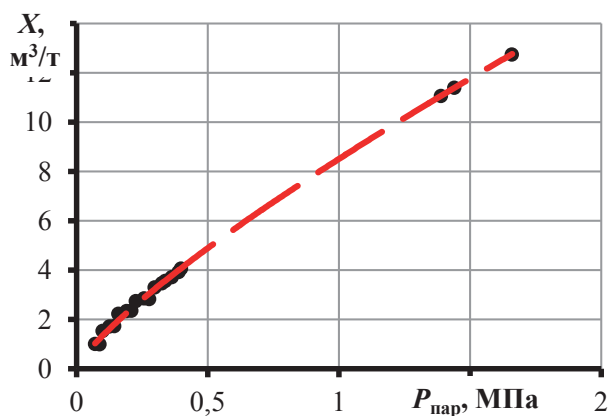


Рисунок 2 – Динамическая газоносность X проб угля и соответствующие значения парциального давления метана $P_{пар}$ при его ступенчатых выпусках

давлению ниже атмосферного. По этой причине измеренные значения следует рассматривать в качестве *динамической* составляющей газоносности, а для определения более полной величины достаточно к замеренным значениям динамической газоносности на момент герметизации пробы прибавить остаточную газоносность при атмосферном давлении, принимая ее в зависимости от выхода летучих веществ по рекомендациям нормативного документа [25]. Сумма остаточной, динамической газоносности на момент герметизации пробы (см. табл. 1) и упущенного метана до этого момента определяет технологическую газоносность пласта в точке отбора (см. табл. 2).

На рисунке 2 абсциссы точек со значениями давления газа, соответствующего газоносности на момент герметизации колб (см. табл. 2), рассчитывались путем аппроксимации замеров давления и газоносности у начала координат. Значительная экстраполяция одного из парамет-

Таблица 2 – Результаты определения газоносности проб угля

Показатель	проба № 1	проба № 2	проба № 3
Геологическая газоносность пласта в месте отбора проб, см ³ /г	28,5		
Глубина отбора пробы от обнаженной поверхности пласта, м	3,25	2,25	3,25
Время герметизации, мин	1,12	1,00	1,16
Динамическая газоносность выбуренного угля на момент герметизации пробы, см ³ /г	12,6	11,3	11,0
Остаточная газоносность, см ³ /г	2,5	2,5	2,5
Упущенный метан, см ³ /г	7,5	5,9	6,3
Технологическая газоносность, см ³ /г	22,6	19,7	19,8

тров вполне приемлема, на что указывает достаточно высокая сходимость его замеренных значений с линией тренда ($R^2 = 0,985$). В тоже время длительное сохранение давления свободного газа ($\approx 1,5$ МПа) в пласте на удалении 2–3 м от борта выработки не соответствует законам фильтрации, так как геомеханические процессы в этой зоне обуславливают значительное повышение газопроницаемости пласта и интенсивный сток газа в выработку. Следовательно, регистрируемое в колбах давление есть следствие перехода части глубоко связанного под действием пластовых напряжений метана в свободное состояние в результате частичной разгрузки пласта, что является подтверждением существования ТУГР, но косвенным.

Для прямой оценки влияния механических напряжений на газоносность угля часть колб после 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 парциальное давление гелия в колбе с пробой угля можно рассматривать как способ создания не связанных с давлением метана напряжений, близких по своему следствию механическим напряжениям.

На рисунках 3 и 4 представлены результаты измерения динамической газоносности проб угля при различных парциальных давлениях метана в следующих условиях:

- давление газа в колбе формируется только за счет газоистощения пробы угля;
- начальное давление создается запол-

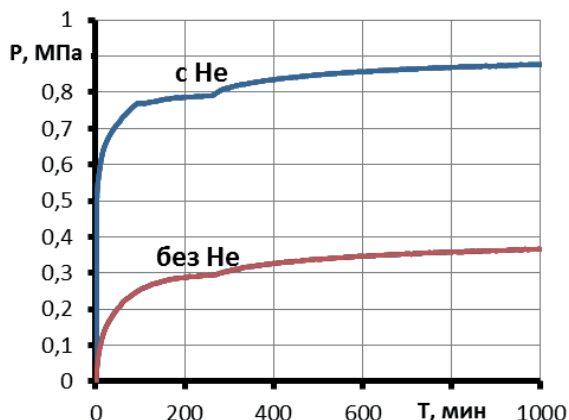


Рисунок 3 – Динамика давления газа P в колбах с газоносным углем (с гелием и без гелия)

нением колбы гелием, а последующий его рост обеспечивается за счет газоистощения пробы угля.

Сравнивая динамику давления газа в колбах (рис. 3 и 1) видно, что прирост давления смеси CH_4 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 существенного ограничения процесса распада ТУГР с тем газосодержанием, с которым проба поступила в колбу (см. табл. 2). Однако полный цикл измерений метастабильных состояний углеметанового геоматериала путем ступенчатых выпусков подтвердил значимость дополнительных к парциальному давлению метана напряжений (рис. 4) и в первом приближении количественно определил эту связь (рис. 5).

Вычисленное по прямым замерам давление (см. рис. 2, правые верхние точки), соответствующее динамической газоносности пробы на момент герметизации (см. табл. 1), указывает на напряжения, при которых уголь может содержать такое количество метана. Снижение напряжений активирует распад ТУГР, формируя давление газа с переходом его части в адсорбированное состояние и фильтрацией к внешней поверхности частицы (блока) угля.

О термодинамике процессов распада, десорбции и нарастания давления газа в колбе можно судить по показаниям датчика температуры (рис. 6). При заполнении колбы углем температура повышается до 20 °С (начальная температура равна температуре в выработке ≈ 18 °С). Затем практически до момента герметизации колбы снижается до 15,4 °С. После чего отмеча-

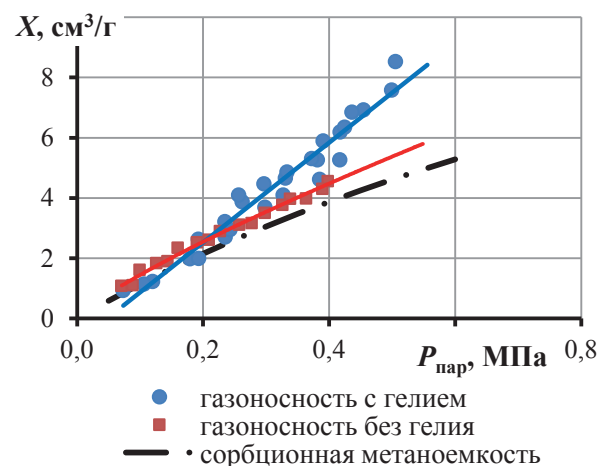


Рисунок 4 – Газоносность и сорбционная метаноемкость проб угля с избыточным парциальным давлением метана $P_{\text{пар}}$ под влиянием дополнительных напряжений в угле

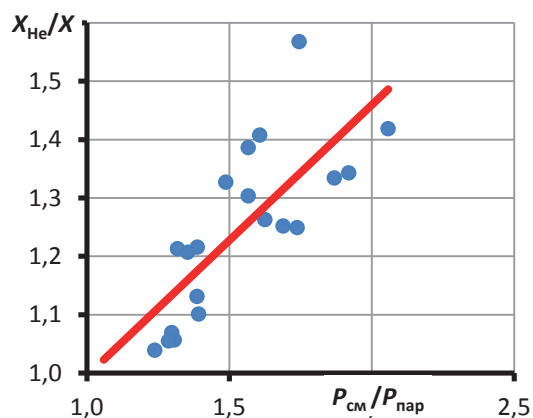


Рисунок 5 – Относительное повышение динамической газоносности проб угля с гелием X_{He} и без гелия X с ростом отношения общего давления смеси $P_{см}$ к парциальному давлению метана $P_{пар}$

ется нарастание температуры до ≈ 20 °С, в некоторых колбах до 23 °С, и давления до 0,28–0,43 МПа в течение 250 мин.

Из графика температуры видно, что в период от разрушения угля до герметизации колбы превалирует влияние десорбции и расширения газа, протекающих с понижением температуры. После герметизации нарастание давления снижает их интенсивность и проявляется влияние диссипации ТУГР с повышением температуры. Однако, поскольку полный распад ТУГР происходит за 3 часа [21], то на изменение температуры в этот период влияет и теплообмен с окружающей средой.

Выводы.

1. Результаты измерений термобарических характеристик газоносного угля подтверждают, что газоносный угольный пласт следует

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Эттингер, И. Л. Физическая химия газоносного угольного пласта / И. Л. Эттингер. - М.: Наука, 1981. – 104 с.
2. Эттингер, И. Л. Растворы метана в угольных пластах / И. Л. Эттингер // Химия твердого тела. – 1984. – № 4. – С. 28 - 35.
3. 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.
4. 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.
5. Рябцев, А. А. Подготовка данных о газоносности пластов для электронного картирования / А. А. Рябцев // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2011. - № 2. – С. 120–124.
6. Козырева, Е. Н. Газокинетические следствия нелинейных геомеханических процессов в массиве горных пород на шахтах Кузбасса / Е. Н. Козырева, М. В. Шинкевич, Р. И. Родин // Нелинейные геомеханико-геодинамические процессы при отработке месторождений полезных ископаемых на больших глубинах: Труды 2-ой Российско-Китайской науч. конф., Новосибирск, 2012. – С. 267–272.

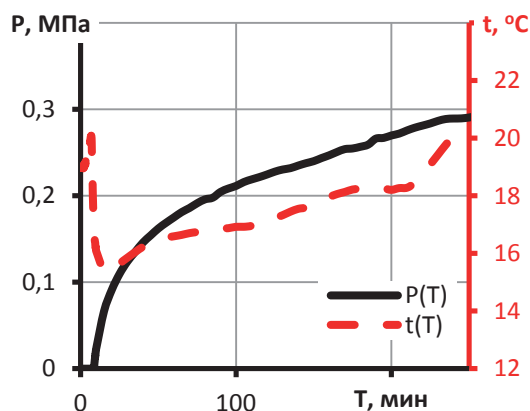


Рисунок 4 – Газоносность и сорбционная метаноёмкость проб угля с избыточным парциальным давлением метана $P_{пар}$ под влиянием дополнительных напряжений в угле, создаваемых давлением гелия

рассматривать как однофазную систему по типу твердого раствора, необратимо распадающуюся 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, при снижении которых пропорционально снижается, формируя давление свободного газа в фильтрующих трещинах.

3. Разработанные методика и оборудование для изучения свойств и состояний углеметановых геоматериалов применимы для измерения газоносности угольных пластов из горных выработок, скорости газовыделения из разрушаемого угля и максимально возможного давления газа в фильтрующих трещинах при снижении напряжений в оконтуренных ими блоках угля.

7. Назарова, Л. А. Определение коэффициента диффузии и содержания газа в пласте на основе решения обратной задачи по данным измерения давления в герметичной емкости с угольным веществом / Л. А. Назарова, Л. А. Назаров, Г. Я. Полевщиков, Р. И. Родин // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2012. – № 5. – С. 15–23.
8. Полевщиков, Г. Я. Оценка газодинамической активности углететановых пластов физико-химическими методами / Г. Я. Полевщиков, Е. С. Непейна, Е. М. Цуран // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – Отдельный выпуск. № 6. – С. 259–264.
9. Малинникова, О. Н. Эффект образования метана и дополнительной сорбции при разрушении газонасыщенного угля в условиях объемного напряженного состояния / О. Н. Малинникова, Г. Н. Фейт // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2004. – Вып.8. – С. 196–200
10. Фейт, Г. Н. Механохимические процессы метанообразования в угольных пластах в условиях высоких напряжений / Г. Н. Фейт, О. Н. Малинникова // Горный информационно-аналитический бюллетень. Тематическое приложение МЕТАН. – 2006. – С. 137–144.
11. Тайлаков, О. В. Определение остаточной газоносности угольных пластов на основе макрокINETических десорбционных процессов фильтрации и диффузии метана для оценки эффективности дегазации / О. В. Тайлаков, А. Н. Кормин, В. О. Тайлаков // Наука и техника в газовой промышленности. – 2014. – № 1. – С. 10–13.
12. Фельдман, Э. П. Физическая кинетика системы угольный пласт – метан: массоперенос, предвбросные явления / Э. П. Фельдман, Т. А. Василенко, Н. А. Калугина // Физико-технические проблемы разработки месторождений полезных ископаемых. – 2014. – № 3. – С. 46–65.
13. 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.
14. Черданцев, Н. В. Геомеханический подход к обоснованию рационального проведения выработок в массиве осадочных пород и повышению безопасности работ / Н. В. Черданцев, В. Т. Преслер // Безопасность труда в промышленности. – 2010. – № 5. – С. 13–17.
15. Бакланов, А. М. Наноаэрозольная фракция в техногенной угольной пыли и ее влияние на взрывоопасность пылеметановоздушных смесей / А. М. Бакланов, С. В. Валиулин, С. Н. Дубцов [и др.] // Доклады академии наук. – Физическая химия. – 2015. – Т. 461. – № 3. – С. 1–5.
16. Архипов, В. А. Определение краевого угла смачивания угольной поверхности / В. А. Архипов, Д. Ю. Палеев, Ю. Ф. Патраков, А. С. Усанина // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2011. – № 5. – С. 22–28.
17. Радченко, А. В. Численное моделирование поведения хрупких анизотропных материалов и конструкций из них при динамических нагрузках / А. В. Радченко, П. А. Радченко, Г. Я. Полевщиков // Известия Алтайского государственного университета. – 2014. – № 1. – С. 114–117.
18. 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 [и др.] // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2014. – № 2. – С. 3–29.
19. 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.
20. Потокина, Р. Р. Изучение газоносности углей прямым и объемным методами / Р. Р. Потокина, Н. В. Журавлева, З. Р. Исмагилов // Мат-лы междунар. науч.-практич. конф. «Наукоёмкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов». – Новокузнецк, 2015. – С. 283–288.
21. Малышев, Ю. Н. Фундаментально-прикладные методы решения проблемы угольных пластов / Ю. Н. Малышев, К. Н. Трубецкой, А. Т. Айруни. – М.: ИАГН, 2000. – 519 с.
22. Плаксин, М. С. Гидроразрыв угольного пласта в шахтных условиях как панацея решения газовых проблем шахт (основы разработки и внедрения) / М. С. Плаксин, Р. И. Родин, А. А. Рябцев [и др.] // Уголь. – 2015. – № 2. – С. 48–50.
23. Сластунов, С. В. Методика и результаты измерения пластового давления метана и сорбционных свойств угольного пласта / С. В. Сластунов, Г. Г. Каркашадзе, Е. В. Мазаник // Газовая промышленность. – 2012. – Спец. вып. – С. 48–49.
24. Полевщиков, Г. Я. Определение газокINETических характеристик угольных пластов / Г. Я. Полевщиков, А. А. Рябцев, В. П. Титов // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2013. – № 2. – С. 78–84.
25. Инструкция по применению схем проветривания выемочных участков угольных шахт с изо-

лированным отводом метана из выработанного пространства с помощью газоотсасывающих установок // Утверждена приказом Минприроды России от 8 октября 2009 года № 325. – 146 с.

ASSESSMENT OF STRESSES ON GAS CONTENT OF THE MARGINAL PART OF A COAL SEAM

Polevshchikov G. Y., Kozyreva Y. N., Riabtsev A. A., Rodin R. I., Nepeina E. S., Tsuran E. M.

Description of the developed method and the coal seam gas kinetic characteristics measurement results received by gas pressure and temperature controlling in flasks with drilled coal samples are presented. High convergence of results for parallel samples and their correspondence to the known geological gas content reduction at the marginal part of the seam effected by stresses reduction are received.

Key words: COAL SEAM, MINE OPENING, BOREHOLE, SAMPLE, GEOLOGICAL, DYNAMIC AND RESIDUAL GAS CONTENT, SOLID COAL AND GAS SOLUTION, STRESSES, GAS PRESSURE AND TEMPERATURE, GAS CONTENT DEPLETION VELOCITY

*Полевщиков Геннадий Яковлевич
e-mail: gas_coal@icc.kemsc.ru*

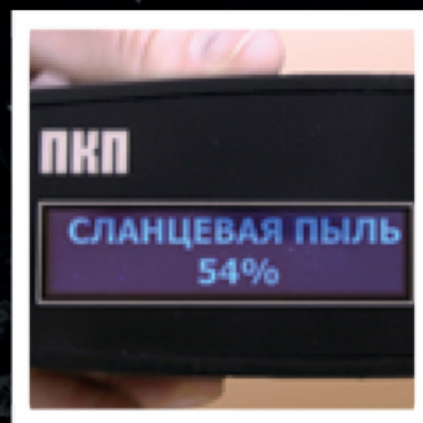
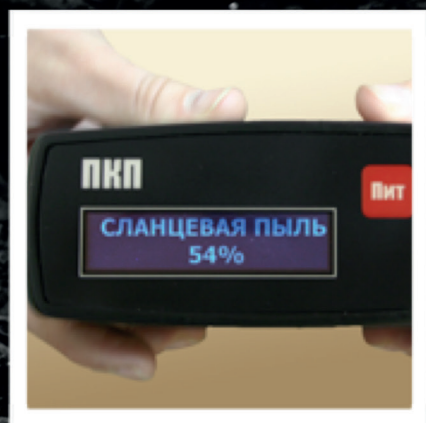
*Козырева Елена Николаевна
e-mail: gas_coal@icc.kemsc.ru*

*Рябцев Андрей Александрович
e-mail: gas_coal@icc.kemsc.ru*

*Родин Роман Иванович
e-mail: rodinri@mail.ru*

*Непина Елена Сергеевна
e-mail: gas_coal@icc.kemsc.ru*

*Цуран Елена Михайловна
e-mail: gas_coal@icc.kemsc.ru*



ПКП

ПРИБОР КОНТРОЛЯ ПЫЛЕВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

УДК 550.837.31

НАУЧНОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ОЧИСТНЫХ ЗАБОЕВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ РЕНТАБЕЛЬНОСТИ ДОБЫЧИ УГЛЯ

В статье приведены методические подходы и результаты апробации научного сопровождения для разработки мероприятий по повышению нагрузок на высокопроизводительные очистные забои угольных шахт при соблюдении норм и правил промышленной безопасности.

Ключевые слова: ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЙ ОЧИСТНОЙ ЗАБОЙ, ПРОФИЛАКТИКА ЭНДОГЕННЫХ ПОЖАРОВ, ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ, ПЫЛЕВЗРЫВОЗАЩИТА

Процесс угледобычи является одним из наиболее сложных в разработке полезных ископаемых. В угледобывающей промышленности эффективность и безопасность труда напрямую зависят от геологических и горнотехнических условий разрабатываемых месторождений. Сегодня все больше возрастает роль механизации и автоматизации производственных процессов при добыче угля, что предъявляет повышенные требования к полноте и достоверности исходных материалов для разработки проектно-технической документации, обеспечивающей безопасную, высокоэффективную работу по добыче угля. В связи с этим опережающий прогноз горно-геологических и горнотехнических условий отработки угольных пластов в настоящее время приобретает особую актуальность.

Научные наблюдения за работой высокопроизводительных очистных забоев начаты одновременно с добычей передовыми бригадами одного миллиона тонн в год из комплексно-механизированного забоя. В тот период научные наблюдения проводились с целью создания нового горно-шахтного оборудования, обеспечивающего добычу угля в этих объемах. Интенсификация работ, наряду с отсутствием должного контроля по решению вопросов безопасного ведения работ привело к

ряду крупных аварий на шахтах, по результатам расследования которых разработаны мероприятия по предупреждению подобных катастроф для всех угольных шахт России. После аварии, произошедшей 19.03.2007г. на филиале «Шахта Ульяновская» ОАО «ОУК «Южкузбассуголь» было регламентировано «Установить порядок обязательного проведения геофизического обследования оконтуренных комплексно-механизированных забоев (лав) с целью выявления аномальных тектонических зон и других участков изменения геомеханических характеристик кровли» [1]. По результатам расследования аварии на ОАО «Распадская» ЗАО «Распадская угольная компания» 08.05.2010 г. было принято решение: «8.3.1. Отработку высокопроизводительных выемочных участков с нагрузкой на очистной забой 10 тысяч тонн в сутки и более, и скоростную проходку горных выработок с темпами 300 метров в месяц и более, вести с обязательным научным сопровождением института по безопасности работ в горной промышленности по вопросам; - вентиляции, дегазации, борьбы с пылью и пылевзрывозащиты, профилактики эндогенных пожаров и газодинамических явлений» [2].

Основанием для проведения настоящих работ являлось решение совместного технического совещания специалистов ОАО «СУЭК-Куз-



В.П. Тащненко

доктор техн. наук, директор Института промышленной и экологической безопасности (ИПЭБ) ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева», КузГТУ



А.А. Мешков

канд. техн. наук, первый зам. ген. директора – технический директор АО «СУЭК-Кузбасс»



С.И. Калинин

доктор техн. наук, руководитель научно-исследовательского и проектно-конструкторского предприятия "Угольные технологии Кузбасса"



Г.Н. Роут

канд. техн. наук, доцент кафедры маркшейдерского дела и геологии КузГТУ

басс» и научных центров ФБГОУ КузГТУ, ОАО НИ ПКП «УТК», в составе КузГТУ, АО «НИИГД» и ООО «Вост ЭКО», по результатам которого научное сопровождение предложено провести в лаве 66-06 по пласту 66 шахты «Талдинская-Западная-1» шахтоуправления «Талдинское-Западное» АО «СУЭК-Кузбасс».

Научное сопровождение проводилось в соответствии с методикой, разделы которой разрабатывались по направлениям, отраженным в мероприятиях по устранению причин аварии на ОАО «Распадская» ЗАО «Распадская угольная компания». Руководителем рабочей группы по разработке разделов проветривания и дегазации и сопровождению исследовательских работ был заведующий кафедрой аэрологии, охраны труда и природы КузГТУ, доктор техн. наук, проф. Шевченко Л.А., раздела по профилактике эндогенных пожаров и сопровождению исследовательских работ, проводимых АО «НИИГД», организовывал и контролировал доктор техн. наук, проф. кафедры аэрологии и охраны труда КузГТУ, Портола В.А. Работу группы специалистов ООО «ВостЭКО» по разработке раздела борьбы с пылью и пылевзрывозащиты и сопровождению исследовательских работ контролировал доктор техн. наук, проф. Трубицын А.А. Работу группы специалистов Научно - исследовательского и проектно-конструкторского предприятия «Угольные Технологии Кузбасса», изучающих состояние газодинамических явлений и геофизических отклонений формировал руководитель НИИ ПКП «УТК», филиала КузГТУ в г. Прокопьевске, доктор техн. наук, проф. Калинин С.И. Кроме того организованы исследования и оценка состояния еще двух направлений:

- проектной, экспертной и рабочей документации, позволяющей ведение горных работ по добыче угля, этим направлением занимались специалисты КузГТУ под руководством доктора техн. наук, проф. Ремезова А.В.;

- сбор, анализ и обобщение имеющейся первичной информации о надежности технических устройств и, далее, непосредственно инструментальное обследование и проведение испытаний технических устройств с заполнением рабочей карты. Проводилось КЦ НТО «Промбезопасность», организация и контроль осуществлялась доктором техн. наук Лудзиш В.С.

Методика сопровождения одобрена и согласована с представителями технических служб АО «СУЭК-Кузбасс».

Изучение и анализ предоставленной на рассмотрение горнотехнической проектной до-

кументации на подготовку и отработку пласта 66 поля шахты «Талдинская –Западная-1» позволило сделать следующие выводы. Одним из главных документов является «Технический проект подготовки и отработки запасов пласта 66 АО «СУЭК – Кузбасс» шахта «Талдинская-Западная -1» (ООО «НПЦ ВостНИИ», Кемерово 2014). Проект выполнен с достаточной глубиной проработки всех вопросов, обозначенных техническим заданием. При разработке проектных решений использованы материалы заключений, выданные научными центрами, которые при проектировании обеспечили необходимую глубину проработки вопросов и качество проектных работ.

Целью исследовательских работ по факторам вентиляция и дегазация являлось определение возможности увеличения нагрузки на лаву 66-06 до 40 тыс. т./сут. (1200 тыс.т./мес.) и уточнение параметров вентиляции и дегазации. По результатам анализа проектной документации и инструментального измерения основных технологических параметров сделаны следующие выводы:

- шахта в целом, и все горные выработки обеспечены расчетным количеством воздуха в соответствии с требованиями резерва по объему;

- вентиляционная сеть соответствует критериям оценки по показателям качества шахтных вентиляционных систем;

- по математической модели проветривания и аэродинамической характеристике главных вентиляторов шахты определены возможности вентиляционной сети шахты по увеличению подачи воздуха;

- установлено, что шахта обладает технической возможностью для обеспечения подачи воздуха в соответствии с расчетами на перспективный период и добычу до 1,2 млн. т /мес. (возможность рассматривалась на основании математического моделирования вентиляционной сети шахты), при этом необходимо обеспечить следующие параметры в части проветривания и дегазации выемочного участка 66-06 пласта 66: для проветривания лавы 66-06 требуется 843 м³/мин., при расходе воздуха для изолированного отвода метана 135 м³/мин;

- транспортирование метановоздушной смеси (Q вп. расч.=135 м³/мин) при разряжении в трубопроводе перед вакуум-насосной установкой 96,125 мм рт. ст. (что соответствует потерям депрессии 1281,56 даПа) может быть обеспечено при использовании двух вакуум-насосов ВВН-150, работающих параллельно, каждый из

которых может обеспечить производительность 82,35 м³/мин., что соответствует проектным решениям и фактическому положению дегазации выработанного пространства лавы 66-06.

Анализ состояния борьбы с угольной пылью и принятых технических решений, оформленных в виде проектов или мероприятий по пылевзрывозащите, свидетельствует о необходимости постоянного мониторинга запыленности воздуха и интенсивности пылеотложений. Главным результатом проведенных работ по научному сопровождению высокопроизводительной лавы 66-06 в части борьбы с пылью и пылевзрывозащиты является достижение с помощью компенсирующего комплекса противопылевых мероприятий при превышении прогнозной запыленности воздуха максимально допустимых значений при различных нагрузках на очистной забой соответствия требованиям нормативной документации. Постоянный мониторинг запыленности воздуха и состояния пылевзрывобезопасности горных выработок показал, что дополнительно предложенные на основе прогнозных расчетов меры, способы и средства борьбы с пылью и пылевзрывозащиты, а также изменение параметров пылеподавления позволяют обеспечивать соответствие минимальной запыленности рудничного воздуха в месте ведения горных работ технически достижимому уровню запыленности воздуха. При этом стала очевидной необходимость определения интенсивности пылеотложения программным комплексом системы АГК, в состав которого входят стационарные датчики контроля запыленности воздуха, обеспечивающие непрерывное автоматическое измерение концентрации пыли в рудничном воздухе в исходящей струе очистной выработки и местах погрузки и перегрузки угля. В этом случае периодичность выполнения мероприятий по предупреждению взрывов пылегазовоздушных смесей будет определяться автоматически по сигналу тревоги об обнаруженных признаках пылевзрывоопасности, поступившему на пульт оператора АГК и горного диспетчера.

Для оценки вероятности эндогенной пожароопасности, проведено исследование опасности самовозгорания угольной пыли. При этом установлено, что увеличение нагрузки на очистной забой неоднозначно повлияет на эндогенную пожароопасность обрабатываемой лавы 66-06. Так, увеличение скорости подвигания забоя приведет к сокращению времени нахождения теряемого в выработанном пространстве угля в атмосфере с концентрацией кислорода более 10%. Однако в случае увеличения по-

дачи воздуха и применении мер по дегазации выработанного пространства может возникнуть опасность повышения концентрации кислорода в атмосфере выработанного пространства. Выполнение определенных мероприятий позволит предотвратить возникновение очагов самовозгорания в скоплениях теряемого в выработанном пространстве угля.

Между тем увеличение темпов угледобычи может вызвать следующие негативные моменты:

1. Существенное увеличение объемов раздробленного угля может вызвать увеличение образования индикаторных пожарных газов (оксида углерода, водорода, радона) без повышения температуры угля. Данный факт может ошибочно трактоваться как признак самовозгорания угля, что может спровоцировать остановку очистных работ (вплоть до изоляции участка).

2. С повышением скорости подвигания очистного забоя следует ожидать увеличения образования угольной пыли и повышения ее концентрации в потоке воздуха, поступающем в выработанное пространство. Выносимая угольная пыль может образовывать в выработанном пространстве скопления угольной пыли в зонах, где происходит снижение скорости воздуха из-за расширения каналов, по которым фильтруется воздух. В местах скоплений угольной пыли может происходить интенсивное образование индикаторных пожарных газов (оксид углерода, водород, гомологи метана) за счет низкотемпературного окисления, что может вызывать периодическую остановку очистных работ. Угольная пыль также способна к самовозгоранию в более короткие сроки, чем скопления угля.

В этой связи, для предотвращения развития очагов самовозгорания в отложениях угольной пыли и предупреждения необоснованных остановок очистных работ при повышении концентрации индикаторных пожарных газов необходимо проведение следующих исследований:

1. определение влияние измельчения на химическую активность угля и на длительность инкубационного периода самовозгорания;
2. изучение закономерностей образования индикаторных пожарных газов при низкотемпературном окислении угля и угольной пыли, а также при их нагреве;
3. определение состава газов, образующихся при разрушении угля.

В процессе исследований по оценке состояния ведения работ по предотвращению газодинамических явлений и геофизических аномалий, выявлены отклонение параметров

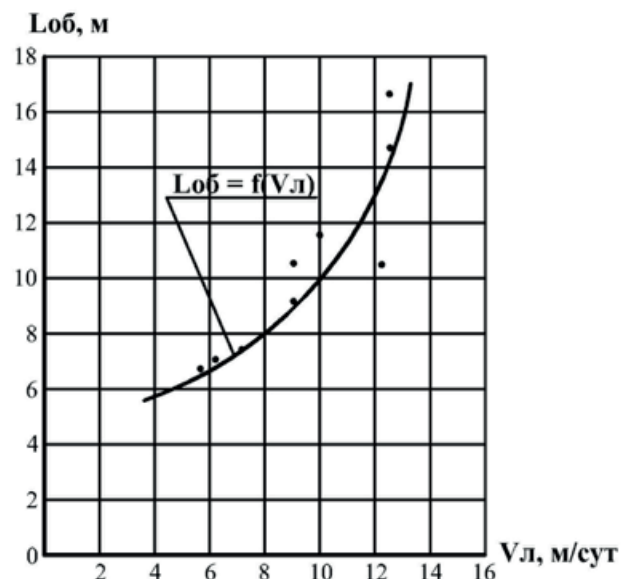


Рисунок 1 – Зависимость шага обрушения $V_{л}$ от скорости продвижения забоя $L_{об}$

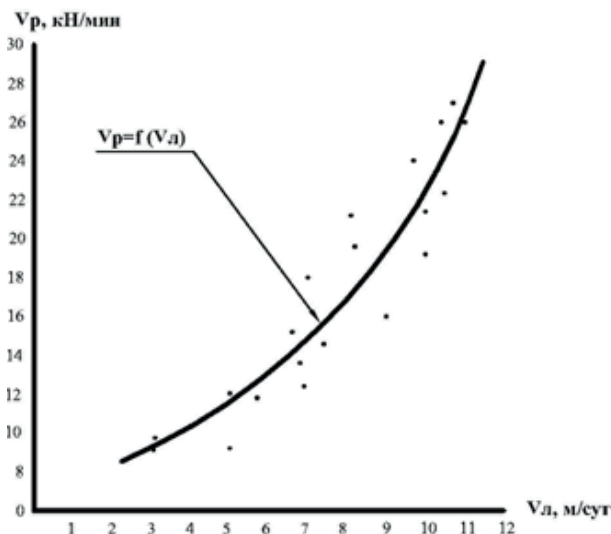


Рисунок 2 - Изменение скорости пригрузов гидростоек крепи от скорости продвижения лавы 66-06 (V_p - скорость пригрузов давления в гидросойках крепи за цикл (кН/мин); $V_{л}$ - скорость продвижения лавы, м/сут.).

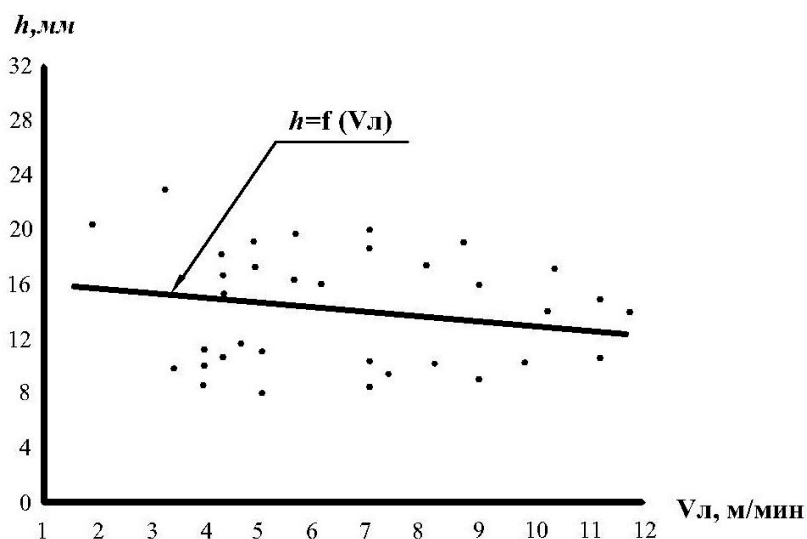


Рисунок 3 - Зависимость просадок гидростоек крепи от скорости продвижения лавы 66-06 (h - просадка гидростоек (секции) крепи за цикл, мм)

шага обрушения кровли пласта, и зависимость шагов обрушения кровли пласта 66 в лаве 66-06 в зависимости от скорости продвижения лавы. Смещения кровли впереди лавы измерялись на штреках, где были заложены наблюдательные станции с глубинными реперами, оборудованными самописцами. В лаве были установлены самописцы, которые контролировали пригрузку горного давления на секции крепи.

Исследованиями установлено, что:

- при увеличении скорости продвижения лавы увеличивается шаг обрушения (рис. 1)
- при увеличении скорости продвижения

лавы возрастает интенсивность нагружения гидростоек крепи за выемочный цикл (рисунок 2);

- просадка секций крепи за цикл с увеличением скорости продвижения лавы уменьшается (рисунок 3);

- максимум опорного давления при увеличении скорости продвижения лавы перемещается ближе к кромке забоя, концентрация напряжений увеличивается (рис. 4).

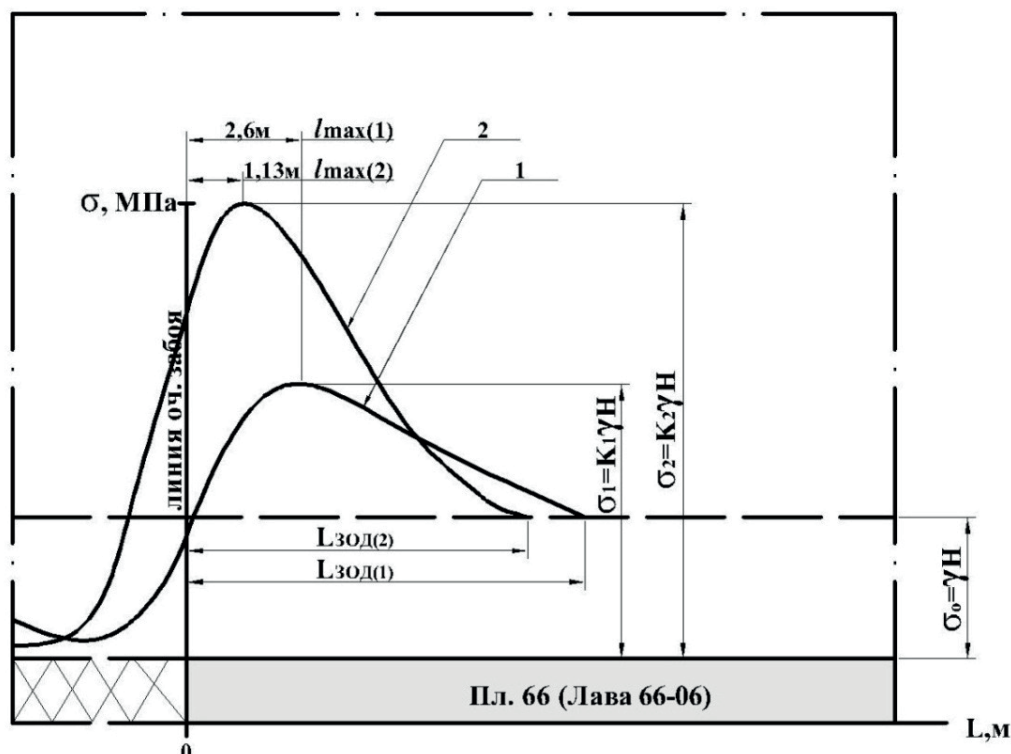


Рисунок 4 – Результаты теоретических расчетов влияния скорости подвигания лавы 66-06 на параметры зоны опорного давления: 1 - Изменение опорного давления при скорости подвигания лавы 5 м/сут; 2- Изменение опорного давления при скорости подвигания лавы 15 м/сут

Выводы

Зависимости, установленные в процессе проведенных исследований в одном выемочном столбе не могут быть использованы для использования в расчетах параметров безопасного ве-

дения горных работ в последующих лавых, где планируется добыча в объемах выше 10 000т/сутки, но их результаты крайне важны для понимания необходимости научного сопровождения по направлениям опробованным в лаве 66-06.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Об аварии в филиале «Шахта Юбилейная» ОАО «ОУК «Южкузбассуголь» [Электронный ресурс]: Приказ Ростехнадзора от 05.07.2007 n 452 об аварии в филиале «Шахта Юбилейная» ОАО «ОУК «Южкузбассуголь». – Режим доступа: http://www.lawrussia.ru/texts/legal_216/doc216a152x887.htm.
2. Акт расследования аварии на ОАО «Распадская» ЗАО «Распадская угольная компания» 08.05.2010 г.

SCIENTIFIC SUPPORT OF HIGH PERFORMANCE COAL MINE'S PRODUCTION FACES AS A TOOL FOR IMPROVING OF COAL MINING PROFITABILITY

Tatsienko V.P., Meshkov A.A., Rout G.N., Kalinin S.I.

The article presents the methodological approaches and the results of testing of scientific support for the development of measures to improve the load on the high-performance clearing face coal mines at observance of norms and rules of industrial safety.

Key words: HIGH PERFORMANCE WORKING FACE, PREVENTION OF ENDOGENOUS FIRES, GAS-DYNAMIC EVENTS, DUST EXPLOSION PROTECTION

Тащиенко Виктор Прокопьевич
ipeb@mail.kuzstu.ru

Мешков Анатолий Алексеевич
suek_Ink@suek.ru

Калинин Степан Илларионович

Роут Геннадий Николаевич
hvi1949@mail.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛУБИН ЗАЛЕГАНИЯ ВОДОНОСНЫХ ГОРИЗОНТОВ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОТОМОГРАФИИ В УСЛОВИЯХ КУЗБАССА



О.В. Тайлаков

д-р техн. наук, профессор,
проректор по научной работе и
стратегическому развитию ФГБОУ
ВО «КузГТУ», заведующий
лабораторией ФГБНУ «ФИЦ УУХ
СО РАН»



Д.Н. Застрелов

канд. техн. наук, старший научный
сотрудник ФГБНУ «ФИЦ УУХ СО
РАН»



Е.А. Салтымаков

старший инженер ФГБНУ «ФИЦ
УУХ СО РАН»



М.П. Макеев

канд. техн. наук, старший научный
сотрудник ФГБНУ «ФИЦ УУХ СО
РАН»



С.В. Соколов

младший научный сотрудник
ФГБНУ «ФИЦ УУХ СО РАН»



А.С. Ярош

канд. техн. наук, генеральный
директор АО «НИИГД»

Рассмотрено применение электротомографии для определения границ обводненных участков углепородного массива, приведены результаты полевых исследований гидрогеологических условий угольного разреза на основе использования электроразведочных методов для разработки комплекса мероприятий по обеспечению безопасного ведения горных работ. Представлены результаты сопоставительного анализа геологоразведочных и полученных методом электротомографии данных для участка горного отвода, содержащего влагонасыщенные и водоносные слои.

Ключевые слова: ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКА, ЭЛЕКТРОТОМОГРАФИЯ, ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ, ВОДОНОСНЫЙ ГОРИЗОНТ, ВОДОУПОРНЫЙ СЛОЙ, ИНВЕРСИЯ

При изучении горно- и гидрогеологических условий в инженерно-геологических, геоэкологических изысканиях и поисково-разведочных работах на отдельные виды полезных ископаемых расширяется применение находят методы электротомографии, позволяющие картировать массив горных пород на относительно небольших глубинах с

высокой плотностью геофизических наблюдений перераспределения удельного электрического сопротивления (УЭС) и вызванной поляризации. Этот подход позволяет выделить элементы массива и оценить их физико-механическое состояние на основе изучения электрических свойств горных пород [1].

Для разведки и оценки параметров углепородного массива на угольных месторождениях Кузбасса используются традиционные методы, в том числе бурение с отбором проб и скважинные геофизические исследования [2, 3, 10]. Безусловно, эти методы являются наиболее точными, но, вместе с тем, весьма трудозатратными. Применение электротомографии позволяет существенным образом снизить издержки на проведение комплекса геологоразведочных работ с возможностью визуализации предварительного геологического разреза исследуемого участка с высоким разрешением. При этом данные, полученные при бурении, используются для определения соответствия между реальными горно- и гидрогеологическими условиями и электрическими свойствами исследуемых областей углепородного массива. Наиболее перспективно применение электротомографии при добыче угля открытым способом,

поскольку получение качественных данных с удовлетворительным разрешением ограничено глубиной исследований до 90 м, а применение электроразведочных методов в горных выработках угольных шахт затруднительно из-за их возможного загазования [4]. При этом необходимо отметить, что теоретическая, методическая и аппаратная база электроразведки на сегодняшний день не ориентирована для работы во взрывоопасной среде.

Поставлена задача оценки гидрогеологических условий угольного разреза, расположенного в Прокопьевско-Киселевском геолого-экономическом районе Кузбасса, для обеспечения устойчивости бортов в условиях интенсивного водопритока. Рассматриваемый угленосный массив характеризуется наличием антиклинальной складки при углах падения плоскостей 55-75°. Изыскания проводились на участках с пробуренными разведочными скважинами и установившимся в них уровнем воды с учетом следующих факторов:

- при высокой проницаемости забоя скважины уровень воды в ней устанавливается ниже водоносного горизонта;
- при большом дебите и высоком напоре воды уровень воды в скважине устанавливается выше водоносного горизонта;
- по уровню воды в скважине невозможно определить границы водоносного горизонта и водоупорного слоя.

Для определения гидрогеологических условий выполнен комплекс полевых электроразведочных исследований методом электротомографии по двум профилям, размещенным вдоль борта угольного разреза. В соответствии



Рисунок 1 - Многоэлектродная электроразведочная станция «Скала-48»

с поставленной задачей исследования выбраны параметры измерений:

- количество датчиков - 48;
- интервал между датчиками – 2 и 5 м;
- мощность генератора 30 %.

Инициация и регистрация электрического сигнала выполнена с применением многоэлектродной электроразведочной станции «Скала-48» (рис. 1) [5].

Полученные результаты измерений обработаны с использованием стандартных процедур после исключения совокупности данных, имеющих погрешность более 0,7 % и превышающих допустимый диапазон значений разности потенциалов и силы тока [6]. В связи с тем, что угол падения геологических слоев 55-75°, отношение вертикальной и горизонтальной характеристик фильтра задано 1,5 [7]. Это значение позволяет при процедуре инверсии отслеживать наклонно-ориентированные аномалии. Также перед применением этой процедуры была вы-

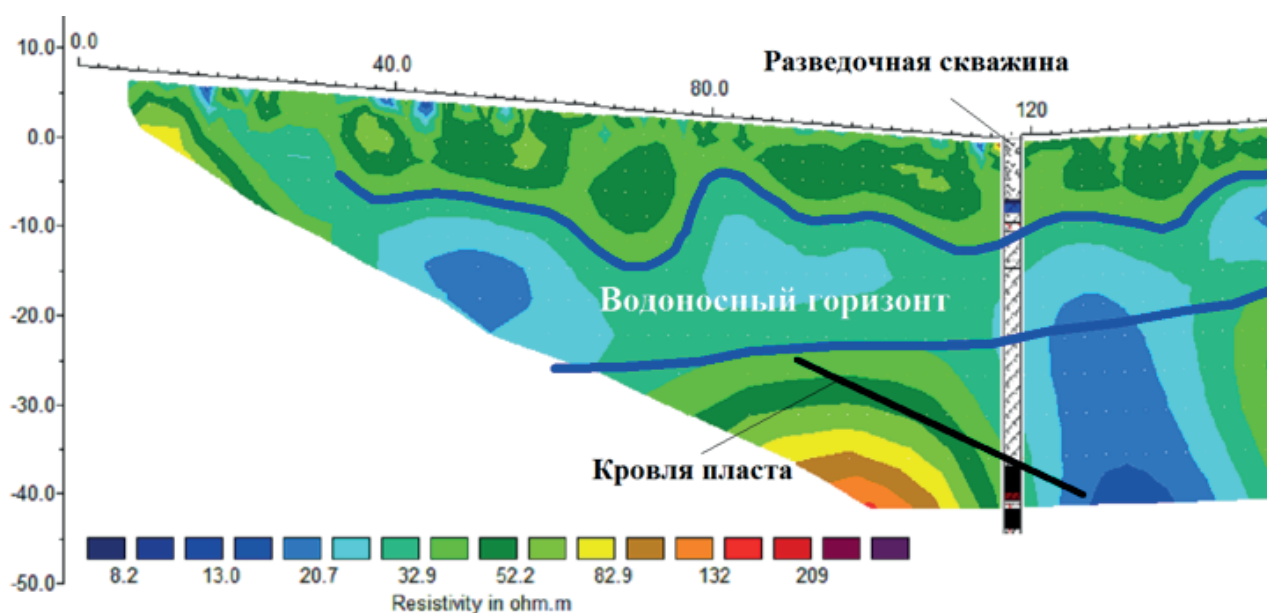


Рисунок 2 - Геоэлектрический разрез по профилю №1

полнена высотная привязка к поверхности исследований и построена линия рельефа, а также заданы мощности слоев модели, соответствующие мощности геологических слоев [8, 9].

На одном из участков (рис. 2) при геофизических исследованиях зарегистрирован водоносный горизонт мощностью 15-19 м, представленный переслаиванием песчаника с алевролитами (15-30 Ом*м). Уровень воды в скважине на момент проведения исследований – 13,5 м. Установлено, что установившийся в скважине уровень не соответствует параметрам водоносного горизонта. Также в результате применения электротомографии определена минерализация вод – 0,28-0,56 г/л и граница кровли угольного пласта вдоль градиента удельных сопротивлений

(30-200 Ом*м), которая соответствует кровле по данным геологоразведки.

На другом участке (рис. 3) изыскания выполнялись с шагом между датчиками 5 и 2 м с глубиной исследований 45 и 18 м. Обводненный участок зарегистрирован на глубине 0,5 м от поверхности (15-30 Ом*м). При этом на момент проведения исследований уровень воды в скважине составлял 1-2 м. Таким образом, уровень воды в скважине ниже уровня подземных вод. Вероятно, это связано с высокой проницаемостью забоя скважины. Верхние слои представлены крупнообломочными породами, поэтому подъем уровня подземных вод за счет капиллярных сил исключается в данном случае. Также была отстроена линия водоупорного слоя на данном

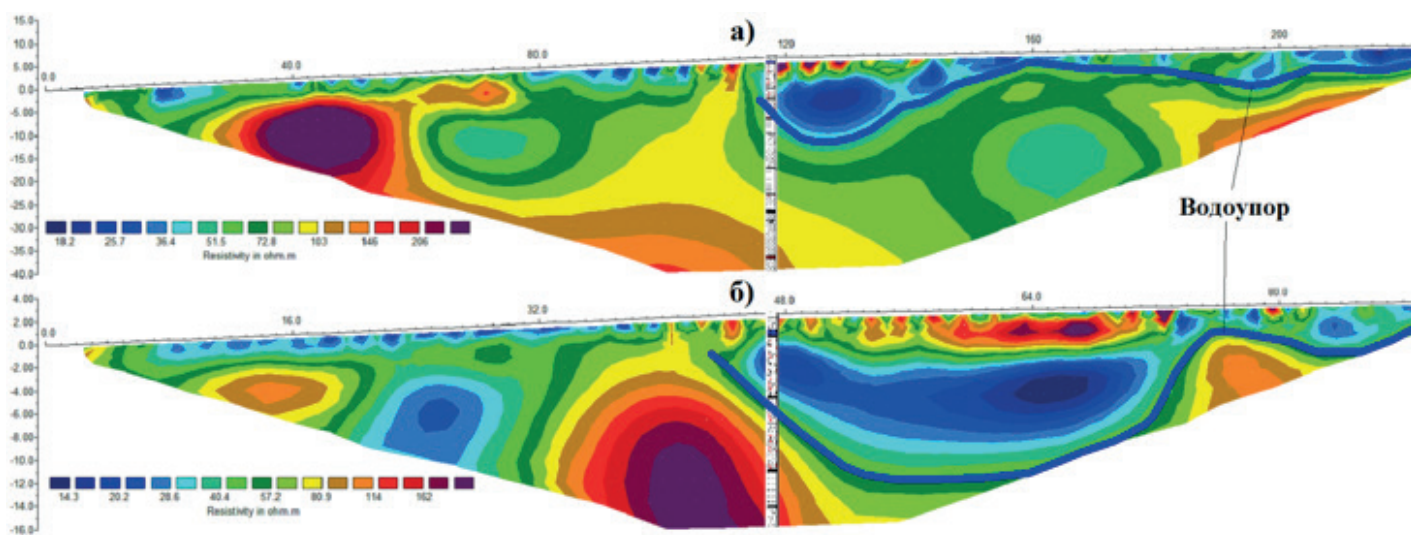


Рисунок 3 - Геоэлектрические разрезы по профилю № 2: а) шаг между датчиками - 5 м; б) шаг между датчиками - 2 м

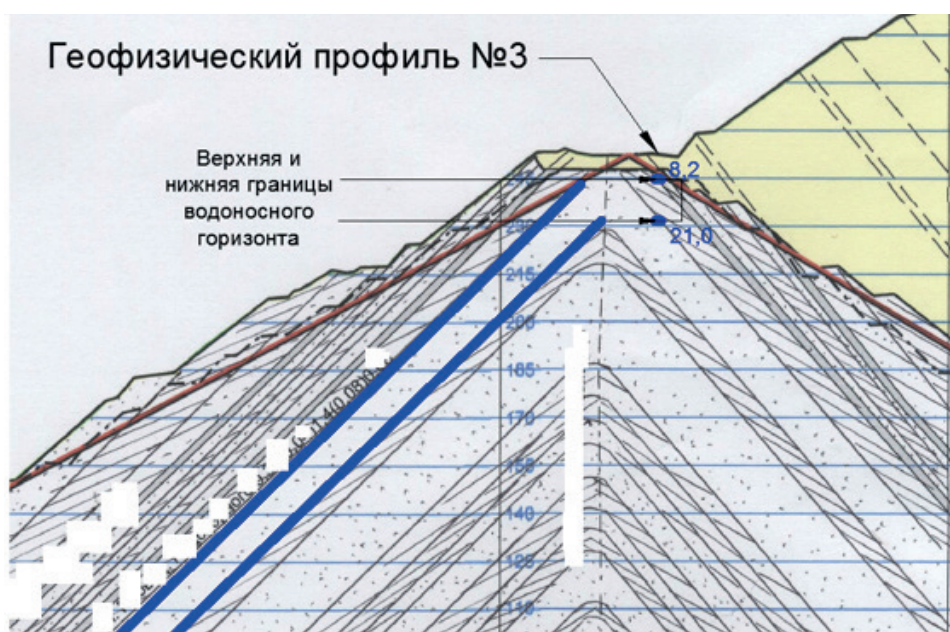


Рисунок 4 – Фрагмент профиля горных работ

участке.

Другие разрезы на исследуемых участках характеризуются схожими результатами, а именно: наличием мощного водоносного горизонта в коренных породах (песчаник и алевролит), начиная с глубины 15-25 м. Идентифицированный угольный пласт также зарегистрирован на других участках исследований. По данным электроразведочных работ совместно со специалистами угледобывающего предприятия на профили горных работ нанесены водоносные горизонты (рис. 4).

На основе полученных результатов разработаны рекомендации, определяющие порядок ведения горных работ на участках влияния подземных вод, а также запланированы технические мероприятия водопонижения для обеспечения безопасных условий труда. Впоследствии результаты исследования были подтверждены

пробуренными горизонтальными водопонижающими скважинами.

Выполненные исследования позволили установить:

- высокую контрастность геоэлектрических разрезов, обусловленную различием на 1-2 порядка УЭС обводненных участков и относительно сухих пород;

- необходимость предварительного задания мощности блоков модели, соответствующих мощности геологических слоев, для локализации водоносного горизонта;

- возможность определения кровли угольного пласта по линии градиента УЭС.

Таким образом, подтверждена высокая эффективность применения электротомографии для определения границы водоносных горизонтов с возможностью уточнения условий залегания угольных пластов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Салтымаков, Е. А. Применение электрической разведки для мониторинга массива и оценки качества охранных гидросооружений на ликвидированных шахтах Кузбасса / Е. А. Салтымаков, С. В. Соколов, О. В. Тайлаков // Мат-лы IV Инновационного конвента «Кузбасс: образование, наука, инновации» (Кемерово, 4-5 декабря 2014 г.). – Кемерово, 2014. – С. 43 – 46.

2. Соколов, С. В. Применение сейсмической разведки для уточнения горно-геологических условий разработки угольных месторождений / С. В. Соколов // Сб. трудов Всерос. науч. конф. для студентов, аспирантов и молодых ученых с элементами научной школы «Горняцкая смена – 2013». Т. 3. – Новосибирск: Изд-во ИГД СО РАН, 2013. – С. 153–155.

3. Соколов, С. В. Применение сейсмической разведки для оценки условий залегания угольных пластов и определения в углепородном массиве зон с измененными характеристиками / С. В. Соколов // Сб. тр. ежегодной молодежной конф. ИУ СО РАН (Кемерово, 16-17 апреля 2015 г.) [Электронный ресурс] : Электронные текстовые дан. – Кемерово: Институт угля СО РАН, 2015. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Загл. с этикетки диска. – ISBN 978-5-902305-46-0. № гос. регистрации: 0321502236 № свидетельства 40872 от 21 августа .2015 г. – С. 97-104.

4. Козырева, Е. Н. Динамика метанообильности выемочных участков угольных шахт / Е. Н. Козырева // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – Отдельный выпуск. № 6. – С. 238 – 244.

5. Булгаков, А. Ю. Геофизический прибор для автоматизации многоэлектродной электроразведки / А. Ю. Булгаков, А. К. Манштейн // Приборы и техника эксперимента. – 2006. – № 4. – С. 123–125.

6. Колесников, В. П. Основы интерпретации электрических зондирований / В. П. Колесников. – М.: Научный мир, 2007. – 248 с.

7. Loke, M. H. Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.ualberta.ca/~unsworth/UA-classes/223/loke_course_notes.pdf.

8. Фаге, А. Н. Применение электротомографии для разведки угольных пластов и контролирующих их водоносных горизонтов / А. Н. Фаге, Н. М. Яркова, И. Н. Ельцов // ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ. – 2013. – № 2.

9. Салтымаков, Е. А. Применение электротомографии для оценки условий залегания угольных пластов на разрезах Кузбасса / Е. А. Салтымаков, В. Ю. Киселев, О. В. Тайлаков // Мат-лы V Инновационного конвента «Кузбасс: образование, наука, инновации» (Кемерово, 15 октября 2015 г.). – Кемерово, 2015. – С. 20–22.

10. Тайлаков О.В., Соколов С.В., Застрелов Д.Н., Ярош А.С. Обеспечение безопасности угледобычи на основе данных наземной сейсморазведки методом общей глубинной точки // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2015. – №4. – С. 34 – 37.

REGISTRATION OF SURFACE SEISMIC VIBRAAQUIFERS DEPTH DETECTION BY ELECTRON TOMOGRAPHY METHOD IN KUZBASS CONDITIONS

Tailakov O. V., Zastrelov D. N., Saltymakov Ye. A., Makeev M. P., Sokolov S. V., Yarosh A. S.

Electron tomography usage in order to detect the watered sections boarder lines of coal and rock massif is reviewed, open pit mine hydro-geological conditions field tests results are described. They are made on the basis of electric survey methods which are used to develop the complex measures for safe mining work provision. Geological and electron tomography obtained data comparative analysis results of a mine claim section containing wet and water caring levels are presented.

Key words: ELECTRIC SURVEY, ELECTRON TOMOGRAPHY, GEO-ELECTRICAL SECTION, AQUIFER, WATER STOPPING LEVEL, INVERSION

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

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

Салтымаков Евгений Алексеевич
e-mail: saltymakov@uglemetan.ru

Макеев Максим Павлович
e-mail: makeevmp@icc.kemsc.ru

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

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



УДК 622.4 : 53.087

ШАХТНЫЕ ИСПЫТАНИЯ АНЕМОМЕТРА РУДНИЧНОГО ПОРТАТИВНОГО АР-П

В статье приведены результаты шахтных испытаний анемометра АР-П в условиях шахты ОАО «Шахта Заречная»

Ключевые слова: АНЕМОМЕТР РУДНИЧНЫЙ ПОРТАТИВНЫЙ, ИЗМЕРЕНИЯ, ГАЗОВОЗДУШНЫЙ ПОТОК, ШАХТНЫЕ ИСПЫТАНИЯ, ПОГРЕШНОСТЬ, ДИСПЕРСНЫЙ СОСТАВ, ВЛАЖНОСТЬ, ВЛИЯНИЕ

Возрастающие требования к качеству контроля аэрогазодинамических процессов в шахтах приводят к необходимости использования все более совершенных приборов измерения скоростей и расходов газоздушных потоков. Применяемые в настоящее время анемометры для эпизодического контроля расхода воздуха в шахтах, а также датчики скорости движения воздуха, входящие в системы непрерывного контроля проветривания выработок, и их метрологическое обеспечение не в состоянии полностью удовлетворить современным требованиям правил безопасности, метрологии и обеспечить должный уровень контроля состояния рудничной атмосферы.

Основным прибором контроля скоростей газоздушных потоков на шахтах в угольной промышленности по сей день остаются тахометрические анемометры АПР-2, имеющие чувствительный элемент в виде преобразователя типа А-2 и регистрирующий прибор – микропроцессор. В основу работы положен принцип тахометрии, т. е. вращение крыльчатки. Прибор имеет диапазон измерений от 0,1 до 20 м/с, при этом погрешность измерения в идеальных условиях не превышает 2,58%. Основным недостатком этого анемометра является влияние на точность измерения твердых взвешенных частиц, содержащихся в воздухе, и влажность воздушного потока. Кроме того, возможности измерения ограничены пределами 0,15-20 м/с, т.к. погрешность измерения за указанными пределами резко возрас-

тает. Среди недостатков известного анемометра следует отметить также отсутствие информации о направлении воздушного потока и базы по их ремонту и метрологическому обеспечению.

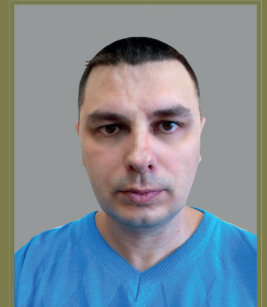
Для устранения этих недостатков в ООО «Горный-ЦОТ» (г. Кемерово) был создан анемометр рудничный портативный АР-П, предназначенный для измерения скорости воздушного потока при технологическом контроле систем кондиционирования, вентиляционных систем и объектов различного назначения. Принцип действия анемометра основан на регистрации перепада давления воздушного потока, создаваемого сужающим устройством, установленным в трубе. Конструктивно данный принцип реализован с помощью двух датчиков расхода газа. Для достижения максимального диапазона измерения скорости и расхода воздуха штуцеры двух датчиков расхода газа выполнены с разными диаметрами проходного сечения, что позволяет автоматически регистрировать перепад давления на сужающем устройстве с требуемой точностью. Реализация данного принципа позволила обеспечить диапазон измерения скорости воздушного потока от 0,1 до 35 м/с. Данные с датчиков автоматически обрабатываются процессором, размещенным в корпусе, и выдаются на табло анемометра в виде значения скорости с точностью до двух знаков после запятой. Вывод значений скорости может осуществляться как



Д. С. Хлудов
директор ООО «ВостЭКО»



О. А. Сергеев
заведующий лабораторией АО
«НИИГД»



С. В. Оленников
директор ООО «Горный-ЦОТ»



С. Н. Муслинов
заместитель директора ООО
«ВостЭКО»

с частотой 5 Гц, так и усредняться по любому интервалу времени в диапазоне от 5 с до 15 мин. Прибор АР-П может применяться в угольной и горнорудной промышленности для измерения скорости воздушного потока в соответствии с требованиями «Правил безопасности в угольных шахтах» [1].

Испытания экспериментального образца анемометра рудничного портативного АР-П (заводской номер 000.001) проводились на ОАО «Шахта Заречная» (табл. 1). Для контроля погрешности измерений использовался тахометрический анемометр АПР-2.

Цель испытаний заключалась в определении работоспособности прибора, определении погрешности при измерении скорости воздушного потока, влияния находящихся в потоке пыли и влажности воздуха на величину погрешности измерений.

Условия испытаний в подготовительных забоях ОАО «Шахта Заречная» были следующие. Вентиляционный штрек № 1103, конвейерный штрек № 1103 по пласту Надбайкаимский проходятся комбайнами П-110-01, температура воздуха в горных выработках составляла 13–14°C, влажность воздуха – 90-93%. Конвей-

Таблица 1 – Условия шахтных испытаний прибора измерения скорости воздушного потока АР-П на ОАО «Шахта Заречная»

№ п/п	Наименование пласта, выработки, № лавы	Место отбора проб	Запыленность воздуха по данным прибора ПКА-01, мг/м ³				Температура воздуха, °С	Влажность воздуха, %
1	Надбайкаимский, конвейерный штрек № 1103, вентиляционный штрек № 1103	Место машиниста комбайна	134,7	129,1	152,1	130,9	13-14	90-93
2		30 м от комбайна за ОКВ-7	117,3	102,3	124,1	105,6	13-14	90-93
3	Байкаимский, вентиляционный штрек № 1309, конвейерный штрек № 1309	Место машиниста комбайна	106,3	114,3	111,3	98,5	13-14	90-93
4		30 м от комбайна за ОКВ-	71,8	69,7	78,9	81,1	13-14	90-93
5	Надбайкаимский, Байкаимский, лава № 1109, лава № 1309	Место машиниста комбайна	86,4	79,1	71,6	65,4	13-14	90-93
6		10-15 м от комбайна	104,3	99,4	124,3	128,9	13-14	90-93
7		Место машиниста крепи	62,1	67,8	62,7	64,1	13-14	90-93
8		Сопряжение лавы и конв. штрека	146,1	132,2	138,5	145,6	13-14	90-93
9		Перед ЛТЗ	112,8	101,3	98,1	91,2	11-12	90-93
10		После ЛТЗ	42,4	50,6	54,1	57,9	13-14	90-93
11	Западный вентиляционный наклонный ствол, западный путевой наклонный ствол	-	11,1	13,2	10,6	14,9	11-12	97-99

ерный штрек № 1309, вентиляционный штрек № 1309 по пласту Байкаимский проводятся комбайнами КП-21, температура воздуха – 13–14°C, влажность воздуха – 90–93%, скорость продвижения забоев более 250 м/мес. В лаве № 1109 по пласту Надбайкаимский ведение очистных работ осуществляется комбайном МВ-12 с добычей более 7500 т/сут. и продвижением лавы более 9,3 м в сутки; в лаве № 1307 по пласту Байкаимский – комбайном ЕЛ-3000 с добычей более 9000 т/сут. и продвижением лавы более 10,5 м в сут. при температуре воздуха 13–14 °С и влажности воздуха 90–93 %. В западном вентиляционном и западном путевом наклонных стволах температура воздуха составляла 11–12°C, влажность воздуха – 97–99 %.

Шахтные испытания экспериментального образца рудничного портативного анемометра АР-П проводились в соответствии с «Руководством по эксплуатации...» [2] и «Программой и методикой промышленных испытаний...» [3].

Измерение скорости воздушного потока по сети горных выработок проводилось в соответствии с приложением № 8 к [4] (табл. 2). Для сравнения результатов измерений использовался шахтовый анемометр АПР-2, имеющий свидетельство о госповерке. Продолжительность каждого замера составляла не менее 100 с, количество замеров в каждой точке – не менее 3.

Таблица 2 – Шахтные испытания прибора измерения скорости воздушного потока АР-П на ОАО «Шахта Заречная»

№ п/п	Показания АР-П, м/с	Показания АПР-2, м/с	Абсолютная погрешность, м/с
Пласт Надбайкаимский, вентиляционный штрек № 1109 – 20 м от лавы 1109			
1	2,26	2,14	0,21
2	2,17	2,01	0,2
3	1,99	2,16	0,21
4	2,14	2,31	0,22
5	2,02	1,98	0,19
Пласт Надбайкаимский, конвейерный штрек № 1109 – 20 м от лавы 1109			
6	1,22	1,25	0,16
7	1,46	1,3	0,17
8	1,52	1,43	0,17
9	1,38	1,29	0,16
10	1,4	1,32	0,17
Пласт Байкаимский, вентиляционный штрек № 1307 – 20 м от лавы 1307			
11	2,11	1,88	0,19
12	1,96	1,86	0,19
13	1,81	1,92	0,2
14	1,78	1,94	0,2
15	1,87	1,72	0,19
Пласт Байкаимский, конвейерный штрек № 1307 – 20 м от лавы 1307			
16	1,92	1,86	0,19
17	1,78	1,92	0,2
18	1,75	1,78	0,19
19	2,01	1,97	0,2
20	1,94	1,89	0,19
Западный вентиляционный наклонный ствол – устье			
21	10,1	10,2	0,61
22	10,2	10,4	0,62
23	13,1	12,2	0,71

№ п/п	Показания АР-П, м/с	Показания АПР-2, м/с	Абсолютная погрешность, м/с
24	13,2	12,4	0,72
25	12,8	12,6	0,73
Западный путевой наклонный ствол – устье			
26	6,89	7,14	0,46
27	7,25	7,3	0,47
28	6,6	7,6	0,48
29	7,45	7,1	0,46
30	7,0	7,4	0,47
Пласт Байкаимский, вентиляционный штрек № 1309 – забой			
31	0,55	0,57	0,13
32	0,51	0,51	0,13
33	0,48	0,55	0,13
34	0,51	0,52	0,13
35	0,5	0,54	0,13
Пласт Байкаимский, конвейерный штрек № 1309 – забой			
36	0,44	0,39	0,12
37	0,38	0,37	0,12
38	0,44	0,41	0,12
39	0,39	0,34	0,12
40	0,41	0,39	0,12
Пласт Надбайкаимский, вентиляционный штрек № 1103 – забой			
41	0,41	0,47	0,12
42	0,57	0,5	0,13
43	0,49	0,46	0,12
44	0,46	0,45	0,12
45	0,48	0,51	0,13
Пласт Надбайкаимский, конвейерный штрек № 1103 – забой			
46	0,66	0,64	0,13
47	0,72	0,66	0,13
48	0,61	0,59	0,13
49	0,59	0,64	0,13
50	0,64	0,61	0,13

Выводы

По результатам проведенных шахтных испытаний прибора измерения скорости воздушного потока АР-П установлено следующее:

1. Прибор измерения скорости воздушного потока АР-П соответствует требованиям технической документации: техническим условиям ТУ 4215-002-16713073-07 и «Руководству по эксплуатации...» [2].

2. Установлена возможность измерения прибором АР-П скорости воздушного потока. Случаев отказов в процессе испытаний не выявлено.

3. В результате проведенных испытаний установлено, что вещественный, дисперсный состав пыли и влажность воздуха не влияют на величину погрешности измерений.

4. Погрешность измерений не превышала абсолютную погрешность, заявленную в «Руководстве по эксплуатации анемометра рудничного портативного АР-П» и составляла $\pm(0,1+0,05V)$, м/с.

5. Прибор прост в эксплуатации, не требует дополнительного оборудования для проведения измерений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах». – Серия 05.– Выпуск 40. – М.: ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2014. – 200 с.
2. Руководство по эксплуатации анемометра рудничного портативного АР-П. – Кемерово, 2014.
3. Программа и методика промышленных испытаний анемометра рудничного портативного АР-П. – Кемерово, 2014.
4. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по контролю состава рудничного воздуха, определению газообильности и установлению категорий шахт по метану и/или диоксиду углерода». – Серия 05.– Выпуск 34. – М.: ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2013. – 64 с.

PORTABLE MINE ANEMOMETER AR-P
UNDERGROUND TEST

Khluvov D. S., Sergeev O. A., Olennikov S. V., Musinov S. N.

Underground tests results of AR-P instrument in conditions of OAO "Zarechnaya Mine" are described.

Key words: PORTABLE MINE ANEMOMETER, MEASUREMENTS, AIR-GAS STREAM, MINE UNDERGROUND TESTS, ERROR, DISPERSE COMPOSITION, HUMIDITY, INFLUENCE

*Хлудов Денис Станиславович
e-mail: vosteko@inbox.ru*

*Сергеев Олег Аркадьевич
e-mail: rosniigdbuh@mail.ru*

*Оленников Сергей Васильевич
e-mail: 778661@inbox.ru*

*Мусинов Станислав Николаевич
e-mail: vosteko@inbox.ru*

Горный- ЦОТ

Более 10 лет мы разрабатываем
и производим приборы контроля
параметров безопасности

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



Группа Компаний
«ВостЭКО и Горный-ЦОТ»
Россия, г Кемерово, 650002
Сосновый бульвар, 1
www.indsafe.ru

ООО "ГОРНЫЙ-ЦОТ"

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

ВЫПУСКАЕМЫЕ ПРИБОРЫ



Прибор контроля запыленности воздуха ПКА-01



Прибор контроля пылевзрывобезопасности горных выработок ПКП



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



Измеритель запыленности стационарный ИЗСТ-01



Система контроля параметров дегазационной сети СКП ДС



Стационарный анализатор контроля параметров атмосферы Gasos заперемычного пространства

а так же оказывает услуги следующих направлений:

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

ОСОБЕННОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ГАЗОПРОНИЦАЕМОСТИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ



Р. И. Родин

младший научный сотрудник ФГБНУ
«ФИЦ УУХ СО РАН»



М. С. Плаксин

канд. техн. наук, старший научный со-
трудник ФГБНУ «ФИЦ УУХ СО РАН»

Рассмотрены вопросы извлечения метана из высокогазоносных угольных пластов. Указаны некоторые научно-технические особенности повышения проницаемости пластов для повышения эффективности предварительной дегазации.

Ключевые слова: УГОЛЬНЫЙ ПЛАСТ, ГАЗОПРОНИЦАЕМОСТЬ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДЕГАЗАЦИИ, ДЕГАЗАЦИОННЫЕ СКВАЖИНЫ, ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОИНТЕРВАЛЬНЫЙ ГИДРОРАЗРЫВ

Применение технологий подземной разработки угольных месторождений в последние десятилетия неуклонно снижается. Одна из основных причин – ограничение производительности добычи угля по газовому фактору безопасности горных работ. Даже на глубинах залегания пластов Кузбасса до 200 м их газоносность составляет 5-10 м³/т, а на глубинах 500-700 м достигает 25-30 м³/т. При этом эффективность технологий заблаговременного извлечения метана с ростом глубины резко снижается в связи со снижением газопроницаемости пластов [1, 2]. Нетрудно понять сложность согласования производительности добычи угля с объемами обязательного транспортирования на поверхность метана в безопасном аэрогазовом режиме. Например, современные механизированные комплексы могут добывать 10-30 тонн угля в минуту. Приняв, что в очистной забой выделяется лишь 10 % от газоносности пласта, получим метанообильность забоя, согласно указанному диапазону газоносности пластов 5–90 м³/мин. Поскольку нормализация газового режима требует подавать не менее 100 м³ воздуха на каждый кубометр метана, то необходимо 500-9000 м³ воздуха в минуту. Верхнее значение намного превышает реальные возможности системы вентиляции шахт, ограниченные к тому же по

пылевому фактору, скоростью вентиляционной струи в очистном забое до 4 м/с.

Представленная оценка подчеркивает актуальность задач предварительной дегазации угольных пластов и напоминает о катастрофических следствиях волевых решений (1995-2005 гг.) по интенсификации производительности добычи угля, пренебрегающих фактом о том, что пласт не только угольный, но и углеметановый [3, 4].

Для снижения газоносности обрабатываемого выемочного столба широко применяются и постоянно совершенствуются способы извлечения и изолированного отвода метана. Одним из них является предварительная дегазация выемочных столбов до начала отработки. Способы ориентированы на снижение поступления метана непосредственно в очистной забой, в котором расположено энергетическое оборудование - потенциальный источник искрообразования. Наиболее распространенная технология их выполнения заключается в бурении сети параллельных или перекрещивающихся скважин в тело выемочного столба.

В работе [5] авторами была проанализирована продуктивность перекрещивающихся дегазационных скважин. Построены соответствующие графики (рис. 1-2) для обрабатываемых пластов на шахте «Алардинская» – выемочный участок 6-1-11 (пласт 6, мощность 9,5 м,

глубина 550 м, газоносность 25 м³/т, длина скважин от 180 до 250 м, количество скважин 147, плотность скважин через 12 м) и шахте «Абашевская» – выемочный участок 15-14 бис (пласт 15, мощность 1,65 м, глубина 500 м, газоносность 23 м³/т, длина скважин от 250 до 285 м, количество скважин 42, плотность скважин через 13 м).

Из результатов видно, что увеличение диаметра скважины на 20 % на шахте «Алардинская» обеспечило рост их продуктивности в 3,5 раза за счет снижения эффекта «затекания» скважин меньшего диаметра под действием геостатических напряжений [6]. Однако, имея удельный (на п.м скважины) ресурс метана в пласте 1467 м³/п.м, получаем за 700 суток работы скважин коэффициенты дегазации 0,25 для диаметров 93 мм и 0,06 для диаметров 76 мм, т.

е. крайне низкие величины. К тому же достаточно заметный каптаж метана заканчивается примерно через год с начала работы скважины.

Близкие показатели имела и дегазационная система на шахте «Абашевская»: удельный (на п.м скважины) ресурс метана в пласте составлял 329 м³/п.м; за год работы скважин коэффициент дегазации – 0,012. В этих условиях на момент закрытия (2013 г.) шахта, обрабатывая пласты на глубине залегания до 700 м с газоносностью до 30 м³/т при плотности скважин 10 м диаметром 76 мм, имела допустимую по газовому фактору производительность очистных забоев лишь в 25 % от технической возможной.

Основной причиной снижения эффективности дегазации угольных пластов принято считать снижение газопроницаемости с

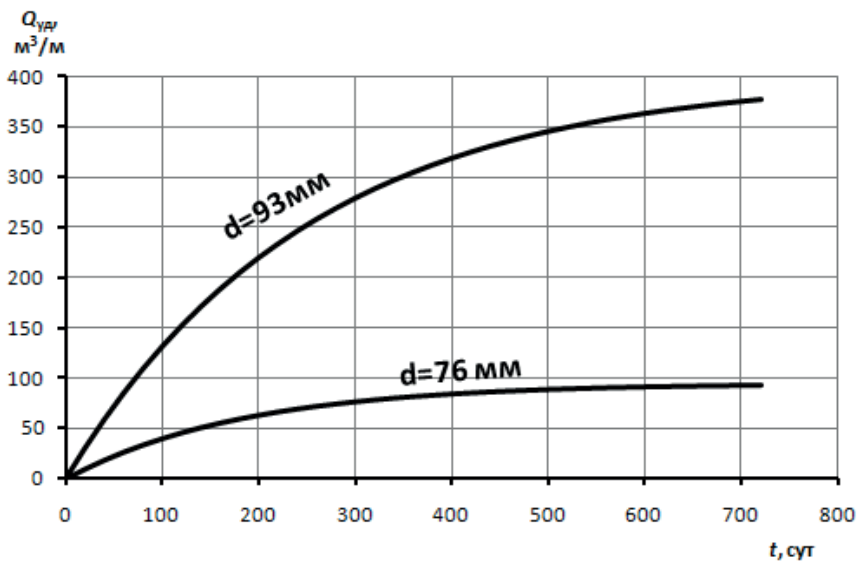


Рисунок 1 - Продуктивность типичных дегазационных скважин диаметром d на выемочном участке 6-1-11 шахты «Алардинская»

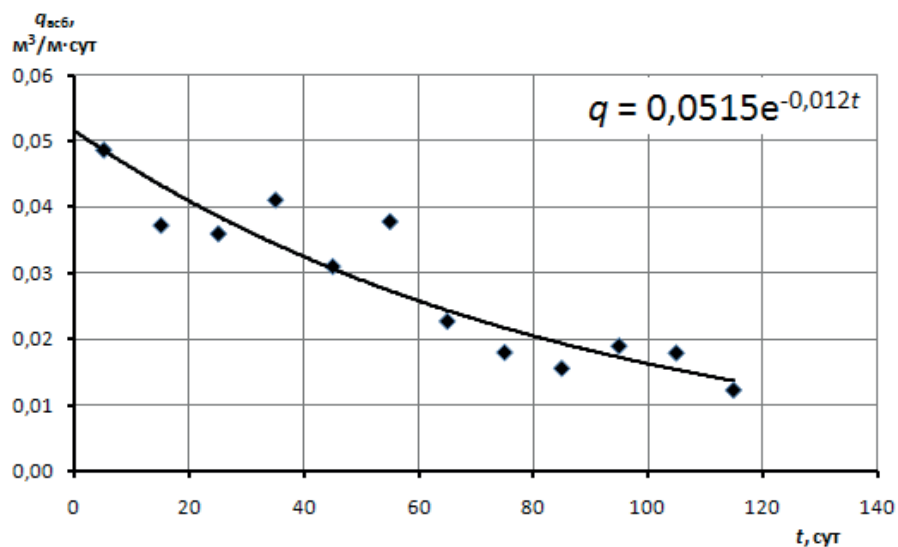


Рисунок 2 - Изменение дебита дегазационной скважины во времени на выемочном участке 15-14 бис шахты «Абашевская»

ростом глубины залегания, для количественной оценки которой можно воспользоваться известными эмпирическими зависимостями [7, 8]. С целью обобщения многообразия свойств пластов значения газопроницаемости и напряжений рассчитывались относительно их величин на глубине 100 м (рис. 3). Видим, что с ростом напряжений газопроницаемость снижается по гиперболической зависимости более чем на два порядка. Косвенным подтверждением адекватности этой

особенности является ограничение подземных технологий разработки угольных месторождений глубиной 300-400 м, до которой еще возможна относительно высокая производительность добычи угля с применением способов предварительной дегазации обрабатываемого пласта.

Представленный график не только констатирует результаты натуральных наблюдений, но и позволяет мотивировать некоторые предложения по совершенствованию технологий обработ-

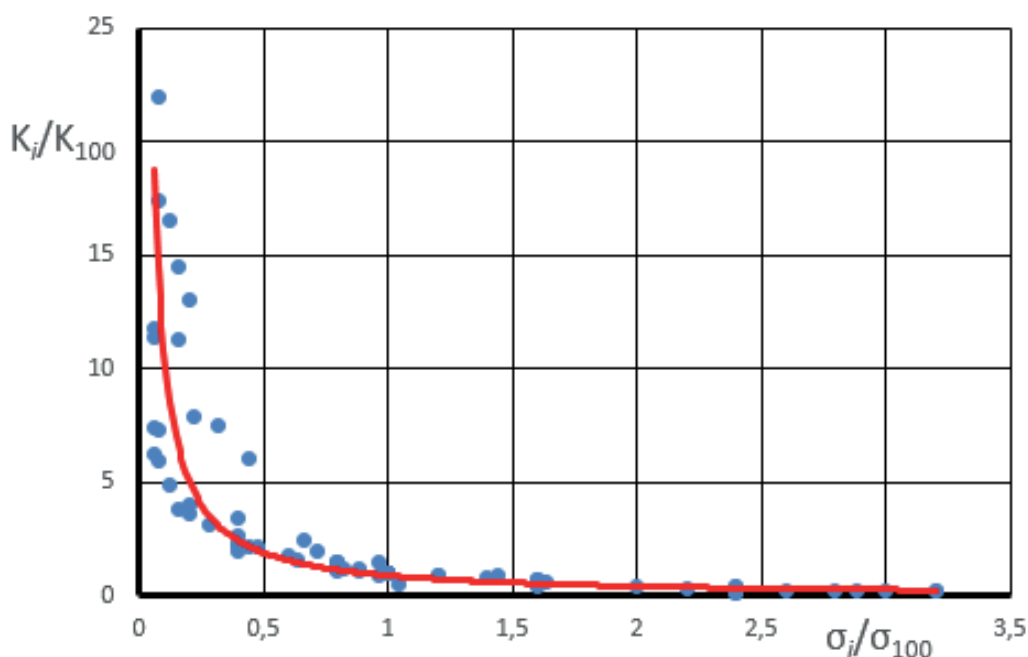


Рисунок 3 - Обобщенные данные изменения газопроницаемости угольных пластов с ростом напряжений относительно их значений на глубине 100 м

ки свит угольных пластов. Представив значения в аналитической форме, получим:

$$K_n = 0,9K_{100} \left(\frac{\sigma_n}{\sigma_{100}} \right)^{-1,1} \quad (1)$$

где K_n – среднее значение коэффициента газопроницаемости пласта при разгрузке, $\mu\text{Д}$;

K_{100} – газопроницаемость пласта на глубине 100 м, $\mu\text{Д}$;

σ_n – средние напряжения в пласте при разгрузке, МПа ;

σ_{100} – напряжение в пласте на глубине 100 м, МПа .

Следовательно, при обработке вышележащего пласта имеет интерес проводить дегазацию нижележащего, но непосредственно в период его надработки, а не тогда, когда сдвигения массива закончились. При современных размерах очистных забоев влияние надработки весьма значительно, для использования которого, однако, необходимо пересмотреть планы ведения горных работ,

например, согласно способу [9].

Газопроницаемость является весьма значимым, но не единственным свойством пластов, влияющим на возможность каптажа метана.

Согласно современным представлениям, метан содержится в угольном пласте в трех состояниях [10]: свободном, адсорбированном и по типу твердого углегазового раствора (ТУГР). Результаты известных исследований влияния процессов адсорбции и десорбции в угле на его механические свойства доказывают, что вследствие бурения скважины происходит перераспределение напряжений в ее окрестности, а повышение давления свободного газа в кливаже приводит к сжатию угольной матрицы и снижению адсорбции [11-13]. С увеличением глубин доля метана в составе ТУГР увеличивается (рис. 4) и условием его извлечения является разгрузка пласта от механических напряжений. Если угольный пласт неразгружен, процесс метановыделения

происходит в основном в результате диффузии свободного и адсорбированного метана, а объемы выделившегося из блоков угля газа можно увязать с площадью обнажения их поверхности фильтрующими трещинами. Следовательно, давление газа в трещинах определяется не только их пропускной способностью, но и интенсивностью диффузии газа из блоков. Описанная совокупность свойств и обуславливает невысокую скорость выделения метана в скважины. Однако распад ТУГР при снижении напряжений интенсифицирует процесс диффузии, повышая градиент давления, необходимый для роста скорости фильтрации.

На рисунке 5 показано изменение проницаемости и давления газа в скважине в процессе газоистощения. Давление в скважине закономерно снижается, а проницаемость при-

скважинной зоны пласта возрастает. В дальнейшем наблюдается уже снижение проницаемости в результате разрушения скважины. При этом в точках А и В отмечены кратковременные снижения проницаемости. После последнего падения (точка С) восстановить проницаемости до прежнего уровня удалось только после зачистки скважины. Таким образом, продолжительная десорбция позволяет повысить проницаемость пласта не только существенным развитием зоны влияния скважины, но и снижением механической прочности угля вплоть до частичного разрушения.

В настоящее время научная и промышленная общественность достаточно часто поднимает вопрос необходимости разработки новых методов повышения продуктивности дегазационных скважин, в том числе и путем применения

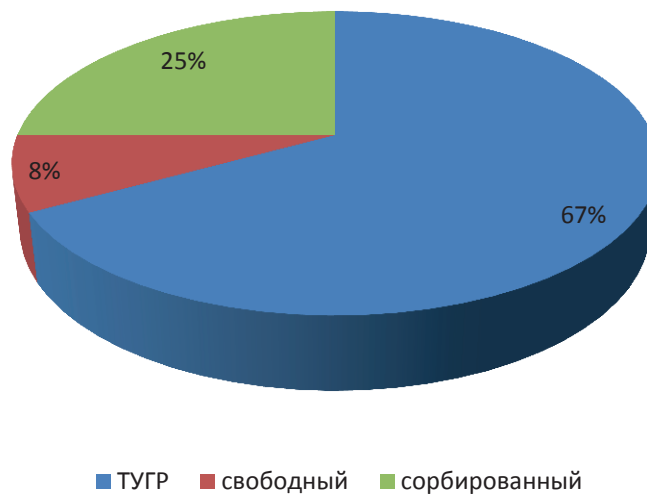


Рисунок 4 - Структура газоносности угольного пласта по формам существования метана (на глубине 300 м)



Рисунок 5 - Схематичное обозначение изменения проницаемости угля в окрестности скважины и давления газа в ней (по данным [13])

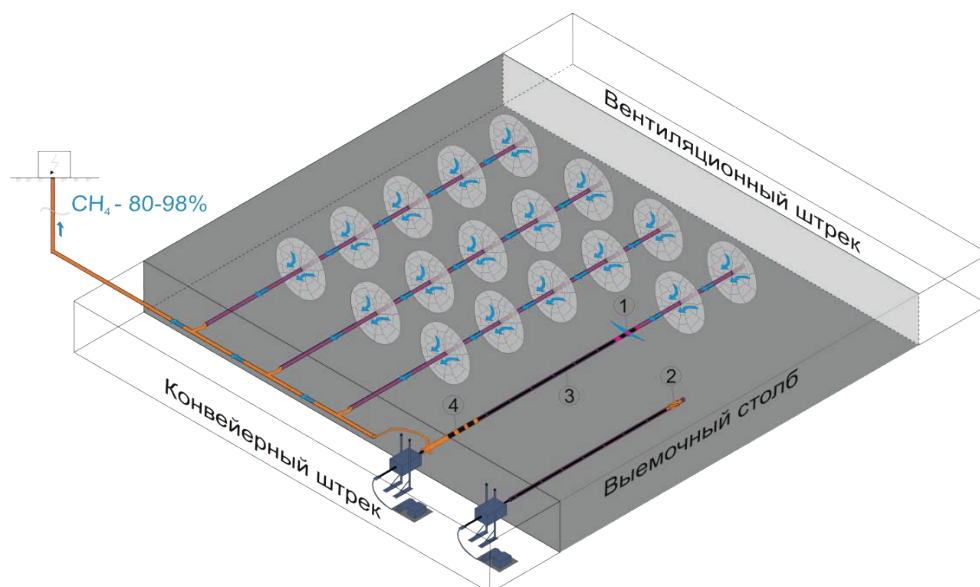


Рисунок 6 - Технологическая схема применения ориентированного поинтервального гидроразрыва пласта через дегазационные скважины: 1 – устройство гидроразрыва; 2 – буровая коронка; 3 – гидравлические штанги высокого давления; 4 – уплотнитель устья скважины

способов ориентированного поинтервального гидроразрыва [14].

Применение ориентированного поинтервального гидроразрыва осуществляется в период оконтуривания выемочного участка в соответствии со схемой, представленной на рис. 6. Бурение дегазационных скважин производится с учетом действующего нормативного документа [15].

Эффект повышения дебита метана от применения гидроразрыва заключается в создании серии щелей, нормальных оси скважины (рис. 6). Расстояние между скважинами и количество щелей гидроразрывов в каждой скважине зависят от свойств пласта и технологически приемлемого периода дегазации.

Ожидаемые результаты от внедрения технологии ориентированного поинтервального гидроразрыва в промышленность:

1. Сокращение периода дегазации.
2. Возможность повышения скорости отработки выемочного столба по газовому фактору.
3. Снижение газовой и газодинамической опасности.
4. Повышение объемов утилизации попутного метана.

Основные затруднения при принятии решений о повышении продуктивности дегазационных скважин путем ориентированного поинтервального гидроразрыва связаны с отсутствием информации о динамике выделения метана в щель гидроразрыва. Для снятия этого затруднения можно использовать фактические данные о производительности дегазационных

скважин.

Метановыделение из щели гидроразрыва определяется как:

$$q_{щ} = \frac{1}{2} \pi \cdot R \cdot m \cdot g_0 \cdot (e^{-\beta_1 \tau} + e^{-\beta_2 \tau}), \quad \text{м}^3/\text{мин}, \quad (2)$$

где m – мощность дегазируемого пласта, м;
 R – радиус зоны влияния щели гидроразрыва, м;
 g_0 – фактическое начальное удельное метановыделение в скважину, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{мин})$;
 β_1, β_2 – коэффициенты снижения дебита скважины, 1/мин;
 τ – время проведения дегазации после гидроразрыва пласта, мин.

Расчеты показывают, что метановыделение из одной дегазационной скважины с проведением в ней 60 ориентированных гидроразрывов соответствует метановыделению 36 обычных дегазационных скважин (рис. 7).

На рисунке 7 показано, что фактическое суммарное метановыделение из 36 дегазационных скважин (кривая 5) снижается по экспоненциальному закону. Приток метана из дегазационной скважины, в которой была произведена серия гидроразрывов (кривая 1), несколько отличается, особенно на начальной стадии. Отличие обусловлено особенностями разгрузки при бурении скважин и развитии щелей гидроразрыва. При бурении скважины образуется большой потенциал для разгрузки за счет объема выбуриваемого штофа. Несколько иная картина наблюдается при образовании щелей. Жидкость, подаваемая под высоким давлением, нарушает целостность угольного массива, создавая магистральную трещину,

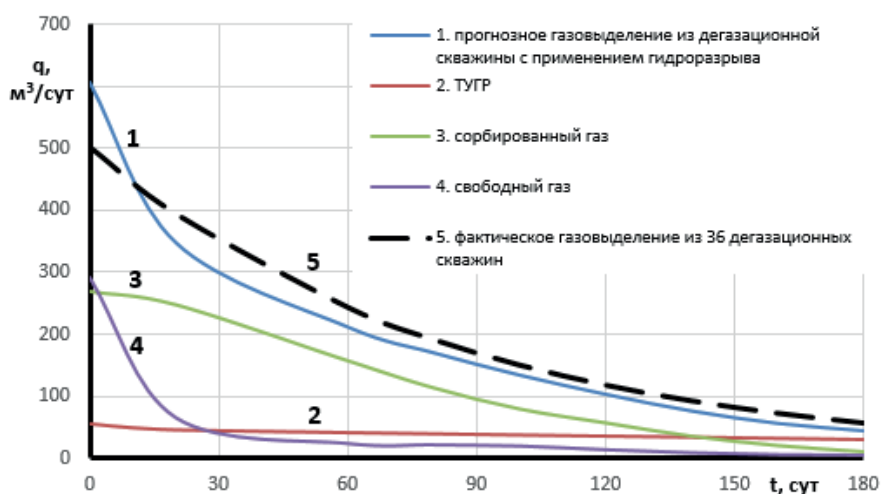


Рисунок 7 - Схематичное представление структуры метановыделения из дегазационных скважин с применением гидроразрыва

и образует значительную поверхность для газовыделения, при образовании которых не происходит разгрузки массива, скорее наоборот. В таких условиях метановыделение в начальной стадии реализует огромный потенциал сорбированной (кривая 3) и свободной (кривая 4) составляющей структуры газоносности пласта. При этом распад ТУГР (кривая 2) незначителен.

Таким образом, совершенствование технологий горных работ в части порядка отработки пластов в свите и ориентирования гидроразрыва пласта через дегазационные скважины позволит более полно использовать особенности свойств пластов и их стратиграфическое положение с целью повышения рентабельности шахт.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ремезов, А. В. Дегазация газа из угольных пластов и вмещающих пород на шахтах Кузбасса. История. Действительность. Будущее / А. В. Ремезов, В. Г. Харитонов, А. И. Жаров [и др.]. – Кемерово, КузГТУ, 2012. – 848 с.
2. Зыков, В. С. Современное состояние дегазации на шахтах Кузбасса / В. С. Зыков, С. М. Авраменко, В. А. Кулинич // Безопасность угольных предприятий: Сб. науч. тр. ВостНИИ, Кемерово, 2000. – С. 3–8.
3. Полевщиков, Г. Я. Природно-технологическая база комплексного извлечения ресурсов углеметановых месторождений Кузбасса / Г. Я. Полевщиков, Е. Н. Козырева, В. М. Рычковский, В. Г. Пестриков. – Кемерово: Институт угля и углехимии СО РАН, 2004. – 132 с.
4. Полевщиков, Г. Я. Комплексное извлечение и использование ресурсов углеметановых месторождений / Г. Я. Полевщиков, Е. Н. Козырева // Труды междунар. науч.-практич. конф. «Научеомкие технологии угледобычи и углепереработки». – Кемерово, 1998. – С. 21–23.
5. Родин, Р. И. Анализ продуктивности дегазационных скважин / Р. И. Родин, А. И. Альков // Сб. трудов Всеросс. Науч. Конф. для студентов, аспирантов и молодых ученых с элементами научной школы «Горняцкая смена - 2013». – Новосибирск: Изд-во ИГД СО РАН, 2013. – С. 95 – 98.
6. Уткаев, Е. А. О влиянии нарушения призабойной зоны скважины на фильтрационные характеристики угольного пласта / Е. А. Уткаев // Метан: Сборник научных трудов по материалам симпозиума «Неделя горняка - 2009». – 2009. – Об № 11. – С. 301–305.
7. Ходот, В. В. Внезапные выбросы угля и газа / В. В. Ходот. – М.: Госгортехиздат, 1961. – 363 с.
8. Газоносность угольных бассейнов и месторождений СССР: В 3 т. - Москва: Недра, 1979. – Том 2. Угольные бассейны и месторождения Сибири, Казахстана и Дальнего Востока. - 454 с.
9. Пат. 2510461 Российская Федерация, МПК E21F7/00. Способ комплексного управления газовой выделением на выемочных участках при отработке мощных и сближенных высокогазоносных пологих угольных пластов / Г. Я. Полевщиков, Е. Н. Козырева, Р. И. Родин, В. Г. Климов; заявитель и патентообладатель Институт угля Сибирского отделения РАН; № 2012152727/03. – Оpubл. 27.03.2014, бюл. №

30. – 6 стр.

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. Espinoza, D. N. Desorption-induced shear failure of coal bed seams during gas depletion. / D. N. Espinoza, J.-M. Pereira, M. Vandamme, P. Dangla, S. Vidal-Gilbert // International Journal of Coal Geology. – 2014. – 137. – P. 142–151.

12. Espinoza D. N. A transverse isotropic model for microporous solids – Application to coal matrix adsorption and swelling / D. N. Espinoza, M. Vandamme, P. Dangla, J.-M. Pereira, S. Vidal-Gilbert // Journal of Geophysical Research Solid Earth. – 2013. – 118. - 6113-6123.

13. Moore, R.L. History matching and permeability increases of mature coalbed methane wells in San Juan Basin / R. L. Moore, D. Loftin, I. Palmer // SPE Asia Pacific oil and gas conference and exhibition, 20–22 September 2011, Jakarta, Indonesia.

14. Клишин, В. И. Проблемы безопасности и новые технологии подземной разработки угольных месторождений / В. И. Клишин, Л. В. Зворыгин, А. В. Лебедев [и др.]. – Новосибирск, 2011. – 524 с.

15. Методические рекомендации о порядке дегазации угольных шахт (РД-15-09-2006). Серия 05. Выпуск 14 / Колл. авт. – М.: Открытое акционерное общество «Научно-технический центр по безопасности в промышленности», 2007. – 256 с.

PECULIARITY OF COAL SEAM GAS PERMEABILITY INCREASE

Rodin R. I., Plaksin M. S.

The problems of methane extracting from high gas content coal seams are reviewed. Some scientific and technical peculiarities of coal seam permeability increase in order to improve gas pre-drainage efficiency are demonstrated.

Key words: COAL SEAM, GAS PERMEABILITY, GAS DRAINAGE EFFICIENCY, DEGASSING BOREHOLES, DIRECTED INTERVAL HYDRAULIC FRACTURING

Родин Роман Иванович
e-mail: rodinri@mail.ru

Плаксин Максим Сергеевич
e-mail: plaksin@bk.ru



Gasense

ПОРТАТИВНЫЙ ГАЗОАНАЛИЗАТОР

УДК 622.831.322

К ВОПРОСУ О СНИЖЕНИИ ГАЗОВОЙ И ГАЗОДИНАМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК

Приводятся результаты исследований в области контроля и прогноза газовой и газодинамической опасности при проведении подготовительных выработок по высокогазоносным угольным пластам и уточнении мер по ее снижению.

Ключевые слова: УГОЛЬНЫЙ ПЛАСТ, ГАЗОДИНАМИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ, ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ ВЫРАБОТКИ, МЕТАНООБИЛЬНОСТЬ, ДИНАМИКА, МОНИТОРИНГ, ЭЛЕКТРОННАЯ СИСТЕМА, АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОНТРОЛЬ

Разработка газоносных угольных месторождений сопряжена с риском динамической реализации их газовой компоненты в систему действующих горных выработок. Допустимым уровнем риска принято считать поддержание концентрации метана в рудничной атмосфере при выполнении технологических операций существенно ниже ее критических значений по условию взрывчатости. Однако изменчивость свойств и развивающиеся в пласте геомеханические процессы оказывают столь существенное влияние на динамику поступления метана в выработку, что технологическая реакция на повышение концентрации газа нередко запаздывает. Сложность динамического контроля по концентрации метана обусловлена и тем, что датчик измеряет содержание газа в точке достаточно большого сечения выработки в условиях значительных флуктуаций аэрогазового потока. По этой причине попытки создания быстродействующей аппаратуры газовой защиты для опережающего прогноза формирования опасной концентрации по всему сечению оказались безуспешными. Сигналы опасности стали практически непрерывными, а работа забоя невозможной. В то же время горный опыт и ряд научных исследований

[1] показывают, что в подавляющем большинстве реально опасных ситуаций динамика притока метана содержала существенные признаки роста уровня опасности задолго до ее реализации. Такая ситуация характерна не только для слабых динамических газовыделений при геомеханической дезинтеграции пласта, приближении забоя к зоне тектонической нарушенности, выдавливаниях угля, но и для собственно внезапных выбросов. Для объективной и оперативной оценки этих признаков необходимо более глубоко анализировать показания автоматизированной системы аэрогазового контроля и шире использовать ее современные возможности в части электронного обеспечения. Выполнение условий решения поставленной настоящей статьей задачи требует понимания, что интенсивность выделения метана есть закономерное следствие совокупности достаточно сложных природно-технологических процессов.

Ранее было установлено [2,3], что:

- динамика метанообильности подготовительной выработки в значительной мере обусловлена зональностью дезинтеграции массива при развитии геомеханического процесса с соответствующими изменениями состояний метана в приконтурной части пласта;



М. С. Плаксин

канд. техн. наук, старший научный сотрудник ФГБНУ «ФИЦ УУХ СО РАН»

- получаемая с помощью современных технических средств горнотехнологическая информация при проведении подготовительных выработок, позволяет оперативно прогнозировать уровни газодинамической активности пласта, ранжировать ее по видам опасности и уточнять параметры мероприятий по снижению.

Современные датчики измерения концентрации метана имеют инерционность 10 с. В условиях неустановившегося аэрогазового режима их показания носят столь пульсирующий характер, что даже прочтение графика вызывает затруднения. Учитывая, что разрабатываемый метод ориентирован на выявление признаков относительно медленных опасных изменений состояний газоносного пласта, можно нивелировать основную часть пульсаций, вычисляя среднюю концентрацию метана за некоторый интервал времени. Анализ электронных данных по 15 подготовительным выработкам 6 шахт Кузбасса позволил установить, что при скорости продвижения забоя 5-8 м/сут оптимальная продолжительность интервала составляет 15 мин. Поскольку интенсивность газовыделения связана с массой угля, то необходимо знать и расход воздуха в месте установки датчика. Эти значения могут характеризоваться показаниями датчика скорости вентиляционной струи и сечением выработки. Усреднение показаний датчиков замера концентрации метана и расхода воздуха выполняется за тот же интервал времени. Совокупность средних значений концентрации метана и расхода воздуха позволяет определять метанообильность выработки (рис. 1).

Горнотехнологические условия рассматриваемого участка проведения выработки: мощность пласта составляет 2,6 м; скорость продвижения забоя равна 3 м/сут.; газоносность пласта - 16 м³/т; площадь сечения выработки - 14 м². Ярковыраженные «всплески» на рисунке 1 характеризуют техногенную реакцию углепородного массива (пласт и близлежащие слои пород).

Значительное различие размеров «всплесков» как по площади, так и по амплитуде связаны с неравномерностью (нелинейностью) развития геомеханических процессов в приконтурной части пласта и влиянием мелкоамплитудной нарушенности массива. Фактическая метанообильность установлена по показаниям размещенных на расстоянии 20 м от забоя выработки датчиков концентрации метана и скорости воздуха.

Прогноз по действующим нормативным методам указывает следующее: ожидаемое метановыделение через обнаженную поверхность пласта $J_{нов} = 0,8 \text{ м}^3/\text{мин}$; из отбитого угля $J_{о.у} = 3,5 \text{ м}^3/\text{мин}$. Итого $J_{нов} + J_{о.у} = 4,3 \text{ м}^3/\text{мин}$. Из рисунка видно, что прогнозируемая метанообильность более чем в два раза превышает среднюю фактическую ($J_{ср.факт.} = 1,87 \text{ м}^3/\text{мин}$), однако она меньше амплитуды всплесков, т.е. газовые риски сохраняются. В то же время из графика видно, что каждому повышенному притоку метана предшествует период относительно плавного нарастания в течении как минимум десятков минут. Следовательно, для предотвращения превышений допустимой концентрации метана в призабойном объеме выработки (20 м) имеется достаточный резерв времени для оперативной нормализации аэрогазового режима до срабатывания газовой защиты. При выявлении компьютером автоматизированной системы аэрогазового контроля устойчивого нарастания метанообильности с приближением к опасному пределу система генерирует дистанционный сигнал включения в забое предупреждающей звуковой и световой сигнализации с последующим возможным применением двух отдельных или совместных технических решений.

Первое решение - дистанционное включение резервного нагнетательного вентилятора.

Второе решение - дистанционное включение установленного в выработке всасывающего

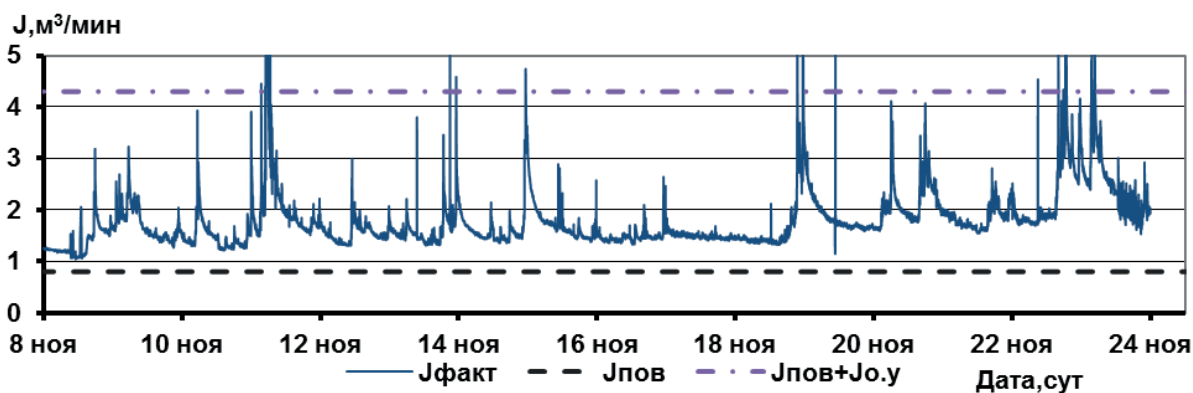


Рисунок 1 – Изменение метанообильности подготовительной выработки

вентилятора с производительностью 25-30 % от основного нагнетательного. Воздухозаборник этого вентилятора закрепляется, например, на стреле комбайна (гофрированный рукав) и всегда находится в зоне максимального притока метана. Выброс метановоздушной смеси может происходить на удалении 100-150 м от забоя, где аэрогазодинамические флуктуации уже сглаживаются. Качества этой вентиляционной установки должны соответствовать применяющимся на шахтах газоотсасывающим установкам, в которых допускается концентрация метана до 3,5%.

Второе решение предпочтительнее, т.к. частично решает задачу снижения запыленности призабойного объема [4], хотя и требует средств пылеотделения на выходе из всасывающего вентилятора.

Несоизмеримо большая газовая опасность связана с возникновением различных видов газодинамических явлений (ГДЯ). Справиться с их газопритокотом способами проветривания невозможно. Наиболее опасными являются внезапные выбросы угля и газа. Известен случай выделения в результате внезапного выброса более 0,6 млн м³ метана и более 12 тыс. т угля. При внезапных выбросах происходит опрокидывание вентиляционной струи с загазированием значительной части вентиляционной системы шахты и высокой вероятности возникновения взрыва газа и на удаленных участках сети. Однако как установлено исследованиями [1, 2, 5], при приближении забоя выработки к месту будущего ГДЯ механические и газокинетические свойства пласта начинают изменяться на расстоянии до 15 м, а метанообильность призабойного пространства стабильно возрастает за 1-3 суток до момента выброса.

В 1952 г. академиком А. А. Скочинским было отмечено: «Газ, горное давление и физико-механические свойства – таковы три фактора, совокупно обуславливающие склонность пластов угля к внезапным выбросам» [5]. Тем самым для надежного контроля уровня газовой и газодинамической опасности при ведении горных работ необходим учет (мониторинг) всех трех определяющих факторов. Следует отметить, что факторы взаимосвязаны. Так, например, повышение нарушенности интервала интенсифицирует процесс развития зоны неупругого деформирования угольного пласта, что отражается на фильтрационно-диффузионных процессах и, как следствие, динамике метанообильности. Таким образом, метанообильность выработки является интегральным показателем изменения состояний приконтурной части угольного пласта

(см. рис. 1). Однако в технологическом процессе проведения подготовительных выработок много операций, дополнительно влияющих на ее метанообильность, например, значительное изменение скорости проведения или бурение веера разгрузочно-дегазационных скважин. Необходимо конкретизировать шкалу оценки газодинамической активности угольного пласта по видам опасности.

Известны методы контроля газодинамической активности пласта по данным о концентрации метана в выработке [1, 6]. К плюсам этих методов следует отнести бесконтактность с забоем, непрерывность действия и оперативность, но их критические параметры не увязаны с геомеханической составляющей.

Обеспечить эту связь и тем самым контролировать развитие всего комплекса газогео-механических процессов можно с применением зависимостей нелинейной геомеханики, составляющими основу открытия зональной дезинтеграции пород в окрестности горных выработок [7], эффективность применения которых доказана при прогнозировании метанообильности очистных забоев [8, 9].

Согласно [7], развитие области изменения напряженно-деформированного состояния массива носит периодический характер с геоструктурным параметром, равным $(\sqrt{2})^n$, где n – уровень геоструктурной иерархии. В пределах этой области расположены зоны дезинтеграции, где частичное разрушение пород обусловлено реализацией упругой энергии массива. Расстояния до границ зон кратно $(\sqrt{2})^n$. Поскольку угольный пласт, особенно его перемятая пачка, является наиболее слабым слоем в области геомеханического процесса, то он поглощает значительную часть реализующейся энергии путем большей относительно слоев пород геомеханической дезинтеграции.

Анализ результатов исследований напряжений в окрестности горных выработок [2, 3, 10] показал, что явление зональной дезинтеграции лишь углубляет классические представления о напряженно-деформированном состоянии пласта, внося в них принципиально важные для количественных оценок уточнения. В качественной форме результаты анализа представлены на рисунке 2, где штрихпунктирными линиями показаны графики изменения напряжений впереди забоя, соответствующие классическим моделям, а сплошными волнообразными линиями – результаты обобщения горно-экспериментальных наблюдений. Волнообразность изменения напряжений приводит к снижению их значений

относительно геостатических на отдельных интервалах области влияния. На этих интервалах, согласно другому научному открытию российских ученых о состоянии метана в угольных пластах по типу твердых углегазовых растворов (ТУГР) [11], метан выделяется из структуры угля в микро- и макротрещины, формируя в них, дополнительное давление газа (ΔP_0) при отсутствии газопроницаемости пласта в направлении выработки. Его максимальная величина обратно пропорциональна снижению напряжений, а действующее значение зависит от изменения газопроницаемости пласта и времени от момента снижения напряжений. Отметим, что в механизме газодинамических процессов зоны дезинте-

грации рассматриваются как заполненные «раздробленным» углем и газом объемы, давление газа в которых действует по всей поверхности.

На рисунке 2 представлены две горнотехнологические ситуации, которые возможны при подвигании забоя.

При *квазистатической ситуации* (рис. 2 верхний) непосредственно у забоя формируется область неупругих деформаций протяженностью l_0 , где напряжения возрастают от напряжений на кромке пласта до геостатических. Впереди расположена упругая зона. Напряжения в них изменяются волнообразно с минимумами значений на интервалах дезинтеграции, но общим трендом согласующимся с классической

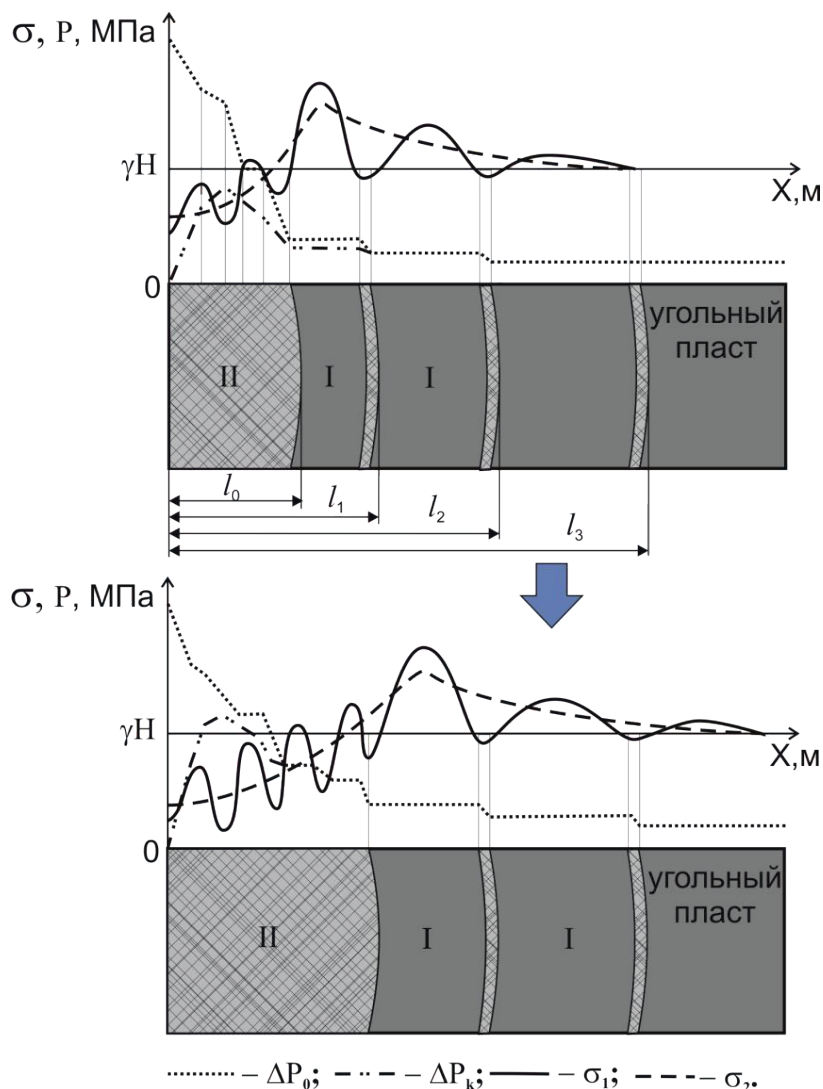


Рисунок 2 – Схема развития зон дезинтеграции призабойной части угольного пласта с соответствующим снижению напряжений σ приростом ΔP_0 ,

обусловленным распадом ТУГР, и снижением ΔP_k , под влиянием газопроницаемости, давления газа: I – упругая зона; II – зоны дезинтеграции; ΔP_0 – давление газа в приконтурной части пласта, при «нулевой» его газопроницаемости; ΔP_k – давление газа в приконтурной части пласта; σ_1 – геостатическое напряжение, согласно классической модели; σ_2 – геостатическое напряжение, согласно явлению зональной дезинтеграции; X – расстояние от кромки пласта (забоя выработки) вглубь массива угля, м

моделью распределения напряжений.

Границы зон дезинтеграции в упругой области связаны с протяженностью неупругих деформаций

$$l_n = (r_g + l_0) \sqrt{2}, \text{ м} \quad (1)$$

где r_g – радиус выработки, м;

l_0 – зона неупругих деформаций, м.

Распад ТУГР повышает в зонах снижения напряжений содержание и давление свободного газа, а газопроницаемость пласта, особенно у поверхности забоя, обеспечивает его снижение, предотвращая нарушение устойчивости выделенных зонами дезинтеграции слоев. На первом этапе имеем рост, а затем снижение метанообильности призабойного объема выработки по мере газоистощения пласта в области геомеханических изменений.

Газодинамические ситуации (рис. 2 нижний) характеризуются распространением области неупругих деформаций до границы зоны дезинтеграции l_1 с формированием еще двух интервалов изменения напряжений. В результате на ближайших к забою интервалах имеем более высокие давления газа ΔP_k по сравнению с предыдущей ситуацией. Устойчивость слоев снижается, формируется эффект домино, когда в режим интенсивного газоистощения переходит значительная масса угля с возможным выдавливанием ее части в выработку. Поскольку процесс включает и неупругое деформирование пласта с формированием соответствующих зон дезинтеграции, то является относительно продолжительным и в горной практике при достаточно эффективном проветривании забоя не приводит к экстремальным следствиям. Опасно лишь не замечать тенденции роста частоты таких ситуаций.

В определенных горно-геологических условиях рассмотренная ситуация может предшествовать дальнейшему развитию газодинамического явления, что требует выполнения следующих условий [1]:

- возникновения «волны дробления» значительной части угля до частиц, способных транспортироваться потоком выделяющегося газа;

- скорости выделения метана из угля, достаточной для транспортирования не менее 40 % его массы за фронтом «волны дробления» в

выработку.

Эти условия рассмотрены в работах других исследователей и выходят за рамки настоящей статьи, направленной на прогноз и снижение газовой и газодинамической опасности. Они лишь дополнительно подчеркивают, что для эффективного обеспечения газовой безопасности шахт необходимо ранжировать уровни газодинамической активности угольных пластов на интервалах подвигания забоев по видам опасностей.

Быстрое разрушение «очередной» опорной зоны приводит к резкому росту газового давления и, как следствие, скорости потока свободного газа в сторону кромки пласта. Наиболее опасно разрушение нескольких опорных зон, при котором высока вероятность инициирования газодинамических явлений: выдавливания, высыпаний, внезапных выбросов. Контроль изменений газодинамической ситуации по динамике метанообильности выработки обеспечивает разработанный метод, включающий показатель геоструктурной иерархии n [7, 12].

Показатель определяется по формуле

$$n = 2,9 \ln \left(\frac{I_\phi}{I_k} \right) \quad (2)$$

где I_ϕ – регистрируемая метанообильность выработки, м³/мин;

I_k – квазистатическая метанообильность выработки, м³/мин.

Установлено, что второй уровень развития зональной дезинтеграции ($n=2$) указывает на формирование газовой опасности. Превышение третьего уровня ($n=3$) соответствует критичности горнотехнологической ситуации и требует применения срочных мер по ее нормализации [12].

Развитие и поэтапное внедрение представленных результатов в технологический процесс проведения горных выработок по газоносным пластам способны вывести на новый уровень качество контроля газовой и газодинамической опасности. Мониторинг развития размеров и положений зон геомеханической дезинтеграции в призабойной части пласта позволит обосновать параметры и повысить эффективность мероприятий по снижению газовой и газодинамической опасности [13, 14].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 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.
2. Плаксин, М. С. Оперативная оценка уровня газодинамической активности угольного пласта при

проведении подготовительных выработок / М.С. Плаксин // ГИАБ. Отдельный выпуск 6. Институт угля Сибирского отделения РАН. - М.: Изд-во «Горная книга», 2013. – С. 245 - 251.

3. Полевщиков, Г. Я. Газодинамическая активность угольных пластов и зональная дезинтеграция массива горных пород при проведении подготовительных выработок / Г.Я. Полевщиков, М.С. Плаксин // Нелинейные геомеханико-геодинамические процессы при отработке месторождений полезных ископаемых на больших глубинах Труды 2-ой Российско-Китайской науч. конф., Новосибирск: ИГД СО РАН, 2012. – С. 83-89.

4. Белоногов, Н. П. Исследование пылевыделения и совершенствование способов и средств борьбы с пылью на основе водовоздушных эжекторов при работе проходческих комбайнов / Н. П. Белоногов : автореферат дис. канд. техн. наук. Кемерово, 1978. – 23 с.

5. Николин, В. И. Прогнозирование и устранение выбросоопасности при разработке угольных месторождений / В. И. Николин, М. П. Васильчук. – Липецк: Роскомпечать, 1977. – 496 с.

6. Руководство по применению автоматизированного метода прогноза выбросоопасных зон угольных пластов и контроля эффективности противовыбросных мероприятий в подготовительных выработках шахт Карагандинского бассейна. – Алма-Ата, 1992. – 14 с.

7. Опарин, В. Н. Зональная дезинтеграция горных пород и устойчивость подземных выработок / В. Н. Опарин, А. П. Тапсиев, М. А. Розенбаум [и др.]. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. – 278 с.

8. Полевщиков, Г. Я. Нелинейные изменения метанообильности высокопроизводительного выемочного участка Г.Я. Полевщиков, Е.Н. Козырева, М.В. Шинкевич // Безопасность труда в промышленности. – 2014. – № 6. – С. 50–54.

9. Шинкевич, М. В. Динамика геомеханических процессов в призабойной части массива при движении длинного очистного забоя / М.В. Шинкевич, Н.В. Рябков, Е.Н. Козырева // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2010. – № 3. – С. 356–359.

10. Мурашев, В. И. Расчетный метод определения выбросоопасности подготовительных и очистных выработок / В. И. Мурашев, В.Л. Бульбенко, В.Г. Лопаткин // Сборник научных трудов ВостНИИ. – Кемерово, 1972. – С. 104–110.

11. Малышев, Ю. Н. Фундаментально-прикладные методы решения проблемы угольных пластов / Ю.Н. Малышев, К.Н. Трубецкой, А.Т. Айруни. – М.: ИАГН, 2000 – 519 с.

12. Плаксин, М. С. Разработка метода оценки газодинамической активности угольного пласта при проведении подготовительных выработок / М. С. Плаксин : автореферат дис. канд. техн. наук. – Кемерово, 2012. – 24 с.

13. Клишин, В. И. Проблемы безопасности и новые технологии подземной разработки угольных месторождений / В.И.Клишин, Л.В.Зворыгин, А.В. Лебедев [и др.]. – Новосибирск, 2011. – 524 с.

14. Плаксин, М. С. Гидроразрыв угольного пласта в шахтных условиях как панацея решения газовых проблем шахт (основы разработки и внедрения) / М. С. Плаксин, Р.И. Родин, А.А. Рябцев [и др.] // Уголь. – 2015. – № 2. – С. 48–50.

TO THE QUESTION OF GAS AND GAS-DYNAMIC DANGER REDUCTION DURING PREPARATION GALLERY HEADING

Plaksin M. S.

The research results in the field of monitoring and forecast of gas and gas-dynamic danger during preparation gallery heading in gassy coal seams and the reduction measures clarification are depicted.

Key words: COAL SEAM, GAS-DYNAMIC ACTIVITY, PREPARATION GALLERIES, GASSINESS, DYNAMICS, MONITORING, ELECTRONIC SYSTEM, AUTOMATED MONITORING

*Плаксин Максим Сергеевич
e-mail: plaksin@bk.ru*

УДК 622.831.2

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕННОЙ СТРУКТУРИЗАЦИИ МАССИВА В ОКРЕСТНОСТИ ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ НА ПЕРИОДИЧНОСТЬ ПУЧЕНИЙ ПОЧВЫ ПЛАСТА ПРИ ОТРАБОТКЕ СБЛИЖЕННЫХ ЛАВ

Рассмотрены особенности техногенной структуризации вмещающего массива при движении очистного забоя на основе связи нелинейных закономерностей геомеханических процессов и изменений напряжений в приконтурной части массива.

Ключевые слова: МАССИВ ГОРНЫХ ПОРОД, УГОЛЬНЫЙ ПЛАСТ, ЛАВА, ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, СТРУКТУРИЗАЦИЯ МАССИВА, ПУЧЕНИЕ ПОЧВЫ

Управление горным давлением связано с контролем деформаций вмещающего массива при ведении горных работ для обеспечения устойчивости подземных выработок. Одним из негативных следствий перераспределения горного давления при отработке выемочного столба является пучение пород почвы. Несмотря на широкую известность, актуальность этих особенностей не снижается. Продолжается совершенствование способов управления горным давлением при ведении горных работ [1–8], в том числе и для повышения устойчивости почвы, таких как: разгрузка почвы с помощью вертикальных щелей в центральной части выработок, гидроразрыв пород, анкерное крепление и полимерное упрочнение почвы и т. д. При этом рассматриваются условия нагружения массива в окрестности выработок и факторы, влияющие на прочностные свойства почвы выработок [9–12]. Уточнение закономерностей изменений горного давления и напряженного состояния пород в окрестностях выработок является одной из научно-технических задач обоснования мероприятий по предотвращению пучения почвы.

Представленные в настоящей работе результаты получены при анализе данных по пучениям почвы горных выработок, произошедшим на «Шахте «Ерунаковская VIII» при

последовательной отработке сближенных лав 48-2 и 48-3 пласта 48, представленных специалистами шахты (табл. 1). Ширина межлавного целика около 53 м. Пучения происходили в газодренажном штреке 48-3, находящемся на расстоянии 23 м от конвейерного штрека 48-2 и 25 м от вентиляционного штрека 48-3 (рис. 1).

Основная кровля пласта сложена мелкозернистым и крупнозернистым алевролитами и классифицирована как среднеобрушаемая. Непосредственная кровля сложена преимущественно алевролитом мелкозернистым, местами - крупнозернистым.

Мощность непосредственной кровли составляет 7,0–8,4 м; пласт 48 выдержанный, мощностью 1,84 – 2,65 м, распространен на всей площади горного отвода; имеет одну угольную пачку. Наиболее часто встречающийся породный прослой располагается несколько ниже середины пласта, а дополнительные прослои могут встречаться и в нижней и в верхней его частях. Прослои обычно сложены алевролитом мелкозернистым. На контакте с почвой пласта 48 залегает ложная почва в виде слоя слабого мелкозернистого алевролита, либо углистого алевролита со скоплениями обуглившихся остатков флоры мощностью от 0,05 до 0,7



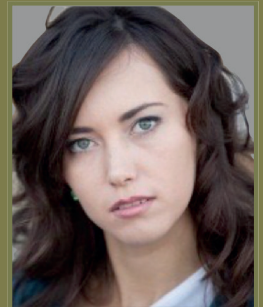
Е. Н. Козырева

канд. техн. наук, заведующий лабораторией ФГБНУ «ФИЦ УУХ СО РАН»



М. В. Шинкевич

канд. техн. наук, старший научный сотрудник ФГБНУ «ФИЦ УУХ СО РАН»



Е. В. Леонтьева

младший научный сотрудник ФГБНУ «ФИЦ УУХ СО РАН»

Таблица 1 – Параметры выемочных участков 48-2 и 48-3

Параметры	Выемочный участок	
	48-2	48-3
Длина выемочного участка, м	1400	3000
Длина лавы, м	243	320
Средняя глубина залегания пласта, м	411	240
Мощность пласта, м	2,6	2,34

м и крепостью по шкале Протодяконова до $f=2,5$. Непосредственная почва мощностью от 1,0 до 3,1 метров сложена мелкозернистыми алевролитами с $f=3-4$, в основном не склонными к пучению. В юго-восточной части выемочного столба 48-3 непосредственная почва представлена углем пласта 45, мощностью до 2,44 м с $f=1$.

В настоящей работе при рассмотрении условий отработки лав 48-2 и 48-3 использованы ранее установленные в ФИЦ УУХ СО РАН особенности формирования и развития нелинейной структуризации массива при движении очистного забоя и подготовительных выработок [13–19]. Расчетной основой является разработанная ФИЦ УУХ СО РАН параметрическая модель геомеханических процессов в массиве горных пород (рис. 2).

Массив в модели представлен в виде совокупности техногенных геомеханических слоев, формирование которых происходит от обрабатываемого пласта с учётом реализации упругой энергии массива при движении очистного забоя. Численные эксперименты показали, что влияние упругой энергии весьма значительно и в

отдельных случаях может вызывать «стреляние» забоя и разрушение угля вплоть до горных ударов. При техногенном изменении внешних условий массив снижает свой энергетический потенциал путем формирования объемных поверхностей и отторжения соответствующих масс породного массива. Тела отторжения имеют форму сводов сдвижений в виде параболоидов. Образование такой формы тел соответствует принципу затрат минимума энергии на создание новой поверхности при одноосной разгрузке. Высота сводов-параболоидов равна мощности геомеханических слоев различных уровней структурной иерархии. Размеры тел в плоскости пласта кратны длине очистного забоя.

Минимальными (критическими) размерами принимаются параметры свода (l_0 и h_0) в ближайшем к обрабатываемому пласту (критическом) геомеханическом слое:

$$l_0 = l_{oc} / 2^N, \text{ м} \quad (1)$$

где l_{oc} – длина очистного забоя, м;

l_0 – диаметр основания свода-параболоида, близкий шагу вторичного обрушения

N – максимальный (для заданных горно-геологических условий) уровень структурной

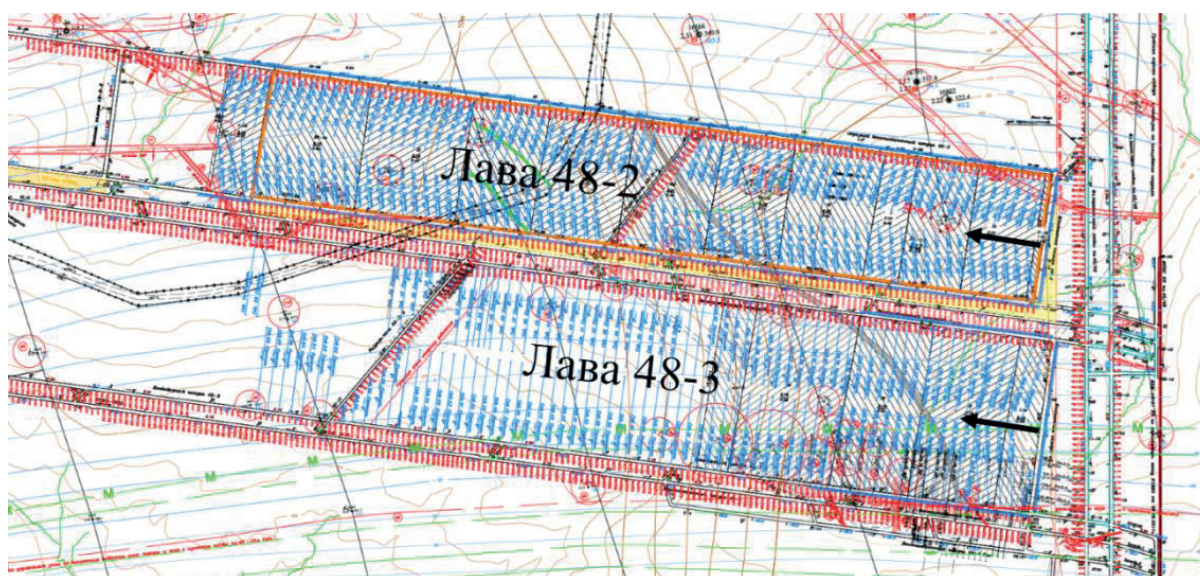


Рисунок 1 – Выкопировка из плана горных работ по пласту 48 в пределах сближенных лав 48-2 и 48-3 на «Шахте «Ерунаковская VIII»

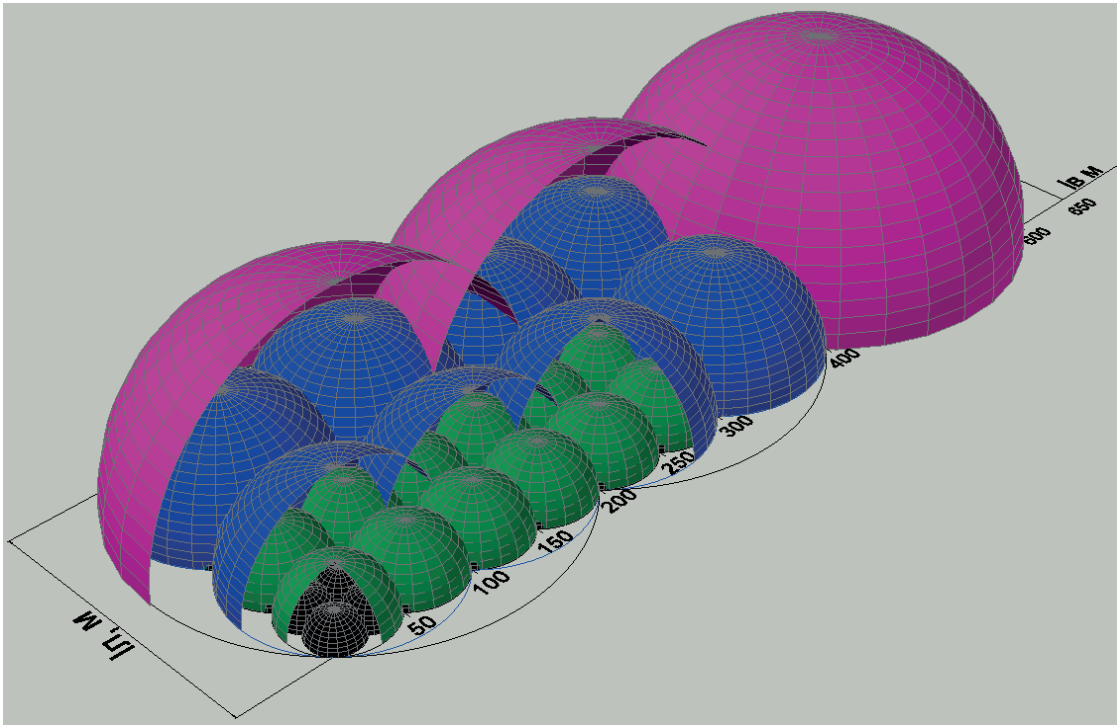


Рисунок 2 – Параметрическая модель структуризации подрабатываемого массива горных пород иерархии (принимается ближайшее целое число)

$$N = 0,693 \ln \left(\frac{l_{оч}}{r_0} \right) + 3 \quad (2)$$

здесь r_0 – шаг первичного обрушения основной кровли (определяется по известным зависимостям и уточняется по горнотехнологическим данным), м;

h_0 – высота свода-параболоида или высота критического слоя

$$h_0 = l_0 / 2, \text{ м} \quad (3)$$

Периодичность формирования сводов сдвижений в условиях равных геостатических напряжений определяется правилом удвоения мощности геомеханических слоев n -го уровня структурной иерархии (n – целое число, изменяется в пределах: $n = 1; 2; 3; \dots N$)

$$h_n = h_0 / 2^n, \text{ м} \quad (4)$$

здесь h_n – высота геомеханического слоя n -го уровня структурной иерархии без учета упругой энергии массива, м.

Доминирующим в развитии процессов в приконтурной области массива является слой мощностью $h = l_{оч} / 2$. Ему соответствует свод-параболоид с диаметром основания $D = l_{оч} \sqrt{2}$.

Таким образом, на этапе рассмотрения процесса самоорганизации однородной изотропной геосреды в поле равных напряжений при ее одноосной разгрузке массив представляется в виде совокупности геомеханических слоев, мощности которых соответствуют принципу суперпозиции с

кратностью – два.

Для повышения адекватности модели в части учета неоднородности массива и переменных по глубине от дневной поверхности напряжений модель дополнена энергетической оценкой.

Упругая энергия пород критического слоя рассчитывается по формуле

$$\mathcal{E}_0 = \frac{k^2}{6E_0} \left(H_p^3 - (H_p - 0,5l_0) \right)^3, \text{ МДж}, \quad (5)$$

где \mathcal{E}_0 – упругая энергия критического (минимального, ближайшего к отработываемому пласту) геомеханического слоя;

$k = 0,025$ – коэффициент литологического давления, МПа;

E_0 – модуль упругости пород критического слоя, МПа;

H_p – глубина залегания отработываемого пласта, м.

Распределение упругой энергии по глубине залегания слоев возрастает нелинейно. При размерах оснований сводов, однозначно связанных с длиной очистного забоя, эта нелинейность может проявляться только через высоту свода (мощность слоя, в пределах которого он формируется).

Мощность геомеханического слоя n -го уровня структурной иерархии вычисляется как

$$h_{c,n} = H_p - \sqrt[3]{H_p^3 - 6 \frac{E_n \cdot 2^n \mathcal{E}_0}{k^2}}, \text{ м}, \quad (6)$$

где E_n – средневзвешенный модуль упругости

пород геомеханического слоя n -го уровня структурной иерархии, МПа.

Согласно схеме, показанной на рисунке 3, положение фронта разгрузки в каждом слое можно описать синусоидами вида

$$h_{sin,n} = A_n [\sin(L_x(2\pi/T_n) + 0,5\pi) + h_{c,n-1}], \text{ м}, \quad (7)$$

где A_n, T_n – амплитуда и период синусоиды, м; L_x – отход забоя от монтажной камеры, м; $h_{c,n-1}$ – мощность геомеханического слоя ($n-1$)-го уровня структурной иерархии, м.

Тогда параметры синусоид непосредственно связаны с геометрическими размерами, глубиной залегания отработанной части выемочного столба и средневзвешенным модулем упругости пород в рассматриваемом слое.

Амплитуды синусоид

$$A_n = \frac{h_{c,n} - h_{c,n-1}}{2}, \text{ м}. \quad (8)$$

Периоды изменений

$$T_n = \frac{l_{оч}}{2^{N-n}}, \text{ м}. \quad (9)$$

Аналогичные процессы происходят и в надрабатываемом массиве, но особенности нелинейного изменения упругой энергии пород здесь приводят к снижению высоты сводов (мощности геомеханических слоев).

На рисунке 4 представлена горизонтальная схема геомеханической структуризации, где основания сводов n -ых уровней иерархии показаны сплошными линиями разных цветов ($n=2$ – зеленый, $n=3$ – синий, $n=4$ – розовый) для условий отработки сближенных лав. А пунктирными линиями обозначены снования сводов для условий, когда выемочный участок находится в целиках.

Первым обрабатывался столб лавы 48-2, затем лавы 48-3. После отхода лавы 48-3 от

монтажной камеры на 600 м зафиксировано пучение пород газодренажного штрека 48-3.

На рисунке 5 показан фрагмент газодренажного штрека 48-3 (обозначен цифрой 3) с нанесением пикетов (ПК), для которых выполнены зарисовки пучения пород (рис. 6). Заливка участка штрека красным цветом говорит о том, что на этих интервалах было зафиксировано полное перекрытие сечения выработки.

На рисунке 6 приведены зарисовки геодинамических явлений в газодренажном штреке с ПК 247 по ПК 253. При рассмотрении зарисовок необходимо обратить внимание на наибольшие деформации правого борта (со стороны вентиляционного штрека 48-3), что объясняется наличием справа от газодренажного штрека 48-3 выработанного пространства лавы 48-3, имеющей большую длину очистного забоя, чем лава 48-2 (см. табл. 1), обеспечившим большие деформации пород со стороны лавы 48-3.

Таким образом, апробация описанной выше параметрической модели геомеханических процессов в массиве горных пород к условиям отработки сближенных лав 48-2 и 48-3 позволила выявить особенности техногенной структуризации массива при движении очистных забоев и установить влияние структуризации на напряженное состояние пород в окрестности выработок. Установлено, что границами процесса дезинтеграции вмещающего массива с учетом реализации его упругой энергии при снижении вертикальных напряжений являются границы сводов сдвижений в виде параболических поверхностей. Однако, если прочностные свойства иерархически вложенных геомеханических слоев пород у контура выработки оказываются ниже

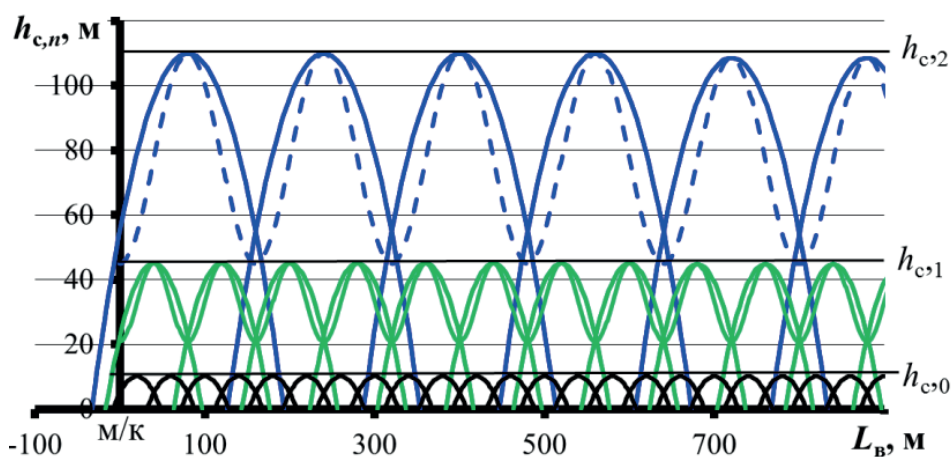


Рисунок 3 – Схема формирования сводов разгрузки в геомеханических слоях мощностью $h_{c,n}$ при отходе лавы от монтажной камеры L_B : $h_{c,0}$ – мощность критического слоя; $h_{c,1}, h_{c,2}$ – мощность слоев 1 и 2-го уровней иерархии, соответственно; м/к – монтажная камера

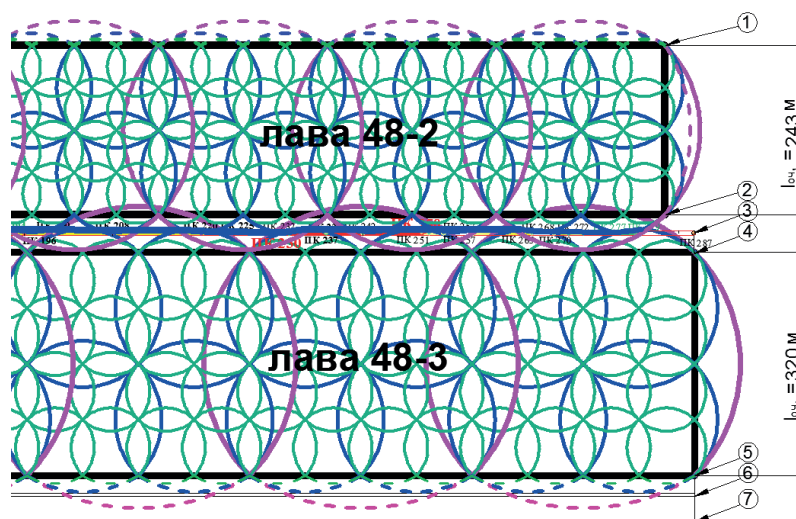


Рисунок 4 – Горизонтальная схема геомеханической структуризации вмещающего массива при отработке сближенных лав 48-2 и 48-3: 1 - вентиляционный штрек 48-2; 2 - конвейерный штрек 48-2; 3 - газодренажный штрек 48-3; 4 - вентиляционный штрек 48-3; 5 - конвейерный штрек 48-3; 6 - вентиляционный штрек 48-4; 7 - конвейерный штрек 48-4

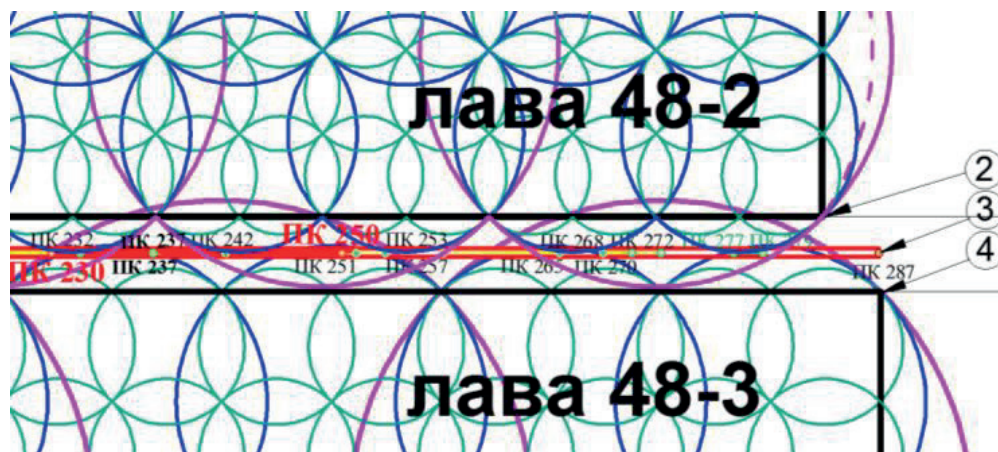


Рисунок 5 – Фрагмент схемы, показанной на рисунке 4:
2 - конвейерный штрек 48-2; 3 - газодренажный штрек 48-3; 4 - вентиляционный штрек 48-3

опорного давления свода, в подрабатываемом массиве дезинтеграционный процесс продолжается. Тем более эта особенность находит свое отражение во взаимодействии сводов сдвижения соседних лав при отработке длинных столбов.

Газодренажный штрек 48-3 расположен на расстоянии 23 м от конвейерного штрека 48-2 и 25 м от вентиляционного штрека 48-3. Как видно на схеме (рис. 4 и 5), именно в середине межлавого целика происходит пересечение оснований сводов (уровень иерархии $n=3$ (синий цвет)), размеры которых соответствуют половине длине очистного забоя. В результате подрезки опор сводов возникает интеграция формирующихся сводов сближенных лав 48-2 и 48-3, что приводит к повышенному горному давлению на интервалах этой интеграции, и в результате – пучению почвы и выдавливанию борта газодренажного

штрека 48-3.

Причем наиболее сложная ситуация (с полным перекрытием сечения выработки) возникла при отходе от монтажной камеры лавы 48-3 на расстояние, когда полностью сформировался свод лавы, диаметр основания которого равен длине очистного забоя. Однако со стороны вышележащей лавы это расстояние соответствует началу объединения 2-х сводов лавы 48-2. Таким образом, интеграция сводов сдвижения сближенных лав привела к тому, что напряжения в породах, окружающих выработку достигли величины, которая превысила их механические характеристики, в результате чего, при неизменной несущей способности целика, породы почвы и бортов газодренажного штрека 48-3 подверглись наибольшим деформациям с выдавливанием их в выработку.

Отметим еще один важный момент, свя-

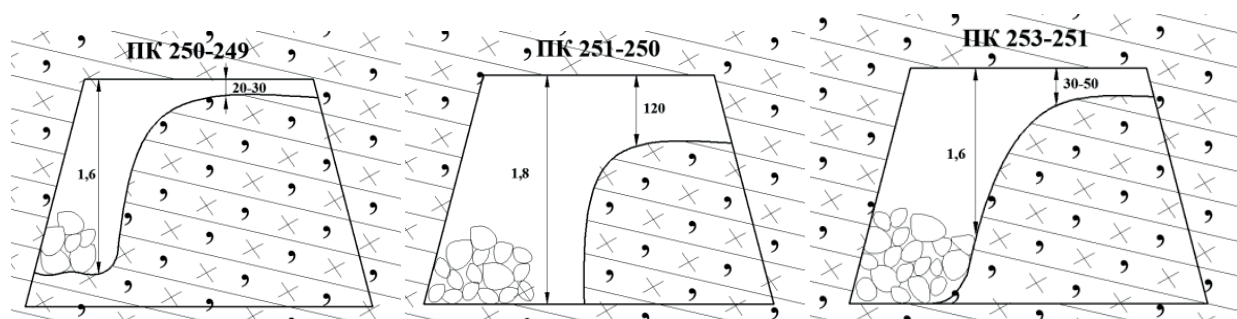


Рисунок 6 – Схемы (зарисовки) выдавливания пород в газодренажном штреке 48-3

занный с газовой составляющей массива. Интеграция сводов сдвижений соседних лав 48-3 и 48-2 привела к объединению их выработанных пространств и перетоку газа из пространства ранее отработанного выемочного участка в действующий очистной забой, создавая при этом превышение допустимой концентрации метана в исходящей струе воздуха из очистного забоя, дополнительную нагрузку на систему вентиляции, что требует дополнительных мер по снижению газовой опасности.

Из анализа вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

Разработанная параметрическая модель геомеханических процессов в массиве горных пород позволяет определить интервалы по площади выемочного столба и длине выработок, потенциально опасные с точки зрения повышенного напряженного состояния пород.

Проведение газодренажного штрека 48-3 в месте, не попадающем на пересечение конту-

ров сводов, позволило бы избежать пучений почвы. Следовательно, на стадии проектирования параметров выемочных участков необходимо руководствоваться правилами интеграции сводов сближенных лав, избегая проведения оконтурирующих выработок в местах пересечений сводов.

При проектировании параметров выемочных участков необходимо исключить интеграцию сводов сдвижений сближенных лав, или свести ее к минимуму, что достигается корректировкой длин очистных забоев или мест заложения монтажных и демонтажных камер.

Размер межлавных целиков необходимо определять с учетом формирования сводов сдвижений при отработке соседних выемочных столбов, используя нормативный документ [20] с уточнением согласно схеме геомеханической структуризации, величин воздействующего на них горного давления.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хеллан, К. Введение в механику разрушения / К. Хеллан: Пер. с англ. – М.: Мир, 1988. – 364 с.
2. Джевецки, Я. Новые методы предотвращения опасности горных ударов / Я. Джевецки. – 2002. – № 2(3). – С. 18–21.
3. Якоби, О. Практика управления горным давлением / О. Якоби: Пер. с нем. – М.: Недра, 1987. – 566 с.
4. Бенявски, З. Управление горным давлением / З. Бенявски: Пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 254 с.
5. Артемьев, В. Б. Динамические формы проявлений горного давления / В. Б. Артемьев, Г. И. Коршунов, А. К. Логинов, В. М. Шик. – СПб: Наука, 2009. – 347 с.
6. Лыткин, В. А. Механизм пучения пород в подземных выработках / В. А. Лыткин. – М.: Наука, 1965. – 205 с.
7. Черданцев, Н. В. Геомеханический подход к обоснованию рационального проведения выработок в массиве осадочных пород и повышению безопасности работ / Н.В. Черданцев, В.Т. Преслер // Безопасность труда в промышленности. - 2010. - № 5.- С. 13 -17.
8. Черданцев, Н. В. Сравнение нарушенности анизотропного и изотропного массивов горных пород в окрестности выработок / Н. В. Черданцев, В. Т. Преслер, В. Ю. Изаксон // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2008. – № 8. – С. 72–78.
9. Клишин, В. И. Совершенствование геотехнологий и способов управления состоянием массива горных пород на основе их гидроразрыва / В.И. Клишин, М.В. Курленя, М.В. Писаренко // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – № 6. – С. 23–35.
10. Инструкция по выбору способа и параметров разупрочнения кровли на выемочных участках. - Л.: ВНИМИ, 1991. - 102 с.

11. Чернов, О. И. Гидродинамическая стратификация монолитных пород в качестве способа управления труднообрушаемой кровли / О. И. Чернов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 1982. – № 2. – С. 18–22.
12. Чернов, О.И. О флюидоразрыве породных массивов / О. И.Чернов, Н. Г. Кю // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 1988. – № 6. – С. 81–92.
13. Полевщиков, Г. Я. Фрактальная особенность структуризации массива горных пород в изменениях давления на призабойную часть угольного пласта обрабатываемого длинным очистным забоем / Г. Я. Полевщиков, М. В. Шинкевич, Е. В. Леонтьева, А. А. Черепов // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2012. – № 3. – С. 16–23.
14. Козырева, Е.Н. Динамика геомеханических процессов в призабойной части массива при движении длинного очистного забоя / Е.Н. Козырева, М.В. Шинкевич, Н.В. Рябков // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2010. – № 3. – С. 356–359.
15. Козырева, Е.Н. Газокинетические следствия нелинейных геомеханических процессов в массиве горных пород на шахтах Кузбасса / Е.Н. Козырева, М.В. Шинкевич, Р.И. Родин // Нелинейные геомеханико-геодинамические процессы при отработке месторождений полезных ископаемых на больших глубинах: Труды 2-ой Российско-Китайской науч. конф., 2012. – С. 267–272.
16. Полевщиков, Г.Я. Влияние процессов разгрузки и сдвижений вмещающих пород на выделение метана из разрабатываемого пласта / Г. Я. Полевщиков, М. В. Шинкевич, Е. Н. Козырева, О.В. Брюзгина // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2008. – № 2. – С. 139–143.
17. Полевщиков Г. Я. «Деформационно-волновые» процессы в массиве горных пород при движении очистного забоя в угольных пластах / Г. Я. Полевщиков // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2013. – № 5. – С. 50–60.
18. Полевщиков, Г. Я. Газодинамические следствия зональной дезинтеграции массива при проведении подготовительной выработки / Г. Я. Полевщиков, М. С. Плаксин // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2011. – № 5. – С. 3–7.
19. Полевщиков, Г. Я. Нелинейные изменения метанообильности высокопроизводительного выемочного участка / Г. Я. Полевщиков, Е. Н. Козырева, М. В. Шинкевич // Безопасность труда в промышленности. – 2014. – № 6. – С. 50–54.
20. РД 05-328-99. Инструкция по безопасному ведению горных работ на шахтах, разрабатывающих угольные пласты, склонные к горным ударам / Утверждена постановлением Госгортехнадзора России от 29.11.99 № 87. Вводится в действие с 01.10.2000 постановлением Госгортехнадзора России от 22.06.2000 № 36.

MASSIF TECHNOGENIC
STRUCTURIZATION INFLUENCE AROUND THE
EXTRACTION FACE ON THE SEAM FLOOR
HEAVING WHEN WORKING CLOSE LONGWALLS

Kozyreva E. N., Shinkevich M. V., Leontieva E. V.

Containing massif technogenic structurization peculiarities with the extraction face advance are reviewed basing on non-linear regularity connection of geomechanic processes and stress changes in the close area of massif.

Key words: ROCK MASSIF, COAL SEAM, LONGWALL, GEOMECHANIC PROCESSES, MASSIF STRUCTURIZATION, FLOOR HEAVING

*Козырева Елена Николаевна
e-mail: gas_coal@icc.kemsc.ru*

*Шинкевич Максим Валериевич
e-mail: gas_coal@icc.kemsc.ru*

*Леонтьева Елена Владимировна
e-mail: gas_coal@icc.kemsc.ru*



А. И. Фомин

д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник отдела подготовки и аттестации научных кадров АО «НЦ ВостНИИ»



Д. А. Бесперстов
аспирант ФГБОУ ВО «КемТИПП»



В. Б. Попов

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

II. ПОЖАРНАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ FIRE AND INDUSTRIAL SAFETY

УДК 31+614.841.315

ОЦЕНКА УРОВНЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА УГОЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ С УЧЕТОМ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА

Изложена методика качественной оценки обеспечения пожарной безопасности на угольных предприятиях. Количественные характеристики объектов и их опасностей, связанных с пожарами, приведены в относительных качественных показателях. Введено понятие возможных (потенциальных) рисков возникновения пожаров и гибели (травмирования) людей на них. Приведено описание разрабатываемых противопожарных мероприятий.

Ключевые слова: ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ, ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЖАРОБЕЗОПАСНОСТИ, УГЛЕДОБЫВАЮЩИЕ И УГЛЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИЕ ПРЕДПРИЯТИЯ, РИСКИ В ОБЛАСТИ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ, ОЦЕНКА КАЧЕСТВА, ХАРАКТЕРИСТИКИ ОПАСНОСТИ, УРОВЕНЬ БЕЗОПАСНОСТИ, СИСТЕМЫ И МЕРОПРИЯТИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Согласно сведениям Федерального агентства по статистике Российской Федерации наблюдается прирост населения в России. По сведениям МЧС России за последние 5 лет также наблюдается снижение количества гибели людей при пожарах и, как следствие, происходит ежегодное снижение фактического риска гибели людей (табл. 1).

Несмотря на ежегодное снижение количества пожаров и гибели людей на них, фактическое значение индивидуального пожарного риска в Российской Федерации превышает нормативное значение в 70 раз, что указывает на необходимость принятия новых исчерпывающих подходов к системам обеспечения пожарной безопасности, положительно влияющих на безопасность людей.

Для Кузбасса наиболее актуальна безопасность людей и имущества на предприятиях угольной промышленности, являющейся основополагающей отраслью в Кемеровской области.

Благодаря выполнению комплекса организационно-технических мероприятий угольными предприятиями достигнут надлежащий уровень обеспечения пожарной безопасности поверхностных зданий и сооружений.

Несмотря на низкие фактические показатели рисков возникновения пожаров и гибели (травмирования) людей на них, остается актуальным вопрос возможных пожарных рисков по причине низких показателей соответствия объектов угольной промышленности Кузбасса. Так всего около 50 % зданий и сооружений угольных предприятий соответствуют установленным требованиям в области пожарной безопасности [1].

В целях достижения необходимого уровня безопасности людей и имущества на угольных предприятиях при пожарах необходимо:

1. Выработать оценку на основе риск-ориентированного подхода. В данной оценке необходимо учесть влияние мероприятий в области пожарной безопасности на системы обеспечения пожарной безопасности

В целях достижения необходимого уровня безопасности людей и имущества на угольных предприятиях при пожарах необходимо:

1. Выработать оценку на основе риск-ориентированного подхода. В данной оценке необходимо учесть влияние мероприятий в области пожарной безопасности на системы обеспечения пожарной безопасности

Таблица 1 – Демографические показатели населения в Российской Федерации, количество пожаров и гибели людей от них, фактический риск гибели людей при пожарах

Показатель \ Период, год	2010	2011	2012	2013	2014
Население РФ, тыс. чел	142865	143056	143347	143666	146270
Количество пожаров, тыс. шт.	179	168	162	153	153
Количество гибели, тыс. чел.	12,983	12,028	11,635	10,560	10,253
Фактический риск гибели при пожаре	$9,1 \cdot 10^{-5}$	$8,4 \cdot 10^{-5}$	$8,1 \cdot 10^{-5}$	$7,4 \cdot 10^{-5}$	$7 \cdot 10^{-5}$

сти, которые, в свою очередь, воздействуют на фактические значения индивидуальных пожарных рисков.

2. Разработать методику достижения необходимого уровня безопасности людей и имущества при пожарах на угольных предприятиях с учетом выработанной оценки. В данной методике должна быть показана связь и влияние мероприятий в области обеспечения пожарной безопасности на значение риска возникновения пожаров и гибели (травмирования) людей на них. Методика должна позволить выработать адресные противопожарные мероприятия.

Порядок реализации методики по достижению необходимого уровня безопасности объектов и людей при пожарах, для наглядности можно представить в виде следующей схемы:

Требованиями (мероприятиями) пожарной безопасности являются специальные условия социального и (или) технического характера,

установленные в целях обеспечения пожарной безопасности законодательством Российской Федерации, нормативными документами или уполномоченным государственным органом [2].

Система обеспечения пожарной безопасности объекта защиты включает в себя систему предотвращения пожара, систему противопожарной защиты, комплекс организационно-технических мероприятий по обеспечению пожарной безопасности. Для различных систем обеспечения пожарной безопасности применимы соответствующие требования пожарной безопасности [3, 4].

Система предотвращения пожара влияет на риск возникновения пожара ($R_{п}$), а система противопожарной защиты влияет на риск гибели (травмирования) людей ($R_{г}$) от опасных факторов пожара. В свою очередь, комплекс организационно-технических мероприятий по обеспечению пожарной безопасности влияет как на



Схема 1 – Реализация методики по достижению необходимого уровня безопасности людей при пожарах

риск возникновения пожара, так и на риск гибели (травмирования) людей при пожаре.

Под риском R понимается количественная характеристика опасности, определяемая частотой реализации опасностей. Это отношение числа неблагоприятных последствий (количество пожаров на объектах защиты, гибели или травмирования людей), вызванных действием на человека конкретной опасности (N , шт., чел.), к их возможному числу (количество объектов, людей) за определённый период (Q , шт., чел.) [5].

С учетом общих понятий, можно выделить возможный (потенциальный) риск возникновения пожара и гибели (травмирования) людей для наземных зданий и сооружений угледобывающих и углеперерабатывающих предприятий.

Возможный (потенциальный) риск возникновения пожара $R_{n \text{ потенци}}$ и гибели людей $R_{г \text{ потенци}}$ представлен следующим образом:

$$R_{n \text{ потенци}} = \frac{N_{онн}}{Q_o} \quad (1)$$

где $N_{онн}$ – количество объектов, с отсутствующей (не исправной) системой предотвращения пожаров и (или) комплексом организационно-технические мероприятия, шт;

Q_o – количество объектов, шт.

$$R_{г \text{ потенци}} = \frac{N_{лнз}}{Q_{л}} \quad (2)$$

где $N_{лнз}$ – количество людей на объектах, с отсутствующей (не исправной) системой противопожарной защиты и (или) комплексом организационно-технические мероприятия, шт;

$Q_{л}$ – общее количество людей на объектах, чел.

Вместе с этим, риск – сочетание вероятности и последствий наступления неблагоприятных событий. Знание вероятности неблагоприятного события позволяет определить вероятность благоприятных событий по формуле $P+ = 1 - P-$. В свою очередь, вероятность – степень (относительная мера, количественная оценка) возможности наступления некоторого события.

В теории вероятностей и математической статистике понятие вероятности формализуется как числовая характеристика события – вероятностная мера (или её значение) – мера на множестве событий (подмножеств множества элементарных событий), принимающая значения от 0 до 1. Значение 1 соответствует достоверному событию. Невозможное событие имеет вероятность 0. Если вероятность наступления события равна p , то вероятность его ненаступления равна $1 - p$ [6].

Для определения вероятности ненаступления определенного события, в нашем случае невозникновения пожара или недопущения

гибели (травмирования) людей, введем понятие уровня безопасности (K).

Уровень безопасности, по мероприятиям, направленным на предупреждение возникновения пожара, принимает значения от 1 до 0, где 1 – уровень пожарной безопасности объекта соответствует предъявляемым требованиям.

Уровень безопасности по мероприятиям, направленным на предупреждение гибели (травмирования) людей при пожарах, принимает значения от 0,999999 до 0, где 0,999999 – уровень пожарной безопасности людей соответствует предъявляемым требованиям.

Значение уровня обеспечения пожарной безопасности людей отличается от объекта, так как допустимое нормативное значение риска гибели людей составляет 10^{-6} год⁻¹ [3].

С учетом вышеизложенного можно сделать следующие выводы по оценке соответствия объекта требованиям пожарной безопасности:

При условии $R_{n \text{ потенци}} = 0$ – мероприятия по обеспечению пожарной безопасности выполняются в полном объеме. Если $R_{n \text{ потенци}} > 0$ – мероприятия по обеспечению пожарной безопасности не выполняются, имеющиеся нарушения требований пожарной безопасности отрицательно влияют на противопожарное состояние объекта.

В свою очередь, при условии

$10^{-6} > R_{г \text{ потенци}}$ – мероприятия по обеспечению пожарной безопасности людей выполняются, имеющиеся нарушения требований пожарной безопасности влияют на безопасность людей на приемлемом уровне. В случае если $10^{-6} < R_{г \text{ потенци}}$ – мероприятия по обеспечению пожарной безопасности людей не выполняются, имеющиеся нарушения требований пожарной безопасности отрицательно влияют на безопасность людей.

С учетом вышеизложенного, ранее представленную схему 1 можно представить в следующем виде (схема 2):

Как мы видим, методика, приведенная в статье, позволила связать противопожарные мероприятия (систему обеспечения пожарной безопасности) с возможным риском возникновения пожара и гибели (травмирования) людей.

Применение данной методики оценки уровня пожарной безопасности на угольных предприятиях возможно не только для собственников, но и для органов, осуществляющих оценку соответствия объекта установленным требованиям пожарной безопасности, в том числе для органов государственного пожарного надзора. Для данных структур появилась возможность

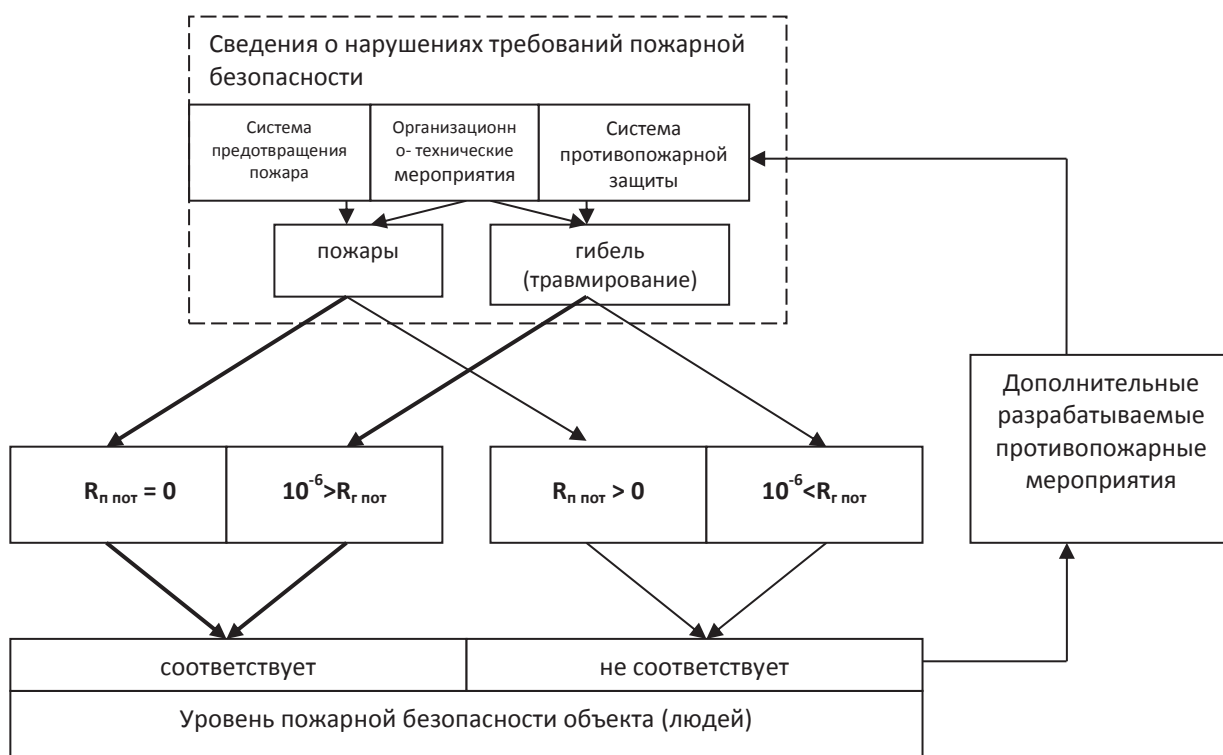


Схема 2 – Реализация необходимого уровня пожарной безопасности с учетом потенциального риска возникновения пожара, гибели (травмирования) людей на нем.

планирования проверок объектов с учетом возможных (потенциальных) рисков возникновения пожаров и гибели людей, с последующей оценкой своих действий в отношении данных объектов.

Данная методика проста в применении, в ней отсутствуют сложные математические расчеты, требуется минимальное количество необходимых данных.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Оценка пожаробезопасности и обеспечение средствами спасения при возникновении пожаров на угледобывающих и углеперерабатывающих предприятиях Кемеровской области / Фомин А. И., Бесперстов Д. А. // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности – 2015. – №1. – С.24-29.
2. Российская Федерация. Законы. Федеральный закон от 21.12.1994 № 69-ФЗ «О пожарной безопасности» (с изм. и доп., вступ. в силу с 13.07.2013). – М: Сборник законодательства РФ. – 1994. – № 35 – ч.1. – ст. 3649
3. Российская Федерация. Законы. Федеральный закон РФ от 22.07.08г. (ред. от 23.06.2014) № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»: федер. закон: [принят Гос. Думой 22.07.08 (с изм. и доп., вступ. в силу с 13.07.2014)]. – М: Сборник законодательства РФ. – 2008. – N 30 – ч.1.– ст. 3579.
4. Российская Федерация. Законы. Постановление Правительства РФ от 25.04.2012 № 390 «О противопожарном режиме» (с изм. и доп., вступ. в силу с 13.07.2015). – М: Сборник законодательства РФ. – 2012. – № 19 – ч.1.– ст. 2415.
5. ГОСТ Р 51901 – 2002. Управление надежностью. Анализ риска технологических систем. М.: Госстандарт России, 2002.
6. Гнеденко Б. В. Курс теории вероятности / Гнеденко Б. В. - М.: Едиториал УРСС, 2005.— 448 с.

COAL ENTERPRISES FIRE SAFETY EVALUATION WITH AN ACCOUNT OF RISK-AIMED APPROACH

Fomin A. I., Besperstov D. A., Popov V. B.

Methods of coal mines fire safety qualitative evaluation is described. The quantitative characteristics of the objects and their fire associated hazards are presented by relative quality indicators. The concept of possible (potential) of fire and death (injury) risk to people at them is introduced. Description of fire prevention measures under development are given

Key words: FIRE SAFETY, FIRE SAFETY PROVISION, SOAL MAKING AND COAL WASHING ENTERPRISES, FIRE SAFETY SPHERE RISKS, QUALITY EVALUATION, HAZARD CHARACTERISTICS, SAFETY LEVEL, SYSTEMS AND MEASURES FOR FIRE SAFETY PROVISIO

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

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

Попов Валерий Борисович



НИИ ГОРНОСПАСАТЕЛЬНОГО ДЕЛА

*Безопасность горняков
- наша работа*

Научное обеспечение аварийно-спасательных работ в угольных шахтах

Экспертиза промышленной безопасности

Научное обеспечение и экспертиза предупреждения, локализации и тушения эндогенных пожаров

Аэрологическая съемка рудничной и промышленной атмосферы

Радоновая съемка атмосферы, промышленных, социальных и жилых помещений

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

УДК 622.83+004.942

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЗАДАЧЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ВЕДЕНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ

Изложена методика проведения компьютерного моделирования динамических процессов разрушения горных пород в окрестности очистного забоя с учетом деструктивных накоплений в углепородном массиве, основанная на использовании различных состояний секции механизированной крепи и ее воздействия на боковые породы, что позволяет прогнозировать и своевременно принимать управленческие решения для обеспечения безопасности ведения горных работ.

Ключевые слова: УГЛЕПОРОДНЫЙ МАССИВ, ПРОГНОЗИРОВАНИЕ, ОЦЕНКА НДС ШАХТНЫХ ПОЛЕЙ, ГЕОДИНАМИКА, ГЕОИНФОРМАТИКА, БЕЗОПАСНОСТЬ

Современные условия ведения горных работ характеризуются высокими нагрузками на очистной забой, достигающими в отдельных случаях до 30-40 тыс. тонн в сутки. Скорость подвигания очистных забоев достигает 250-300 м/мес., что в разы превышает темпы ведения горных работ, существовавшие 10-20 лет назад [1]. В связи с резким увеличением нагрузки на очистной забой и скорости его подвигания, значительно усложнилась задача управления горным давлением и борьбы с газом. Увеличилась аварийность. Аварийные ситуации при ведении очистных работ все чаще приобретают характер катастрофических, трудно прогнозируемых и трудноклассифицируемых, особенно аварии, связанные с геодинамическими явлениями, когда к процессу разрушения на больших площадях шахтного поля присоединяются выбросы, взрывы газа и пыли [2].

Практика ведения горных работ показывает, что существующие методики не позволяют достоверно оценить влияние периодичности обрушения пород кровли на интенсивность отжима угля и степень разрушения пород кровли над верхним перекрытием секции механизированной крепи в движущемся очистном забое, что не обеспечивает одновременно стабильность высоких нагрузок на комплексно-механизирован-

ный забой и безопасность ведения горных работ.

Задача выбора и обоснования технологии выемки угля и горношахтного оборудования с целью обеспечения стабильной и безопасной высокопроизводительной работы комплексно-механизированных забоев может быть решена на основе компьютерного моделирования и прогнозирования динамики состояния углепородного массива. Решение такого рода задач возможно основываясь на принципы имитационного моделирования [3], с привлечением метода конечных элементов [4].

Большинство задач геомеханики, решаемых с помощью метода конечных элементов, связаны с анизотропными средами. При расчете нагрузок, действующих на механизированную крепь, имеем сложную систему, состоящую из анизотропного углепородного массива, выработанного пространства и секции механизированной крепи. Принципиальным отличием этой системы является изменение ее геометрических и механических параметров во времени и в пространстве. В этих условиях применение метода конечных элементов и изменении параметров окружающей среды и положения механизированной крепи требует постоянного изменения формы, размеров и деформационных свойств материала конечных элементов.



Ю. А. Степанов

канд. техн. наук, доцент
Новокузнецкого института (филиала)
ФГБОУ ВПО «КемГУ»

Излагаемая методика отличается от имеющихся, прежде всего тем, что нагружение крепи производится не с помощью набора типовых статических или динамических воздействий, а моделированием реальной нагрузки, возникающей в процессе выемки угля механизированным комплексом, что является развитием классического метода конечных элементов.

Процесс компьютерного моделирования напряженно-деформированного состояния углепородного массива в окрестности очистного забоя с учетом его циклического движения по длине выемочного столба условно распадается на ряд этапов.

На первом этапе решается упругая задача статического состояния системы «углепородный массив – механизированная крепь» и определяются напряжения в каждом конечном элементе пород и элементах крепи. По паспорту прочности проверяется состояние пород и металла в этих элементах, и запоминаются новые деформационные и механические характеристики.

На следующем этапе производится нагрузка породы от давления гидростоек, т.е. проводится второй этап расчета на ПЭВМ методом конечных элементов незакрепленной кровли с учетом предыдущего этапа и состояния пород. После этого этапа определяется состояние боковых пород и металла в конечных элементах и формируется зона разрушения пород кровли и элементов крепи.

На третьем этапе проводится нагружение породы после передвижки секции крепи. Напряженно – деформированное состояние конечных элементов, где порода находится в дискретном состоянии, рассматривается с позиции текущей среды. Если горное давление со стороны кровли превышает распор крепи или впереди крепи преобладает зона сыпучего материала, которая определяется путем сравнения по паспорту прочности в каждом конечном элементе, то впереди забоя формируется зона отжима и купол. По результатам третьего этапного расчета проводится оценка режимов нагружения, т.е. величины распора, разгрузки и определяется оптимальный режим передвижки крепи с начальным распором.

Для проведения вычислительных экспериментов разработана компьютерная модель идентификации геомеханического взаимодействия механизированной крепи с углепородным массивом, позволяющая осуществлять количественное прогнозирование напряженно-деформированного состояния (НДС) углепородного массива при циклическом воздействии на него

секций механизированной крепи. Учитывая сложный механизм взаимодействия в системе "механизированная крепь - углепородный массив" был выбран экспериментально-аналитический метод, сущность которого состоит в решении системы дифференциальных уравнений механики горных пород методом конечных элементов. Поскольку боковые породы очистного забоя испытывают знакопеременную нагрузку в результате циклического движения секции механизированной крепи, адаптация модуля решения была направлена, на использования алгоритма накопления деструктивных изменений в породах, напряжения в которых превысили порог их прочности.

Совершенно очевидно, что любая модель может только приближенно отображать свойства моделируемого объекта и протекающие в нем процессы. Для обеспечения требуемой адекватности модели и повышения точности результатов моделирования модель (алгоритм ее работы) необходимо настраивать. В данной работе для настройки алгоритма использовали результаты натуральных измерений конвергенции основания и перекрытия секций механизированных крепей. Для повышения достоверности результаты натуральных измерений подвергали предварительной обработке: осуществляли визуальный анализ данных, отфильтровывали выбросы, производили расчет необходимых статистик. Технология настройки алгоритма состояла в использовании итеративной процедуры корректировки параметров алгоритма на основе отклонений расчетных смещений горных пород в окрестности очистного забоя от предварительно обработанных фактических. Настройка коэффициентов этих моделей производилась с помощью компьютерной программы, реализующей поисковый численный метод, известный в литературе как метод симплексного планирования экспериментов. Тестирование программ проводилось для выемочных участков пологих пластов, обрабатываемых длинными комплексными механизированными забоями в условиях шахт южного Кузбасса.

Для реализации компьютерного моделирования процесса выемки угля в движущемся комплексно-механизированном забое был разработан метод расчета параметров нестационарного состояния углепородного массива в окрестности очистного забоя. Алгоритм методики прогноза параметров геомеханического взаимодействия механизированных крепей с углепородным массивом на базе программно-технического комплекса представлен на рисунке 1.

Прогнозирование НДС предложено осу-

ществлять с помощью пошаговой процедуры на основе имитационного моделирования процесса взаимодействия угледобывающего комплекса. При реализации компьютерных экспериментов секция механизированной крепи очистного забоя перемещалась до исследуемого положения с шагом передвижки. Каждый цикл состоял из трех тактов, каждый из которых имитировал состояния, реализуемые программными средствами: секция механизированной крепи у поверхности забоя, давление в гидро-стойках крепи – рабочее, происходит снятие угольной полосы; секция механизированной крепи – на расстоянии снятой полосы, давление

в гидростойках крепи – рабочее, производится изменение длины консоли зависания пород непосредственной кровли; секция механизированной крепи – на расстоянии снятой полосы, давление в гидростойках крепи – пониженное, осуществляется передвижение секции механизированной крепи к поверхности очистного забоя.

В качестве интегрального показателя механических свойств пород принимался коэффициент крепости по Протодюжинову. Кроме него при проведении расчетов использовали модуль упругости, коэффициент Пуассона, отношение остаточной прочности к исходной.

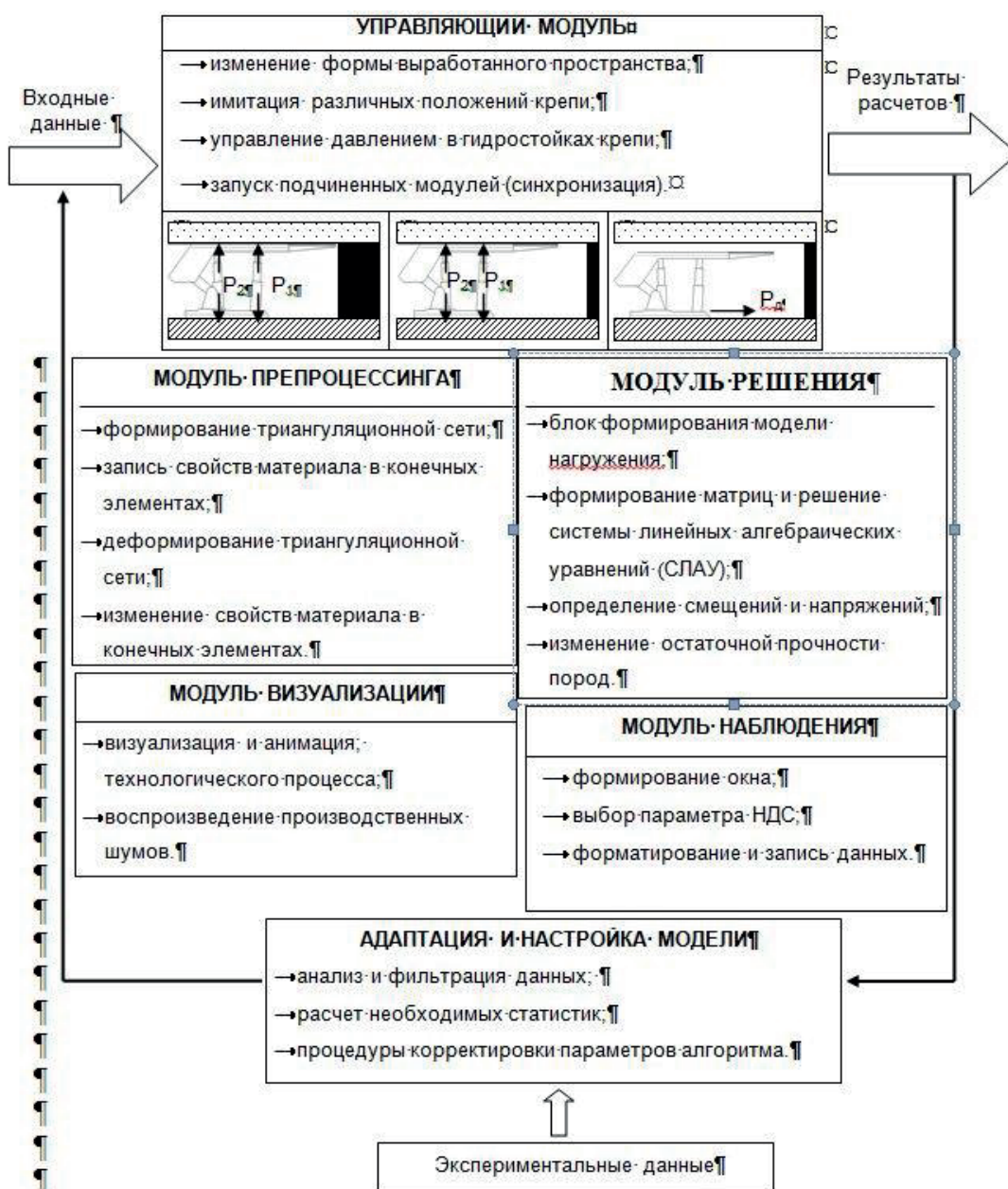


Рисунок 1 - Методика компьютерного моделирования параметров напряженно-деформированного состояния угледобывающего комплекса в окрестности очистного забоя на базе программно-технического комплекса

Блок решения позволяет учитывать предысторию при передвижке секции механизированной крепи на основе модели изменения прочностных характеристик материала в конечных элементах, напряжения в которых превысили порог прочности их материала.

Продуктивность разработки прикладного программного обеспечения и проведения вычислительных экспериментов была достигнута использованием методологии расширяемости программ, объектно-ориентированного программирования и моделирования, а также за счет распараллеливания процессов расчета и визуализации данных.

На основе разработанной математической модели и реализации специализированного программного обеспечения с использованием метода конечных элементов был проведен ряд исследований. Известно, что интенсивность и характер проявления установленных закономерностей сильно зависят от геомеханических свойств угольного пласта и условий взаимодействия его с боковыми породами, а также от глубины разработки как фактора, влияющего на напряженно-деформированное состояние углепородного массива.

По мере деформирования краевой части пласта и ее выдавливания в сторону выработки, происходят сдвиги слоев пласта угля по поверхностям природной трещиноватости, имеющейся в пласте [5]. Деформирование краевой части пласта вызывается также мгновенными обрушениями части боковых пород (главным образом кровли), происходящими в результате образования трещин среза при изгибе песчаников и других пород на уровне кромки пласта. Такие заколы образуются чаще всего впереди комбай-

на или врубовой машины. При этом расстояние по простиранию между заколами равно, как правило, ширине захвата машины. На рисунке 2 представлено изменение зоны разрушенных пород при движении забоя с учетом прогрессирующего снижения устойчивости пород кровли при циклическом воздействии на них секций механизированной крепи и изменения параметров горного давления.

Известно, что в результате периодического взаимодействия крепи с кровлей происходит многократное знакопеременное смещение слоев кровли, что приводит к расслаиванию пород и снижению их естественной несущей способности [6]. Характер развития процесса разрушения пород кровли зависит от величины начального распора гидростоек крепи.

Существенное влияние на части пласта угля может оказать динамическое приложение нагрузки на пласт, вызываемое скольжением слоев боковых пород по контактам при их изгибе в районе очистного забоя. Увеличение величины коэффициента трения пород будет приводить к интенсивному характеру скольжения. При скольжении породных слоев основное воздействие на угольный пласт окажет мгновенное сдвигание нижнего слоя кровли в сторону выработанного пространства, которое может вызвать разрушение угля на контакте и обрушение краевой части с последующим разрушением угля в глубине массива [7]. Это подтверждают исследования, проведенные на шахте «Алардинская» из которых следует, что максимальные концентрации напряжений с учетом циклического движения очистного забоя наблюдаются в середине угольного пласта на расстоянии 3-4 метров от поверхности забоя (рис. 3).

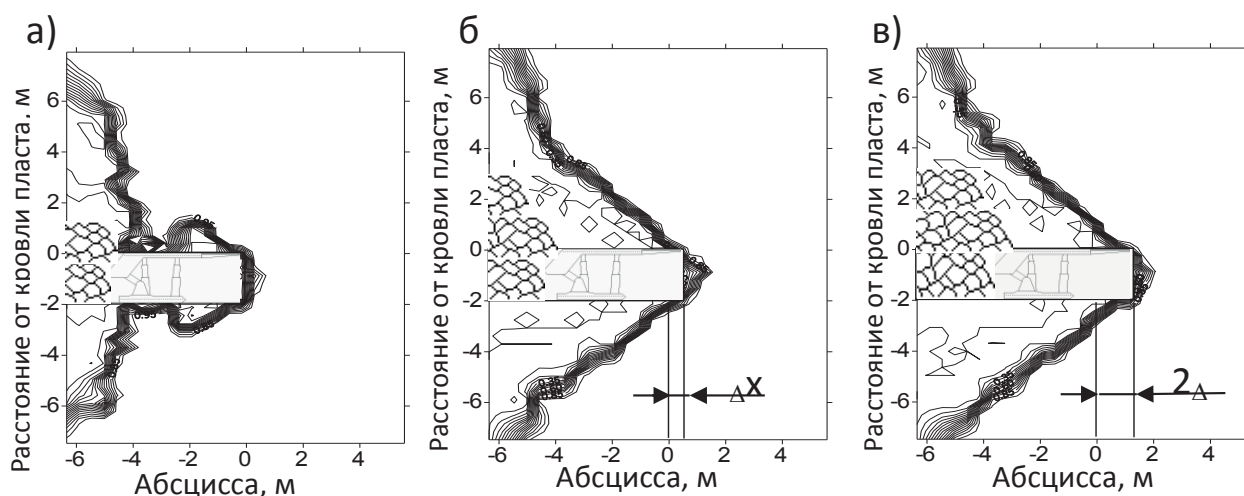


Рисунок 2 – Результаты моделирования деструктивных изменений состояния горных пород при движении очистного забоя

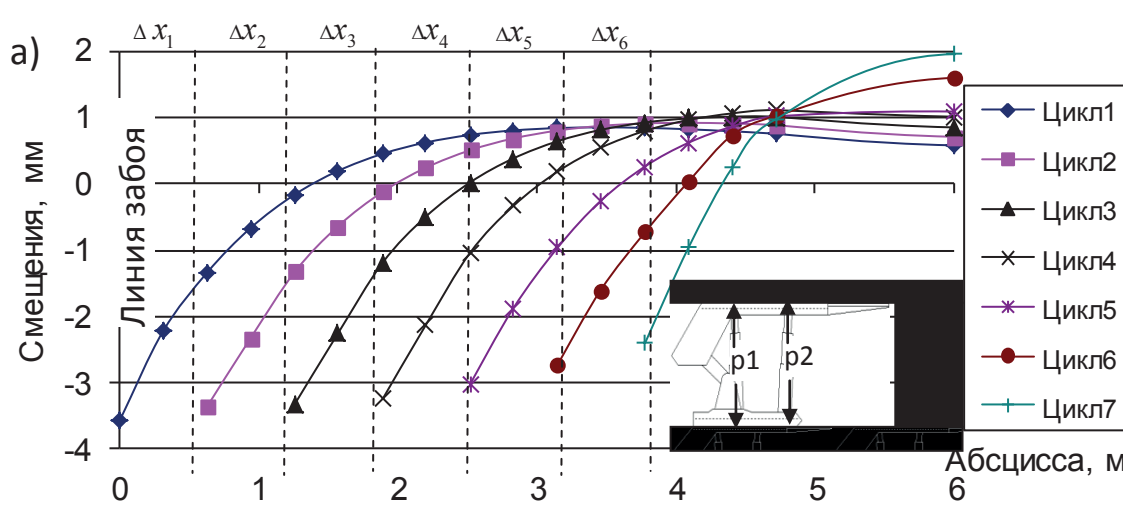


Рисунок 3 - Вертикальные смещения в угольном массиве при движении очистного забоя

Исследовано влияние горнотехнических факторов на характер распределения вертикальных и горизонтальных смещений в углепородном массиве с учетом циклического движения очистного забоя. Серия проведенных экспериментов дает основание утверждать, что смещение боковых пород над и под секцией механизированной крепи увеличивается в сторону выработанного пространства. На рисунке 4 приведены графики распределения вертикальной относительной деформации ($\epsilon \cdot 10^3$) от поверхности выработанного пространства в породах кровли и почвы.

Из них видно, что область активного влияния секции механизированной крепи на породы кровли и почвы составляет около 20 м.

Анализ полученных результатов показал, что в породах кровли на расстоянии 12 метров от верхнего перекрытия крепи зарождается процесс развития трещин и на расстоянии 3 метров происходит разрушение горной массы, которое сопровождается вывалом за механизированной крепью с образованием куполов в породах кровли. В породах почвы разрушение горной массы наблюдается на уровне одного метра под ниж-

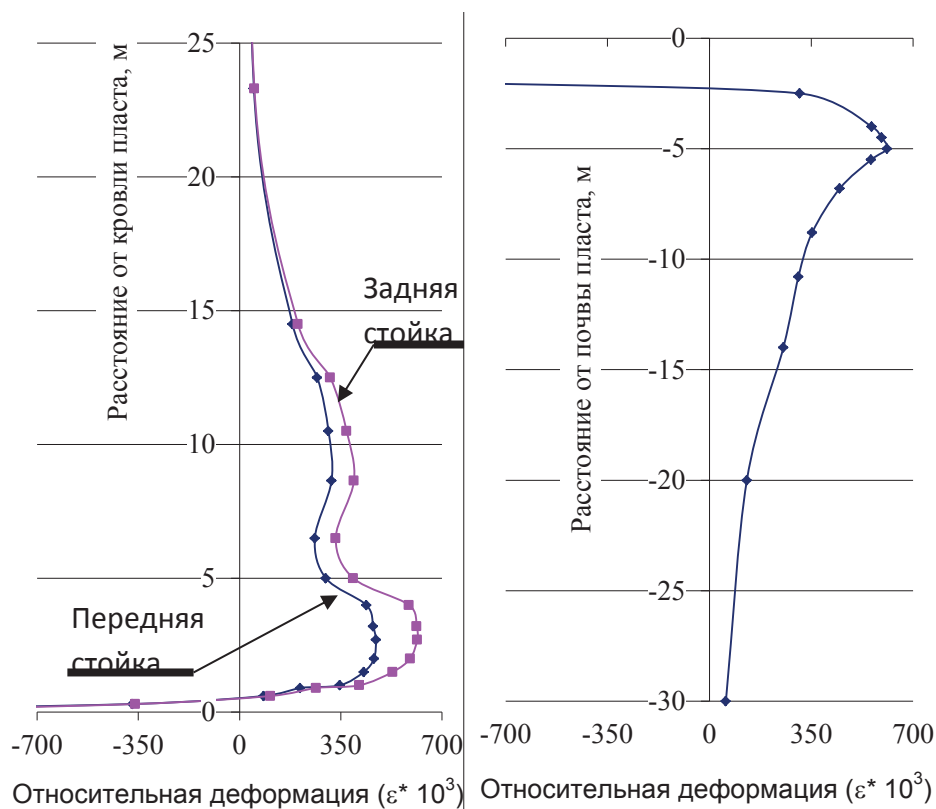


Рисунок 4 - Графики распределения вертикальной относительной деформации ($\epsilon \cdot 10^3$): а) - в породах кровли; б) – в породах почвы

ним перекрытием секции механизированной крепи (рис. 4).

Результаты компьютерного моделирования периодического воздействия секций механизированной крепи на породы кровли целесообразно размещать на электронной карте ведения горных работ, что позволяет рассматривать влияние процесса добычи угля в системе взаимодействия горных объектов с геопространственными характеристиками. Прогнозирование чрезвычайных ситуаций с использованием средств имитационного моделирования позволит своевременно принимать управленческие решения в целях обеспечения стабильной и без-

опасной высокопроизводительной работы комплексно-механизированных забоев и предотвращения аварийных ситуаций.

В заключении необходимо отметить, что технологические регламенты, и расчетные схемы безопасного ведения горных работ предполагают наличие надежных сведений о структуре и свойствах недр. Приблизительные и ошибочные представления о геологии недр ведут к инженерным просчетам, к возникновению чрезвычайных и аварийных ситуаций [2]. Исходя из этого важнейшим фактором, определяющим степень достоверности компьютерного прогноза, является степень достоверности геологических данных.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Современные проблемы безопасной разработки угольных месторождений. Координационное совещание. 22-24 ноября 2005 г.; Сб. докладов. - СПб.: ВНИМИ, 2006. - 220 с.
2. Мазикин, В.П. Актуальные проблемы безопасного ведения горных работ на шахтах России в современных условиях и в перспективе развития угольной отрасли / В.П. Мазикин, Д.В. Яковлев // Современные проблемы безопасной разработки угольных месторождений. Координационное совещание. 22-24 ноября 2005 г.; Сб. докладов. - СПб.: ВНИМИ, 2006. - 220 с.
3. Шек, В.М. Использование имитационного моделирования для оптимизации проведения горных работ [Электронный ресурс].— Режим доступа: http://www.giab-online.ru/files/Data/2005/10/7_SHek10.pdf.
4. Степанов, Ю. А. Адаптация и развитие метода конечных элементов для расчета параметров напряженно-деформированного состояния углепородного массива / Ю.А. Степанов // Вестник КузГТУ. - 2011. - №4. - С. 31-34.
5. Петухов, И. М. Межотраслевая координационная программа «Геодинамическая безопасность освоения недр и земной поверхности» [Электронный ресурс].— Режим доступа: http://www.giab-online.ru/files/Data/2006/4/6_Petuhov11.pdf.
6. Амбарцумян, С.А. Разномодульная теория упругости. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1982. – 320 с.
7. Вернигор, В.М. Предупреждение горных ударов и внезапных выбросов в горнодобывающей промышленности [Электронный ресурс].— Режим доступа: <http://www.mining-media.ru/ru/article/newtech/1071-preduprezhdenie-gornyx-udarov-i-vnezapnykh-vybrosov-v-gornodobyvayushchej-promyshlennosti>.

COMPUTER MODELLING IN THE TASK OF SAFE MINING OPERATION PROVISION

Stepanov Y. A.

Computer modeling technique of mine rocks destruction dynamic processes in the working face vicinity, with the account of the destructive accumulations in the coal-rock massif is described. It is based on the use of power support sections different conditions and on its impact on the rock walls which allows to predict and take timely management decisions to provide safe mining operation.

Key words: COAL-ROCK MASSIF, FORECASTING, MINE FIELDS NDS EVALUATION, GEO-DYNAMICS, SAFETY

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

УДК 622+331.45

РИСК-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД В ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

В работе предложен способ комплексного обеспечения безопасности на угольных шахтах на основе оценки риска возникновения аварии в конкретных горно-геологических и горно-технических условиях в течение всего жизненного цикла угольной шахты.

Ключевые слова: РИСК-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД, ОЦЕНКА РИСКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ АВАРИИ, КАРТА ОПАСНОСТЕЙ, ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОСТИ

На состоявшемся 28 июля 2011 заседании Президиума Правительства РФ года была одобрена «Концепция совершенствования государственной политики в области обеспечения промышленной безопасности с учетом необходимости стимулирования инновационной деятельности предприятий на период до 2020 года» (утверждена решением Коллегии Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору 26 сентября 2011 года). Руководящим принципом концепции обозначен риск - ориентированный подход к обеспечению безопасной эксплуатации опасных производственных объектов.

За прошедшее время риск - ориентированный подход в обосновании безопасности опасных производственных объектов получил широкое распространение в различных отраслях промышленности. Пришедшие из финансово-экономической сферы деятельности понятия риск, управление рисками в целях обеспечения безопасности на производстве уже показали свою эффективность в частности в электроэнергетике, нефтехимической, атомной промышленности. В различных отраслях промышленности различные подходы к оценке и управления рисками. Так, при обосновании безопасности в электроэнергетике особое внимание уделяется оценке износа генерирующего, трансформирующего и передающего оборудования. По уровню износа и оценке «значимости» отказа

того или иного узла в общей цепочки отказов, приводящих к аварии, производится ранжирование предприятий по уровню опасности. Оценку «значимости» получают с помощью статистической обработки случаев отказов на предприятиях отрасли. Управление рисками в этом случае в основном сводится к своевременной замене изношенного оборудования. Аналогичные подходы к обеспечению безопасности применяются в нефтехимической промышленности. В обоснование риска дополнительно к оценке износа оборудования с помощью различных математических моделей включают оценку влияния аварии на окружающую среду и человека, например, модель распространения в атмосфере продуктов сгорания топлива. Обеспечение безопасности на таких объектах в обязательном порядке предусматривает мероприятия по локализации аварии и ликвидации ее последствий. Для оценки риска на предприятиях атомной энергетики [1] применяется сочетание вероятностных и детерминистских методов. В качестве критериев оценки риска выбирается возможность повреждения активной зоны, сверхнормативного радиоактивного выброса, влияние отклонений параметров технологического процесса на систему безопасности и т.д. Результатом такого исследования является создание адекватной глубоководной защиты.

Предприятия угольной отрасли традиционно относятся к особо опасным производствам. Согласно



А.М. Рыков

канд. техн. наук, научный консультант
АО «НЦ ВостНИИ»



Ли Хи Ун

д-р техн. наук, профессор, зам.
генерального директора по научной
работе-ученый секретарь АО «НЦ
ВостНИИ»



Ю.М. Филатов

канд. техн. наук, генеральный директор
АО «НЦ ВостНИИ»

Федеральному закону от 21.07.1997 п 116-ФЗ [2] в классификации опасных производственных объектов предприятия угольной отрасли (шахты) относятся к I классу опасности. Аварии на шахтах нередко приводят к гибели людей, утрате основных фондов и запасов угля, остановке предприятия и огромным финансовым потерям.

Традиционный подход к обеспечению безопасности, основанный на разработке нормативных документов в сфере промбезопасности, строгое соблюдение правил безопасности в целом позволяют организовать работу на угольной шахте на достаточно безопасном уровне, однако крупные аварии на шахтах России последних лет, связанные с массовой гибелью людей, заставляют искать новые подходы.

Угольная промышленность в отличие от других отраслей уникальна тем, что источником опасности наряду с штатными, неплановыми аварийными событиями при эксплуатации оборудования производственного объекта является природная среда. Человек, вторгаясь в природную среду с помощью технологии и оборудования, нарушая целостность природного массива, нарушает и его природное равновесие. Как и любая система, природа стремится вернуться в состояние равновесия. Когда совокупность воздействий технологических процессов на массив превышает запас прочности системы, происходит скачкообразный переход к новому равновесному состоянию. Такой скачок носит порой катастрофический характер (динамические, газодинамические явления, самовозгорание угля и т.д.). Взаимодействие технологического процесса и горного массива непрерывно создает реальные опасности: выделение из горного массива взрывоопасного газа, пылеобразование, пожароопасность угольных пластов, проявление горного давления и т. д. Ведение горных работ создает особо опасную среду, в которой работает человек. Поэтому задача прогнозирования реакции массива на воздействие технологии является основополагающей для обеспечения безопасности работ в угольной шахте. В силу того, что природные свойства массива неоднородны во времени и в пространстве, даже в пределах одного шахтопласта, этот прогноз должен осуществляться непрерывно, в течение всего жизненного цикла угольного предприятия.

Одним из наиболее действенных, на наш взгляд, способов решения этой задачи является риск-ориентированный подход к созданию комплексной системы обеспечения безопасности в угольной шахте. Он основан на количественной и качественной оценке риска производственной

аварии. При этом сам риск понимается как мера опасности, характеризующая возможность возникновения аварии на опасном производственном объекте и тяжесть ее последствий [3]. Цель анализа рисков сложной социо-техническо-природной системы – выбор предпочтительного способа обеспечения безопасности, из ряда альтернатив, зависящих от существующей (разрабатываемой) технологии добычи и природных свойств массива.

Исходя из специфики угольной отрасли в области обеспечения безопасности правила обеспечения безопасности, нормативные документы основаны на оценке возможности возникновения аварии. В силу того, что ПБ обязательны к исполнению на любом угольном предприятии, для обеспечения безопасности в любых условиях при разработке этих правил был принят самый консервативный подход (наихудшие условия). Вместе с тем, анализ опасностей, количественная оценка риска необходим для поиска «узких мест» в обеспечении промышленной безопасности в конкретных горно-геологических и горно-технических условиях подземной добычи, которые упускаются действующими требованиями ПБ с одной стороны, с другой этот анализ позволит создать достаточный уровень безопасности при необходимых отступлениях от требований ПБ. Понимание наличия и разнообразия угроз, цепочки событий, приводящих к реализации этих угроз, возможность выделения наиболее значимых событий и природных факторов, способствующих реализации аварийной обстановки в наибольшей степени, превентивная оценка тяжести последствий, разработка на основе этих знаний технологических, технических и организационных решений в итоге позволят создать качественную новую систему безопасности.

Построение комплексной системы безопасности на основе риск-ориентированного подхода состоит из нескольких этапов.

1. Построение карты опасностей

Построение карты опасных событий должно соответствовать закладываемым проектным решениям путем выявления всего комплекса наиболее опасных событий, которые могут привести к аварии, а также определения уровня аварии. По степени опасности последствий аварии на шахте можно разделить на три основные группы:

- катастрофа (гибель большого количества людей, разрушение всего предприятия вследствие детонации угольной пыли);
- крупная авария (вывод из строя крыла шахты, возможны групповые несчастные случаи

со смертельным исходом). К крупным авариям относятся вспышка метана, экзогенные и эндогенные пожары;

- авария (выход из строя отдельных выработок, возможны групповые несчастные случаи со смертельным исходом). К этой группе можно отнести горные удары, обрушения, затопления и т.д.

Для построения карты опасностей необходимо подвергнуть анализу весь технологический процесс: подготовку месторождения; выемку; проветривание; вспомогательные работы, обеспечивающие жизнедеятельность угольной шахты; возможные действия персонала с целью определения вида потенциальных опасностей, их источников, последовательность негативных событий (дерева событий), приводящих к возникновению угрозы. Далее, с помощью моделей, обработки статистической информации, экспертных оценок определяется возможная реакция природного массива как на сами события, так и на их сочетание. Результатом такого исследования станет определение возможности возникновения аварий как в отдельности, так и в сочетании (например, взрыв метано-воздушной смеси, инициируемый эндогенным пожаром) совокупности ключевых событий, факторов, формирующих риск, уязвимых мест; наиболее вероятных последствий и т.д.

2. Разработка системы проектных решений, организационных и профилактических мероприятий

По составленной карте опасностей для снижения аварийной опасности на этапе проектирования разрабатывается система проектных решений, организационных и профилактических мероприятий, с опорой на ПБ и результаты самой консервативной (наиболее опасной) оценки риска, поскольку предвидеть реальное состояние природного массива в течение всего периода эксплуатации предприятия на этапе проектирования не представляется возможным. Состав и объем таких мероприятий тесно связан с понятием допустимого риска, который характеризуется общественно-допустимым уровнем опасности аварий для сложившихся и будущих социально-экономических условий, а также современного технического и технологического состояния угольной отрасли. Для безусловного непревышения допустимых уровней риска аварий требуется неукоснительное соблюдение всех

действующих требований промышленной безопасности. При возможных отступлениях от требований ПБ необходимо установить обоснованные уровни допустимого риска аварии на шахте, которые непосредственно характеризуют возникновение угрозы аварий при данном отступлении, и достаточного объема профилактических мер, снижающих этот риск [4]. Кроме того, на данном этапе необходимо разработать систему организационных, административных мероприятий, программ обучения, направленных на повышение ответственности за действия всего производственного персонала в условиях выявленных рисков [5]. Выполнение всех выше перечисленных мероприятий на этапе проектирования закладывает необходимый уровень безопасности. На этапе строительства устанавливается контроль за соответствием проектным решениям. В период эксплуатации угольного предприятия организуется непрерывный автоматизированный геомониторинг за состоянием рудничной атмосферы, горных выработок, технологического оборудования, целиков и выработанного пространства для построения системы оперативного реагирования в случае возникновения угрозы. На основе данных, полученных с помощью геомониторинга разрабатываются системы контроля и управления технологическими процессами и контроля за состоянием оборудования. Такая система должна быть полностью автоматизирована и скорость ее реакции должна быть выше, чем скорость развития аварии. На стадии завершения работ, ликвидации предприятия на основе анализа газодинамических проявлений в условиях остановки проветривания разрабатывается система мер для предотвращения аварий, выбросов парниковых газов в атмосферу и т.п.

Таким образом, применение количественной и качественной оценки риска вместе с положениями ПБ на этапе проектирования угольной шахты или ее части необходимо для разработки эффективных технологических решений не только с точки зрения производства, но и для создания наиболее безопасных условий эксплуатации угольного месторождения. Постоянный мониторинг окружающей среды, анализ риска в условиях меняющейся горно-геологической обстановки позволит построить оперативную систему реагирования на возникновение новых угроз безопасности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Комаров, Ю. А. Обобщенный риск-ориентированный подход для повышения безопасности и эффективности эксплуатации атомных электростанций [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<http://7universum.com/en/tech/archive/item/1260>.

2. Федеральный закон от 21.07.1997 n 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_law_15234.

3. РД 03-418-01 Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200012878>.

4. Гражданкин, А.И. Подходы установления допустимого риска аварии с использованием показателя опасности аварии на опасных производственных объектах нефтегазового комплекса [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://riskprom.ru/>.

5. Павлов, А.Ф. Анализ и управление риском аварий, травм и заболеваний на предприятиях по добыче и переработке угля / А.Ф. Павлов [и др.] – Кемерово, 2011. – 81с.

RISK-DIRECTED APPROACH IN COAL MINES SAFETY PROVISION

Rykov A. M., Li Hi Un, Filatov Y. M.

In the work a complex method of coal mine safety provision based on risk evaluation of an accident possibility at specific mining and mine-technical conditions during the whole mine life period.

Key words: RISK-DIRECTED APPROACH, ACCIDENT POSSIBILITY RISK EVALUATION, HAZARDS MAP, SAFETY RULES

Рыков Александр Михайлович
e-mail: a.rikov@nc-vostnii.ru

Ли Хи Ун
e-mail: leeanatoly@mail.ru

Филатов Юрий Михайлович
e-mail: y.filatov@nc-vostnii.ru

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

УДК 536.521: 614.841.45

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО ПРИБОРА С ОПТИЧЕСКИМИ ЗАТВОРАМИ

В статье описаны методы экспериментального определения некоторых параметров оптико-электронного прибора с оптическими затворами: времени обнаружения очага взрыва и показателя визирования. Эксперименты проводятся с использованием экспериментальной установки для проведения взрывов. Приведены результаты определения параметров времени обнаружения очага взрыва и показателя визирования оптико-электронного прибора с оптическими затворами.

Ключевые слова: ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЙ ПРИБОР, НАТУРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ, ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА, ОЧАГ ВЗРЫВА, ВРЕМЯ ОБНАРУЖЕНИЯ, ПОКАЗАТЕЛЬ ВИЗИРОВАНИЯ

I ВВЕДЕНИЕ

Одним из наиболее опасных проявлений техногенных катастроф являются пожары и взрывы пылегазовых горючих смесей с воздухом. На промышленных объектах с пожаро- и взрывоопасной средой возможно возникновение аварийных ситуаций с человеческими жертвами, материальными потерями и разрушениями.

На кафедре методов и средств измерений и автоматизации (МСИА) Бийского технологического института ФГБОУ ВО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова» разрабатываются оптико-электронные приборы (ОЭП) для автоматических систем взрывоподавления, основной областью применения которых являются угольные шахты [1,2]. Актуальной задачей является проведение натуральных испытаний разработанных приборов с целью определения их технических параметров в условиях, близких к реальным условиям эксплуатации.

При проектировании и тестировании ОЭП обнаружения взрыва возникает необходимость их проверки не только в лабораторных условиях, но и в условиях, близких к реальным условиям эксплуатации.

Это возможно лишь при проведении экспериментальных взрывов пылегазовоздушной смеси, соответствующей потенциальному охраняемому объекту. Поскольку проведение экспериментальных взрывов на реальных охраняемых объектах является нереализуемой задачей, в мировой практике подобные исследования проводят на экспериментальных установках. На сегодняшний день на кафедре МСИА БТИ АлтГТУ разработана и изготовлена установка для проведения экспериментальных взрывов пылегазовоздушных смесей [3,4].

Целью работы является экспериментальное исследование времени обнаружения очага взрыва оптико-электронным прибором с оптическими затворами [5], а также показателя визирования ОЭП.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие частные задачи:

- разработать метод определения времени обнаружения очага взрыва;
- разработать метод определения показателя визирования ОЭП обнаружения взрыва;
- провести серию эксперимен-



А. И. Сидоренко

соискатель, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»



Е. В. Сыпин

канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры Бийского технологического института (филиала) ФГБОУ ВО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»



Г. В. Леонов

д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой Бийского технологического института (филиала) ФГБОУ ВО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»

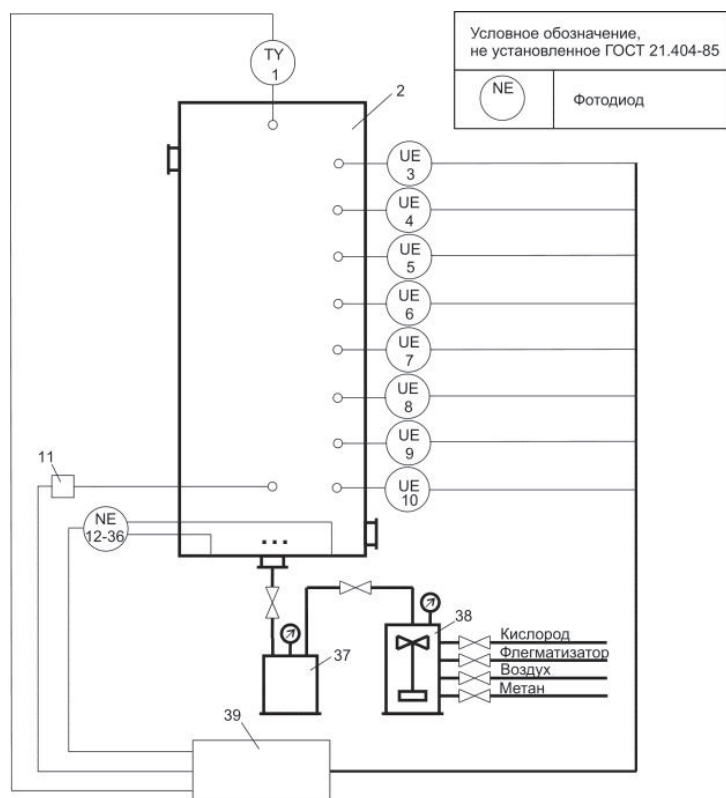


Рисунок 1 – Функциональная схема экспериментальной установки: 1 – исследуемый ОЭП; 2 – реакционный сосуд установки; 3-10, 12-36 – измерительные датчики; 11 – система воспламенения; 37 – ресивер; 38 – смеситель; 39 – блок управления.

тов для определения времени обнаружения очага взрыва и показателя визуирования ОЭП.

II ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

На рисунке 1 представлена функциональная схема [6] экспериментальной установки для проведения взрывов пылегазовоздушных смесей

Поджигание пылегазовоздушной смеси осуществляется в нижней части реакционного сосуда [7], исследуемый ОЭП (поз. 1) устанавливается в верхней части. В зависимости от вида проводимого эксперимента в качестве измерительных датчиков 3-10 могут использоваться датчики температуры или потока излучения. Измерительные датчики 12-36, представляющие собой датчики потока излучения, устанавливаются в нижней крышке реакционного сосуда и предназначены для определения формы фронта очага взрыва. Блок управления 39 выполняет следующие функции [8]:

- предварительное усиление и фильтрация сигналов с измерительных датчиков;
- аналогово-цифровое преобразование входных сигналов;
- управление подачей сигнала на запуск системы воспламенения 11;
- регистрация и обработка измерительной

информации [9];

– синхронизация работы функциональных блоков системы [10].

Для синхронизации работы и последующей обработки информации сигнал с системы воспламенения поступает на блок управления. Необходимая рабочая пылегазовоздушная смесь подготавливается в смесителе 38, после она подается в ресивер 37 для достижения требуемого давления.

При проведении натурных испытаний ОЭП для обнаружения взрыва необходимо измерять время обнаружения очага взрыва в условиях, близких к реальным условиям эксплуатации [11]. Определение времени обнаружения на установке для проведения экспериментальных взрывов заключается в определении разности между моментом инициации взрыва устройством воспламенения и моментом возникновения импульса на выходе сигнализации о наличии очага возгорания исследуемого прибора. При таком методе время обнаружения зависит от условий проведения экспериментальных взрывов, влияющих на скорость развития очага возгорания на ранней стадии.

Для экспериментального определения времени обнаружения очага возгорания необходимо установить источник воспламенения

и исследуемый прибор и осуществить не менее пяти экспериментальных взрывов с регистрацией сигналов устройства воспламенения и выходного сигнала исследуемого ОЭП, не изменяя условий эксперимента. Для визуального наблюдения процесса развития взрыва в верхнюю крышку реакционного сосуда необходимо установить скоростную видеокамеру [12], сфокусировав ее на источнике воспламенения. Обработка результатов экспериментов заключается в выполнении следующих действий:

1. Определение разности между моментом инициации взрыва устройством воспламенения и моментом возникновения импульса на выходе сигнализации о наличии очага возгорания исследуемого ОЭП t_1, t_2, \dots, t_N для каждого эксперимента.

2. Вычисление выборочного среднего значения [13] как наилучшей оценки истинного значения $t_{ср.об}$: на основе полученной ограниченной статистической выборки:

$$\bar{t} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i \quad (1)$$

3. Вычисление опытного среднеквадратического отклонения σ_i :

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (t_i - \bar{t})^2}{N(N-1)}} \quad (2)$$

4. Определение табличного значения коэффициента Стьюдента t_α и нахождение абсолютной погрешности [14] при доверительной вероятности $P = 0,95$ по числу проведенных измерений N :

$$\Delta t = t_\alpha \sigma_i. \quad (3)$$

На рисунке 2 представлены характеристики устройства воспламенения и выходной сигнал

исследуемого ОЭП, полученные в одном из экспериментов при концентрации угольной пыли 200 г/м^3 .

В результате анализа скоростной видеосъемки процесса развития взрыва измерены значения диаметра очага взрыва в процессе его развития на ранней стадии. В таблице 1 представлены результаты измерений при различной концентрации угольной пыли в реакционном сосуде экспериментальной установки. Полуширинным начертанием выделены размеры очага взрыва в момент его обнаружения прибором и в момент выработки прибором выходного сигнала об обнаружении.

В результате проведения экспериментов выявлено, что диаметр очага взрыва, при котором прибор устойчиво срабатывает, составляет примерно 170 мм. Указанное значение получено на расстоянии 2 м от очага возгорания до прибора. Диаметр очага, при котором прибор устойчиво срабатывает, определяется показателем визирования, зная который можно определить диаметр очага на любом расстоянии от прибора. Максимальная скорость развития взрыва на экспериментальной установке зарегистрирована при концентрации угольной пыли, составляющей 200 г/м^3 . При этом за время, необходимое прибору на выработку выходного сигнала, очаг возгорания увеличивается в диаметре примерно на 30 мм.

При использовании пирометра в качестве ОЭП для обнаружения взрыва важным параметром является показатель визирования. Согласно ГОСТ 28243-96 [15] показатель визирования – это отношение минимального диаметра круга в плоскости излучателя,

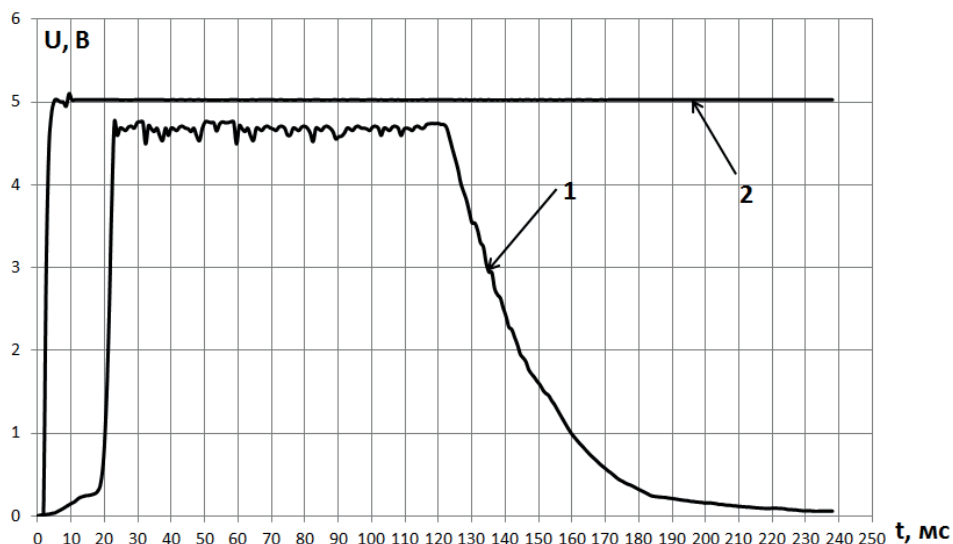


Рисунок 2 – Экспериментальные характеристики при определении времени обнаружения очага взрыва: 1 – выходной сигнал исследуемого ОЭП; 2 – сигнал устройства воспламенения

Таблица 1 – Диаметр очага взрыва в зависимости от времени развития взрыва и концентрации угольной пыли (мм)

Концентрация угольной пыли, г/м ³	Время, мс										Время обнаружения, мс
	2,5	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	
0	0	15	30	50	75	90	105	115	130	145	49±2
100	0	30	70	120	140	150	170	180	200	230	22±2
200	0	40	80	130	150	170	185	200	230	260	20±2

перпендикулярной к оптической оси пирометра, к расстоянию от плоскости излучателя до переднего среза объектива. В данном случае под диаметром круга подразумевается минимальный, но достаточный диаметр сечения очага возгорания для измерения температуры пирометром в пределах допускаемой основной погрешности.

Определение показателя визирования осуществляется одновременно с определением времени обнаружения очага возгорания в результате сопоставления времени обнаружения прибором очага взрыва и линейного размера очага, полученного в результате анализа скоростной видеосъемки процесса развития взрыва. По кадрам видеосъемки также можно определить форму и диаметр фронта пламени на ранней стадии развития взрыва.

Расчёт показателя визирования ОЭП для обнаружения очага взрыва при данном способе определения зависит от скорости распространения фронта пламени, поскольку за промежуток времени между моментом регистрации прибором очага взрыва и моментом выработки прибором выходного сигнала размер очага взрыва увеличивается. Для измерения показателя визирования прибора необходимо определить линейный размер фронта пламени в момент времени, определяемый следующим выражением:

$$t_{\text{обн}} = t_{\text{вых}} - t_{\text{сраб}} \quad (4)$$

где $t_{\text{вых}}$ – момент выработки прибором сигнала об обнаружении возгорания;

$t_{\text{сраб}}$ – быстродействие прибора, измеренное в лабораторных условиях.

Время $t_{\text{сраб}}$ включает быстродействие фотодиодов, составляющее не более 3 мкс, кото-

рым можно пренебречь при определении показателя визирования.

Показатель визирования (ПВ) на основе полученных экспериментальных данных рассчитывается по следующей формуле:

$$\text{ПВ} = \frac{D}{L} \quad (5)$$

где D – диаметр очага взрыва на ранней стадии в момент времени $t_{\text{обн}}$, мм;

L – расстояние между устройством воспламенения и объективом исследуемого ОЭП, мм.

По результатам проведения серии измерений показателя визирования в условиях, близких к реальным условиям эксплуатации, при обнаружении очага взрыва на экспериментальной установке, показатель визирования прибора составил $\text{ПВ} = 1:12$ при доверительной вероятности 95%.

III ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения работы разработаны методы экспериментального определения времени обнаружения очага взрыва и показателя визирования оптико-электронного прибора с использованием экспериментальной установки для проведения взрывов пылегазвоздушных смесей. В результате проведения серии экспериментальных взрывов определены следующие параметры ОЭП:

– диаметр очага взрыва, при котором ОЭП устойчиво срабатывает: 170 мм;

– время обнаружения очага взрыва: 20-49 мс (при увеличении концентрации угольной пыли в горючей смеси время обнаружения уменьшается);

– показатель визирования ОЭП обнаружения взрыва: 1:12.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Миханошина, Ю.Л. Проектирование интеллектуальной автоматической системы точечного адаптивного пожаротушения / Ю.Л. Миханошина, Е.В. Сыпин // Южно-Сибирский научный вестник. - 2013. - № 2. - С. 108-111.

2. Сидоренко, А.И. Методы повышения точности определения координат пирометрическим датчиком с полевой диафрагмой / А.И. Сидоренко, А.Н. Павлов, Е.В. Сыпин // Южно-Сибирский научный вестник. - 2013. - № 2. - С. 112-116.

3. Sidorenko, A.I. Automated Control System of Experimental Unit For Exercise of Dust-Gas-Air Mixture Explosions / A.I. Sidorenko, I.S. Zorin, A.N. Pavlov, E.V. Sypin // 14th International conference of young specialists on micro/nanotechnologies and electron devices EDM 2013: Proceedings. - Novosibirsk: NSTU, 2013. – P.249-252.
4. Sidorenko A.I. Plant for Research of Parameters of Optoelectronic Detectors for Detection of Dust-Gas-Air Mixture Explosions / A.I. Sidorenko, A.N. Pavlov, E.V. Sypin // International conference and seminar on micro/nanotechnologies and electron devices EDM'2011: Conference proceedings. - Novosibirsk: NSTU, 2011. – P.339-342.
5. Сидоренко, А.И. Оптическая система координатного пирометрического датчика обнаружения очага возгорания с оптическими затворами / А.И. Сидоренко, А.Н. Павлов, Е.В. Сыпин // Южно-сибирский научный вестник. – 2012. - №2 (2). – С.161-164.
6. ГОСТ 21.404-85 Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1985.
7. Мамаев, В.И. Предупреждение взрывов пылеметановоздушных смесей / В.И. Мамаев. – М.: Недра, 1990. – 159 с.
8. Ключев, А.С. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: справочное пособие / А.С. Ключев – М.: Высшая школа, 1990 –318с.
9. ОВЕН. Оборудование для автоматизации [Электронный ресурс].– Режим доступа: <http://www.owen.ru/>
10. ООО «Л КАРД». Индустриальные системы управления и сбора данных [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.lcard.ru/>
11. Шаровар, Ф.И. Методы раннего обнаружения загораний / Ф.И. Шаровар. – М.: Стройиздат, 1988. – 336 с.
12. FASTVIDEO Оборудование для скоростной съемки. Скоростная камера Fastvideo-400 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.fastvideo.ru/products/vga/fv400.htm>
13. Дробот П.Н. Теория ошибок и обработка результатов измерений: учеб. Пособие / П.Н. Дробот. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники, 2011. – 84 с.
14. Сергеев, А.Г. Метрология: учебник / А.Г. Сергеев. М.: Логос, 2005. – 272 с.
15. ГОСТ 28243-96 Пирометры. Общие технические требования. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. – 8 с.

OPTOELECTRONIC DEVICES WITH
OPTICAL SHUTTERS PARAMETERS
EXPERIMENTAL EVALUATION

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

The article describes some optoelectronic device with optical shutters parameters experimental identification methods: time of explosion spot detection and sighting index. The experiments were conducted using the experimental apparatus for carrying out the explosions. The results of determining the explosion spot detection time parameters and optoelectronic device with optical shutters sighting index are given.

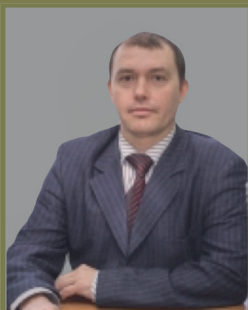
Key words: OPTOELECTRONIC DEVICE, ON-SITE TESTS, EXPERIMENTAL EVALUATION, EXPLOSION SPOT, DETECTION TIME, SIGHTING INDEX

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

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

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

МОНИТОРИНГ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РЕДУКТОРОВ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ШАХТНЫХ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ



Е. Г. Кузин

старший преподаватель кафедры филиала ФГБОУ ВО «КузГТУ» в г. Прокопьевске



Б. Л. Герике

д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории ФГБНУ «ФИЦ УУХ СО РАН», профессор кафедры ФГБОУ ВО «КузГТУ»

В статье рассмотрены результаты анализа простоев шахтных ленточных конвейеров и вопросы актуальности проведения мониторинга их технического состояния. Приведены результаты мониторинга состояния редукторов частотно-регулируемого привода конвейера по параметрам смазочного масла и вибрации.

Ключевые слова: ЛЕНТОЧНЫЙ КОНВЕЙЕР, ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫЙ ПРИВОД, ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА, ВИБРОДИАГНОСТИКА, АНАЛИЗ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В настоящее время на угольных предприятиях эксплуатируется значительное количество ленточных конвейеров [1], от работоспособного состояния которых зависят показатели работы всей угольной промышленности Кузбасса. В ближайшее время ожидается увеличение энергооборуженности и технической оснащенности ленточных конвейеров, производительности и длины транспортирования горной массы, широко внедряется частотно-регулируемый электропривод [2].

Повышающиеся объемы добычи угля комплексно-механизированными очистными забоями вместе с увеличением безопасности производства работ требуют создания надежных транспортных систем. Высокая эффективность и бесперебойность в работе с одновременным снижением энергопотребления – основная задача, стоящая перед производителями поточных линий шахтных ленточных конвейеров. Другой, не менее важной задачей является сокращение затрат на их техническое обслуживание и ремонт [3, 4]. Для обеспечения безотказности работы ленточного конвейера в течение как можно более продолжительного времени необходимо определить причины выхода из строя различных составляющих элементов [5, 6].

Анализ показывает, что доля простоев, вызванных отказом ре-

дуктора ленточного конвейера, колеблется от 7,4% до 18,2% и составляет в среднем 12%. При этом в среднем на восстановление уходит от 24 до 48 часов. Наиболее частой причиной отказов являются порывы ленты (до 50%), на устранение которой в среднем отводится 1,5-2 часа. Из этого следует, что распознавание фактического технического состояния редукторов шахтных ленточных конвейеров является весьма актуальной задачей.

В работе приведены результаты мониторинга технического состояния шахтного ленточного конвейера ЗЛЛ1600 (длина транспортирования – $L=850$ м, техническая производительность – $Q=3500$ т/ч, скорость движения ленты – $v=0-4$ м/с) по параметрам смазочного масла и вибрации.

В приводах конвейеров используются редукторы Moventas Santasalo:

- тип – коническо-цилиндрический D3RST82XO;

- передаточное число,

$i=20,6128$;

- номинальная механическая мощность при сервис факторе $FS=1$
 $P_{м.ном}=995$ кВт;

- номинальная термическая мощность при сервис факторе $FS=1$ и температуре окружающей среды $t_{окр}=20$ °C $P_{т.ном}=779$ кВт;

- допустимая температура масла $t_m=90$ °C;

- установленная мощность двигателя $P=500$ кВт;

- частота вращения быстроходного вала $n=1500$ об/мин (25 Гц).

Частотно-преобразовательная станция шахтная типа ЧПСШ-1250/6-0,69-2-УХЛ5 предназначена для бесступенчатого электрического регулирования скорости и крутящего момента одно или многодвигательного привода ленточного конвейера и подачи напряжения питания на все вспомогательные устройства станции и конвейера в подземных горных выработках шахт, опасных по газу (метан) и угольной пыли в соответствии с требованиями [7].

Дата ввода конвейеров в эксплуатацию – 10.06.2014.

На рисунке 1 приведена схема обводки приводных барабанов и расположение редукторов с условными названиями Р1 – Р3.

Анализируя параметры вибрации можно сделать вывод, что наиболее загруженным является редуктор Р1, а наименее загруженным – Р3, что соответствует классической теории расчета ленточных конвейеров [8].

Особенностью приводов с регулируемой частотой вращения является зависимость

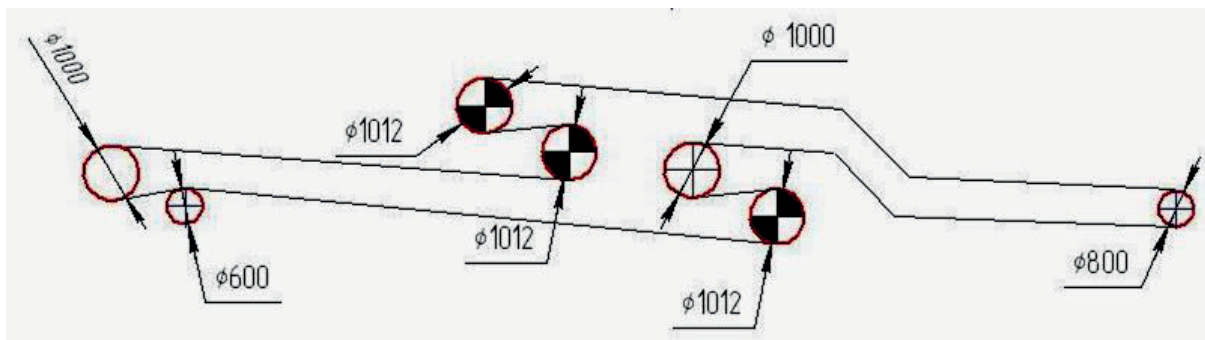


Рисунок 1 – Схема запасовки конвейера лентой и расположение приводных блоков

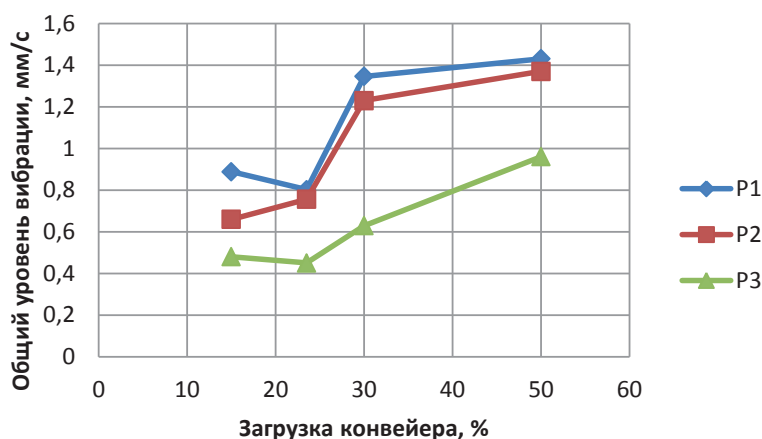


Рисунок 2 - График зависимости общего уровня вибрации в диапазоне 2-200 Гц от загрузки конвейера

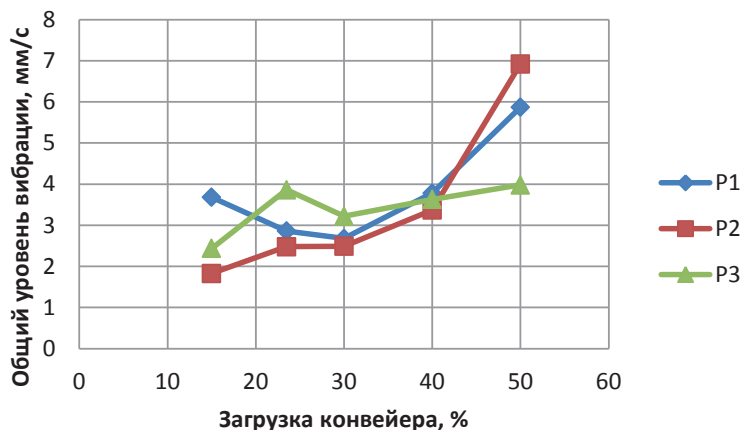


Рисунок 3 – График зависимости общего уровня вибрации в диапазоне 100-2000 Гц от загрузки конвейера

Таблица 1 – Кинематическая вязкость (ГОСТ 6258-85)

№ редуктора	Температура, °С	Норма КВ мм ² /с	Образец от 29.08.14		Образец от 19.02.15		Образец от 12.03.15		Образец от 06.07.15	
			°ВУ	КВ мм ² /с	°ВУ	КВ мм ² /с	°ВУ	КВ мм ² /с	°ВУ	КВ мм ² /с
P1	40	320	39,1	297,7	40,4	307,0	44,1	325,2	45,4	345,0
	100	24,1	3,50	25,33	3,36	24,17	3,42	24,5	3,50	25,33
P2	40	320	44,1	335,5	45,5	345,5	44,9	341,4	46,3	351,2
	100	24,1	3,42	24,67	3,40	24,50	3,56	25,83	3,58	26,0
P3	40	320	40,08	304,8	40,6	308,6	44,1	335,5	43,3	329,7
	100	24,1	3,26	23,33	3,42	24,67	3,42	24,67	3,58	26,0

уровней вибрации от частоты вращения приводного двигателя. Для стадии приработки минимальные уровни вибрации наблюдаются для уровней загрузки 25-30%.

Далее проводился анализ параметров смазочного масла и вибрации в зависимости от наработки ленточного конвейера в соответствии с требованиями нормативных документов [9-14].

Данные о кинематической вязкости приведены в таблице 1 и на рисунке 5. Результаты накопления механических примесей для редуктора P1 приведены в таблице 2, а основных при-

месей для остальных редукторов показаны на рисунках 6-8.

Анализ изменения параметров масла показывает, что в процессе работы вязкость возрастает за счет испарения низкокипящих фракций. При этом чем выше начальная вязкость, тем меньше накапливается механических примесей, менее интенсивно идут процессы износа подшипников и зубьев шестерен в редукторе (см. рис. 5-8).

Данные о температуре вспышки в открытом тигле приведены в табл. 3.

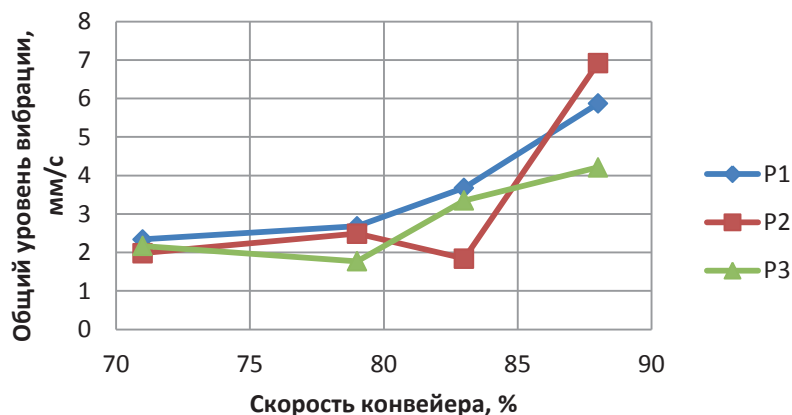


Рисунок 4 – График зависимости общего уровня вибрации в диапазоне 100-2000 Гц от скорости конвейера

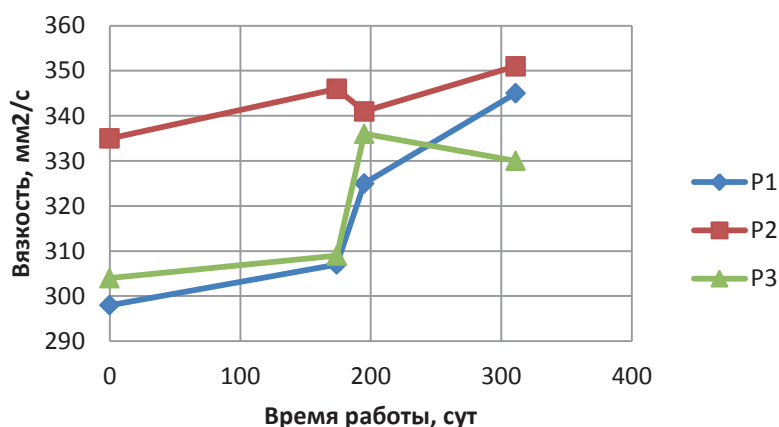


Рисунок 5 – График изменения кинематической вязкости масла от наработки

На рисунках 9-11 представлены спектры среднего квадратического значения виброскорости в диапазоне, характерном для зубцовых частот редукторов. Замеры проводились согласно [4] для точки вторичного вала в осевом направлении, сильнее всего характеризующего вибрацию на частотах зубозацепления первой пары шестерен.

Анализ спектров (см. рис. 9-11) показывает, что в редукторе закончились процессы приработки, при этом большие уровни вибрации наблюдаются в редукторе Р1, а меньшие – в

редукторе Р3.

Завод изготовитель редукторов Moventas Santasalo рекомендует производить первую замену масла через 800–1000 часов работы, а далее через каждые 10000 часов работы или один раз в год. Фактически первая замена масла не производилась, была произведена только доливка масла через 5000 часов работы. Состояние масла в данный момент удовлетворительное, кроме редуктора Р3, в котором превышены концентрации механических примесей железа (Fe).

Таблица 2 – Продукты износа редуктора Р1, г/т

Элементы	Допустимые пределы	Образец от 29.08.14	Образец от 19.02.15	Образец от 12.03.15	Образец от 06.07.15
<i>Fe</i>	126-200	40,34	160,12	204,8	171,52
<i>Si</i>	21-30	37,64	33,88	44,55	39,83
<i>Cu</i>	100-150	5,526	0,48	8,96	1,65
<i>Al</i>	4-7	1,518	1,54	2,38	2,00
<i>Cr</i>	2-5	0,683	1,30	1,07	1,15
<i>Pb</i>	-	2,547	3,45	4,23	2,48
<i>Sn</i>	-	5,781	9,34	7,90	6,98

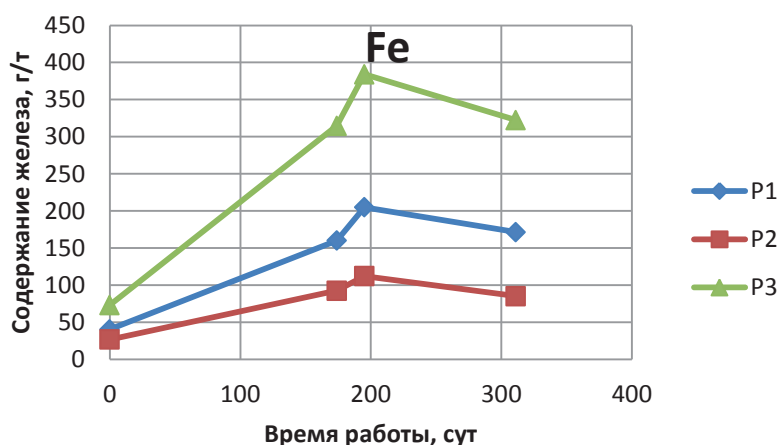


Рисунок 6 – График изменения содержания железа от наработки

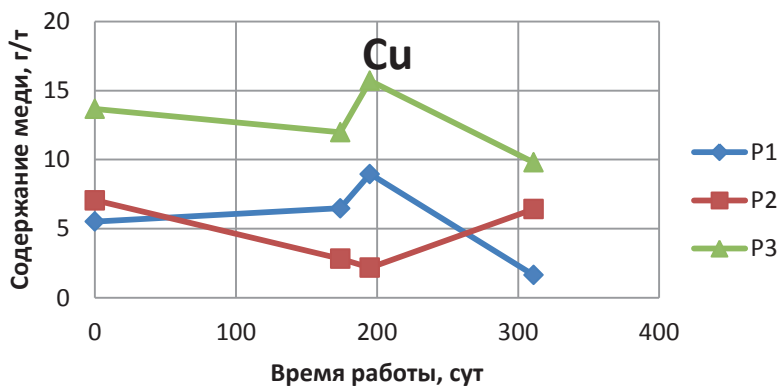


Рисунок 7 – График изменения содержания меди от наработки

Таблица 3 – Температура вспышки в открытом тигле, °C (ГОСТ 26378.4-84)

№ редуктора	Норма (DIN ISO 2592)	Образец от 29.08.14	Образец от 19.02.15	Образец от 12.03.15	Образец от 06.07.15
P1	255	226	222	238	236
P2	255	248	228	235	215
P3	255	234	225	230	235

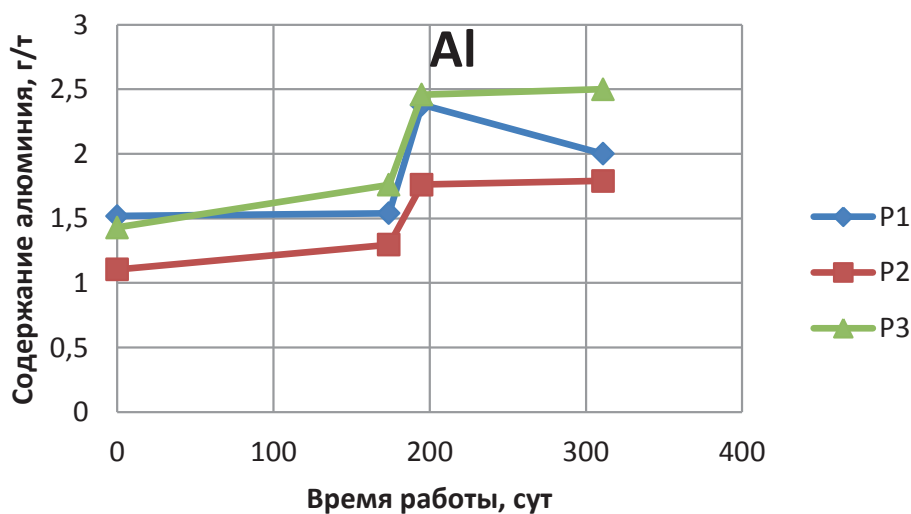


Рисунок 8 – График изменения содержания алюминия от наработки

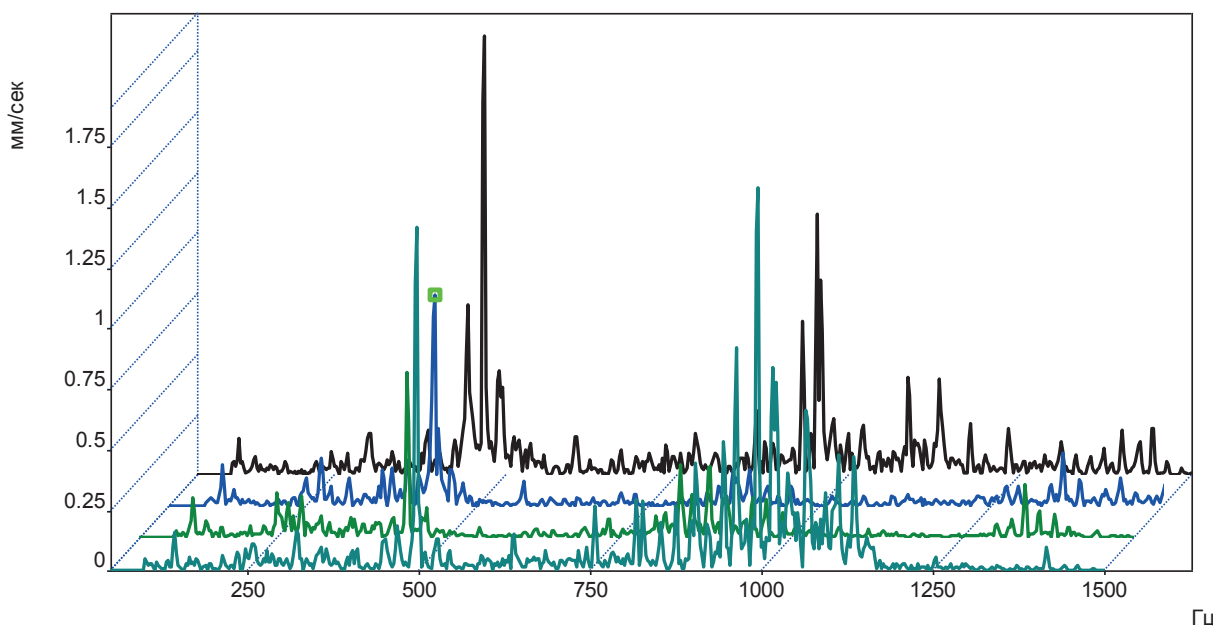


Рисунок 9 – Сравнение спектров виброскорости в диапазоне от 100 до 1500 Гц редуктора P1

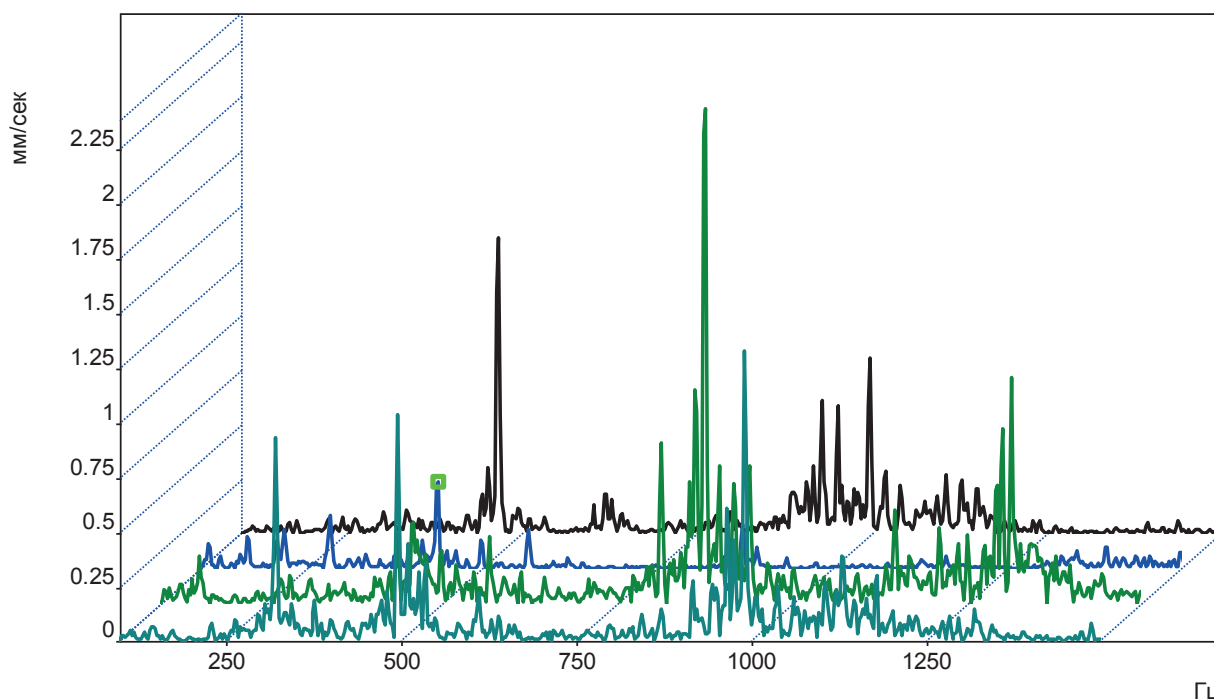


Рисунок 10 – Сравнение спектров виброскорости в диапазоне от 100 до 1500 Гц редуктора Р2

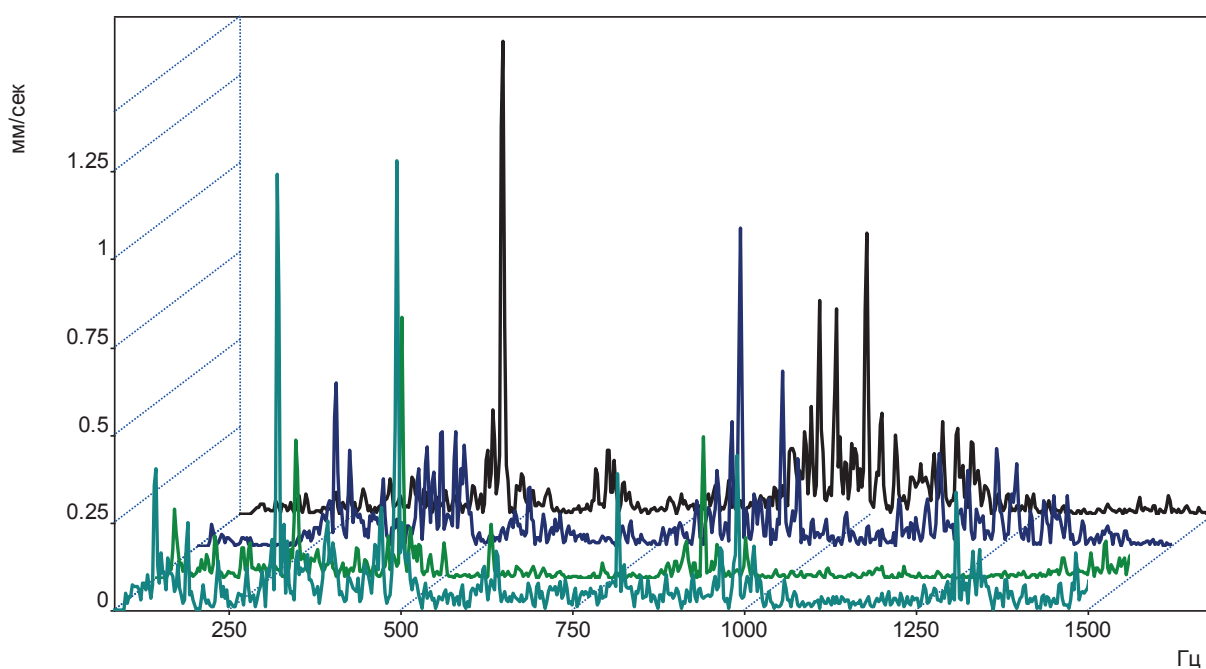


Рисунок 11 – Сравнение спектров виброскорости в диапазоне от 100 до 1500 Гц редуктора Р3

Таким образом, результаты оценки технического состояния с начала эксплуатации конвейеров на основе мониторинга параметров работающего масла и механических колебаний позволяют отследить изменение состояния элементов редуктора в зависимости от его нагрузки и скорости. Это позволит организовать работу по созданию нормативно-методической базы, которая обеспечит не

только своевременное получение достоверной информацию о состоянии оборудования, но и разрабатывать прогностические модели на основе значительного объема накопленной статистической информации, развития дефектов, служащие основой для безаварийной эксплуатации редукторов ленточных конвейеров.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гаммершмидт, А. А. Состояние и перспективы развития угольной промышленности Кузбасса / А. А. Гаммершмидт // Уголь. – 2015. – №5. – С. 14–15.
2. Клишин, В. И. Научное обеспечение инновационного развития угольной отрасли / В. И. Клишин, М. В. Писаренко // Уголь. – 2014. – № 9. – С. 42–46.
3. Современная теория ленточных конвейеров горных предприятий / В.И. Галкин [и др.]. – М.: Изд-во «Горная книга», 2005. – 543 с.
4. Галкин, В. И. Транспортные машины: Учебник для вузов / В.И. Галкин, Е.Е. Шешко. – М.: Изд-во «Горная книга», 2010. – 588 с.
5. Неразрушающий контроль: Справочник: В 8 т. / Под общ.ред. В.В. Клюева. Т. 7: В 2 кн. Кн. 1: В.И. Иванов, И.Э. Власов. Метод акустической эмиссии. Кн. 2: Ф.Я. Балицкий, А.В. Барков, Н.А. Баркова и др. Вибродиагностика. – 2-е изд., испр. – М.: Машиностроение, 2006. – 829 с.: ил.
6. Диагностика горных машин и оборудования / Б.Л. Герике [и др.]. – М.: ИПО «У Никитских ворот», 2012. – 400 с.
7. Конвейер шахтный ленточный грузопассажирский ЗЛЛ 1600. Руководство по эксплуатации. – ООО «Центр транспортных систем», 2011.
8. Транспортные машины и оборудование шахт и рудников: учеб.пособие / К. А. Васильев, А.К. Николаев, К.Г. Сазонов. – СПб.: Изд-во «Лань», 2012. – 544 с.
9. ГОСТ ИСО 10816-1-97 Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на не-вращающихся частях.
10. ГОСТ 6258-85 Нефтепродукты. Метод определения условной вязкости.
11. ГОСТ 26378.4-84 Нефтепродукты отработанные. Метод определения температуры вспышки в открытом тигле.
12. ГОСТ Р 52659-2006 Нефть и нефтепродукты. Методы ручного отбора проб.
13. ГОСТ 25371-97 Нефтепродукты расчет индекса вязкости по кинематической вязкости.
14. ГОСТ 6370-83 Нефть, нефтепродукты и присадки. Метод определения механических приме-сей.

MINE BELT CONVEYORS VARIABLE FREQUENCY DRIVE GEARBOXES TECHNICAL CONDITION MONITORING

Kuzin Ye. G., Gerike B. L.

In the article mine belt conveyors shut down analyses results and their technical condition monitoring questions relevance are reviewed. Conveyor variable frequency gearbox monitoring results through lubrication grease parameters and vibration are given.

Key words: BELT CONVEYOR, VARIABLE FREQUENCY DRIVE, TECHNICAL DIAGNOSTICS, LUBRICATION MATERIALS ANALYSES

*Кузин Евгений Геннадьевич
e-mail: kuzinevgen@gmail.com*

*Герике Борис Людвигович
e-mail: gbl_42@mail.ru*

IV. ПРОБЛЕМЫ И СУЖДЕНИЯ PROBLEMS AND OPINIONS

УДК 622.24.058

МАГНИТНЫЕ ЛОВИТЕЛИ КАК СРЕДСТВО СНИЖЕНИЯ ТРАВМАТИЗМА ПРИ БУРЕНИИ ПОДЗЕМНЫХ СКВАЖИН

В статье приводится обзор способов ликвидации аварий в буровых скважинах, в том числе, при искривлении ствола дегазационной скважины. Рассматривается возможность ведения аварийных работ в скважинах с помощью магнитных ловителей бурового инструмента на постоянных магнитах.

Ключевые слова: БУРОВАЯ СКВАЖИНА, БУРОВОЙ ИНСТРУМЕНТ, АВАРИЯ, ТРАВМАТИЗМ, ЛОВИЛЬНЫЙ ПРЕДМЕТ

Под аварией в процессе бурения понимается непредвиденное прекращение технологического процесса, вызванное прихватом или поломкой бурового инструмента с оставлением в скважине его элементов, для извлечения которых требуется проведение специальных ловильных работ.

Аварийно-восстановительные работы при бурении и эксплуатации скважин, в частности, связанные с извлечением оборванного бурового инструмента, как показывает опыт, являются длительным и трудоемким процессом, включающим в себя значительную долю травмоопасного ручного труда. Успех извлечения металла из скважин зависит от таких факторов, как горнотехнические условия, опыт и интуиция работников, тип и надежность ловильных инструментов. Металлические предметы извлекают магнитными ловителями, колоколами и метчиками различных типов. В случае многих неудачных рейсов ловителя в скважину металлические предметы подвергаются разрушению с помощью долот или башмачных фрезеров, торпед направленного действия, химическим или термическим способами. Как крайняя мера - забуривается новый ствол скважина, в который затем сталкиваются металлические предметы и цементируются там.

Прихват или поломка бурового инструмента, когда в скважине остаются его элементы, связаны с искривлением ствола скважины. Практический опыт позволяет определить причины отклонения скважины от прямолинейности, которые зависят в основном от геологических условий. Технологические и технические факторы также оказывают определенное влияние. Причины искривления скважин геологического характера - неоднородность среды, в которой проводится скважина. Искривление скважин происходит при встрече бурового инструмента с твердой поверхностью слоев породы, при встрече твердых включений в виде колчеданов, а также при встрече дизъюнктивных геологических нарушений и трещин.

Подземные дегазационные скважины ориентированы под определенным небольшим углом (до 35°), при котором сам став буровых штанг под действием собственного веса искривляется по параболе (рис. 1).

С другой стороны, буровой инструмент (поз.1 на рис.1) встречается с многочисленными прослойками породы разной поверхностной твердости, которые отражая инструмент, оказывают искривляющее воздействие. В результате искривления происходит обрыв буровых штанг в позиции 2 (рис.1). Многолетний опыт бурения дегазационных скважин под



А. М. Ермолаев
д-р техн. наук, научный консультант
АО «НЦ ВостНИИ»



М. Т. Кобылянский
д-р техн. наук, профессор кафедры
ФГБОУ ВПО «КузГТУ им. Т.Ф.
Горбачева»



Т. В. Богданова
старший преподаватель кафедры
ФГБОУ ВПО «КузГТУ им. Т.Ф.
Горбачева»



Д. М. Кобылянский
канд. техн. наук, старший преподаватель
кафедры ФГБОУ ВПО «КузГТУ им.
Т.Ф. Горбачева»

углом 20-30° в кровле пласта 26а на шахте «Абашевская» (Кузбасс) показал, что обрыв бурового става происходит при длине скважин в пределах 35-45 м. Поэтому для предотвращения обрывов длина скважин была определена в пределах 30-32 м.

Как показывает практика, при обрыве буровых штанг неопытные бурильщики зачастую продолжают работу. В результате трение металла о металл приводит к нагреванию буровой стали, что в газовых условиях может вызвать взрыв метана.

В настоящее время наблюдается отставание развития техники для проведения аварийно-восстановительных работ в скважинах от развития буровой техники в целом. Несовершенство и

невысокие эксплуатационные параметры существующих ловильных инструментов затрудняют и увеличивают стоимость проведения работ по ликвидации аварий в бурении.

Наиболее эффективный способ очистки скважины от металла – извлечение его без предварительного разрушения с помощью захватных ловильных устройств. Захватные ловители предназначены для захвата и извлечения насосно-компрессорных, бурильных, обсадных труб и их элементов, целых и разрушенных турбо- и электробуров, долот и другого оборудования. По принципу действия захватные ловильные устройства разделяются на механические (зажимные, врезные, спиральные), магнитные, гидроструйные и сварочные.

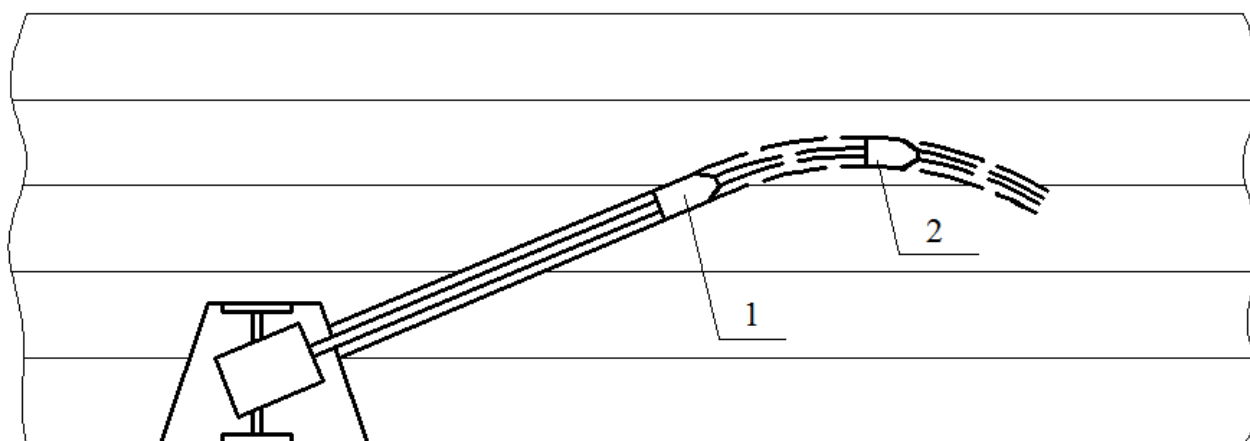


Рисунок 1– Искривление ствола скважины в процессе бурения: 1 - буровая коронка на прямолинейном участке скважины; 2 - оборванная буровая коронка на искривленном участке скважины.

При невозможности по тем или иным причинам извлечения из скважины аварийного бурового инструмента его полностью фрезеруют режущим скважинным инструментом (фрезером). Бурильные трубы разрезают труборезами, «окна» в обсадных колоннах для забуривания нового ствола скважины прорезают райберами. В ряде случаев в глубоких скважинах, а также при большой длине застрявших аварийных объектов фрезерование становится нецелесообразным.

Помимо перечисленных видов скважинных инструментов также применяются комбинированные устройства, сочетающие в одной конструкции различные принципы работы, например, гидромеханический фрезер-паук.

Произведем оценку эффективности захватных ловильных инструментов с точки зрения выполнения основной функциональной задачи – надежной очистки скважины от аварийного бурового инструмента.

Зажимные механические ловители являются самым многочисленным подклассом улавливающих устройств. Они применяются

для ликвидации всех видов аварий, но особенно эффективны при извлечении оборванных или прихваченных бурильных и обсадных труб и забойных двигателей. Долота, элементы забойных двигателей и посторонние металлические предметы могут извлекаться пауками различной конструкции. Основным достоинством зажимных ловителей является их большая грузоподъемность. Они имеют ряд существенных недостатков. Низкая надежность поиска и захвата - предметы выскальзывают из зажимных устройств, что вызывает необходимость неоднократно осуществлять подачу ловителя на забой для извлечения бурового инструмента из скважины. Малая универсальность (диапазон применимости) и долговечность (как правило, одно- двукратное использование), а также высокая трудоемкость снижают эффективность применения зажимных ловителей.

Врезные ловители захватывают и извлекают из скважины предметы за имеющуюся или вновь нарезаемую в их теле внутреннюю

(метчики) или внешнюю (колокола) резьбу. Метчики применяются главным образом при авариях с колоннами бурильных труб. Колокола, кроме того, могут использоваться для извлечения долот, расширителей, деталей забойных двигателей и других металлических предметов. Врезные ловители обладают большой грузоподъемностью, простой и надежной конструкцией. Однако, как и зажимные ловители, они имеют узкую область применения, большую степень износа, объясняющуюся характером работы инструмента, и быстро выходят из строя.

Магнитные ловильные инструменты по принципу действия совершенно отличаются от рассмотренных выше. В магнитных ловителях для захвата аварийного бурового инструмента используется энергия магнитного поля, воздействующего на извлекаемые металлические предметы. Благодаря этому исчезает необходимость в механических зажимных узлах. Однако отсутствие узлов с легко контролируемой и осязаемой силой удержания предметов, создающее определенную неуверенность в надежности работы магнитных устройств, послужило причиной создания множества комбинированных магнитомеханических ловителей. В отечественной и зарубежной практике ремонта скважин магнитные ловильные устройства являются наиболее распространенным видом инструмента.

По способу создания силового магнитного поля магнитные ловители разделяются на электромагнитные устройства и ловители на постоянных магнитах. Исследования, проведенные фирмами США, показали бесперспективность электромагнитных ловителей вследствие сложной технологии спуска и подъема инструмента [1].

В настоящее время в различных областях техники магнитные устройства на постоянных магнитах перешли в категорию наиболее перспективных и прогрессивных приспособлений. Новым направлением в конструировании грузоподъемных устройств является замена электромагнитов постоянными магнитами. Как показала эксплуатация грузоподъемных устройств на постоянных магнитах, при одинаковых габаритах и массе они способны поднять груз в 3-6 раз больше, чем электромагнитные устройства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кобылянский, М.Т. Теоретические основы создания магнитных ловителей бурового инструмента / М.Т. Кобылянский, Т.В. Богданова – Кемерово: КузГТУ, 2013. – 244 с.

Анализ магнитных ловильных устройств в целом и сравнение их с другими типами ловителей показывают преимущество магнитного принципа захвата извлекаемых из скважин элементов бурового инструмента по сравнению с механическими способами. При магнитном захвате не имеют большого значения ни форма поверхности, ни размеры, ни механические свойства извлекаемых металлических предметов, ни положение, в котором они лежат на забое. При улавливании магнитным инструментом облегчен поиск захват извлекаемых предметов на забое скважины, что значительно сокращает продолжительность и трудоемкость проведения ловильных работ [1].

В Кузбасском государственном техническом университете им. Т.Ф. Горбачева разработаны конструкции броневых магнитных ловителей на постоянных магнитах различных типоразмеров для взрывных, глубоких нефтегазовых, сверхглубоких и других скважин, обладающие силовыми и магнитными параметрами, в 3-8 раз превышающими параметры серийных магнитных ловителей равных типоразмеров. Существенное повышение параметров магнитных ловителей достигнуто за счет применения высокоэффективной броневой компоновки магнитных систем, являющейся изобретением. Промышленные испытания и длительная опытно-промышленная эксплуатация магнитных ловителей на более чем 30 горных предприятиях России и стран ближнего зарубежья показали их высокую эффективность и надежность при ликвидации различных видов аварий, универсальность, прочность конструкций, безопасность в эксплуатации [2].

В результате применения новых магнитных ловителей в скважинах различного назначения отмечено снижение травматизма на 25% [3]. Кроме этого установлено:

- снижение процента бракуемых скважин в 1,3-2,6 раза;
- уменьшение расхода бурового инструмента на 2,5-3,5%;
- сокращение среднего времени ликвидации аварий в 2-3 раза;
- надежность извлечения оборвавшихся элементов бурового инструмента составляет 98% [2].

2. Кобылянский, М.Т. Магнитные ловители бурового инструмента (анализ и синтез): дис. ... докт. техн. наук:05.05.06 / М.Т. Кобылянский – Кемерово, 1999. - 373 с.

3. Курников, Ю.А. Магнитные устройства для очистки скважин / Ю.А. Курников, И.Ф. Концур, М.Т. Кобылянский, Л.И. Романишин; Под ред. Ю.А. Курникова. – Львов: Вища школа, 1988.-108 с.

MAGNETIC CATCHERS AS THE MEAN TO REDUCE NUMBER OF INJURIES DURING UNDERGROUND HOLES DRILLING

Yermolaev A. M., Kobylansky M. T., Bogdanova T. V., Kobylansky D. M.

In the article the review of boreholes accident results liquidation including cases of degassing hole curving is given. Possibility to carry out the accident liquidation work in the boreholes using the drilling tool magnetic catchers on permanent magnets.

Key words: BOREHOLE, DRILLING TOOL, ACCIDENT, INJURY RATE, CATCHING SUBJECT

Ермолаев Алексей Михайлович

Кобылянский Михаил Трофимович
e-mail: mixail.prof@yandex.ru

Богданова Татьяна Витальевна

Кобылянский Дмитрий Михайлович



GaSos

Стационарный газоанализатор контроля параметров атмосферы в зоне отработанного пространства

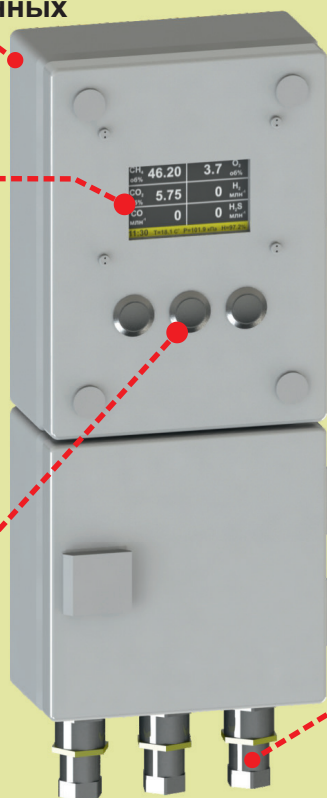
Блок индикации и передачи данных

Индикация

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

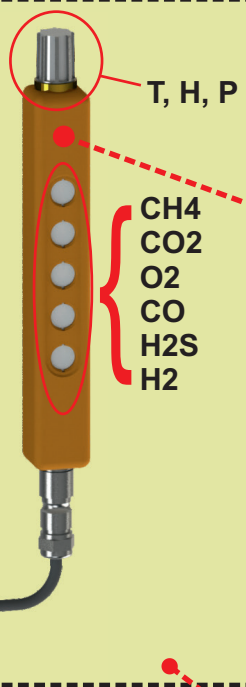
Управление

Антивандалные кнопки



Передача данных

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



Т, Н, Р

CH₄
CO₂
O₂
CO
H₂S
H₂

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

Зона отработанного пространства

УДК 614.841.12:614.838

ПРИКЛАДНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ГОРЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДНЫХ СМЕСЕЙ

В статье описывается постановка задачи моделирования потока оптического излучения очага взрыва топливо-воздушных (углеводородных) смесей на начальной стадии развития на примере атмосферы угольных шахт. Рассмотрены параметры атмосферы угольных шахт. Проанализирован механизм воспламенения и горения метановоздушных смесей в атмосфере угольных шахт. Предложен подход к решению прикладной задачи моделирования для определения изменения во времени оптического излучения в процессе развития горения метановоздушных смесей. Сформулированы исходные данные для проведения моделирования.

Дальнейшая работа направлена на моделирование потока оптического излучения очага взрыва топливо-воздушных (углеводородных) смесей на начальной стадии развития на примере атмосферы угольных шахт в соответствии с постановкой задачи расчета.

Ключевые слова: ОПТИЧЕСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ, ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЙ ДАТЧИК, ОЧАГ ВЗРЫВА, ГОРЕНИЕ, МЕТАНО-ВОЗДУШНАЯ СМЕСЬ

1 ВВЕДЕНИЕ

Современная промышленность насчитывает несколько десятков процессов, являющихся взрывоопасными. Поэтому актуальной задачей является разработка теоретических основ, методов и средств активного взрывоподавления на потенциально опасных производствах и объектах со взрывоопасными газодисперсными средами с целью снижения риска и последствий техногенных аварий. Среди всех опасных производств наиболее тяжелыми по своим последствиям по-прежнему остаются аварии, связанные с воспламенением метана и угольной пыли в угольных шахтах, которые в большинстве случаев носят характер катастроф [1-3]. Для повышения уровня безопасности на опасных производствах могут быть использованы распределенные автоматические системы взрывоподавления, построенные на основе оптико-электронных приборов [4, 5].

Для обоснованного выбора мероприятий по предотвращению распространения очага горения (взрыва) необходимо знание механизма возникновения и развития горения топливно-воздушных (углеводородных) смесей. Однако проведение

огневых испытаний для этих целей – всегда трудоемкий, дорогостоящий и достаточно опасный процесс. Решение задачи математического моделирования процесса воспламенения и горения позволит сделать исследование необходимых параметров и характеристик очага взрыва углеводородных смесей на начальной стадии развития менее затратными и более безопасными.

В связи с вышеизложенным была сформулирована цель: выполнить постановку задачи моделирования потока оптического излучения очага взрыва топливо-воздушных (углеводородных) смесей на начальной стадии развития на примере атмосферы угольных шахт.

Для достижения поставленной



А. И. Сидоренко

канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры Бийского технологического института (филиала) ФГБОУ ВО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»



С. А. Лисаков

аспирант кафедры Бийского технологического института (филиала) ФГБОУ ВО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»



А. Н. Павлов

канд. техн. наук, доцент кафедры Бийского технологического института (филиала) ФГБОУ ВО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»



Е. В. Сыпин

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



Г. В. Леонов

д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой Бийского технологического института (филиала) ФГБОУ ВО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»

цели необходимо решить следующие задачи:

- рассмотреть параметры атмосферы угольных шахт;
- проанализировать механизм воспламенения и горения метановоздушных смесей в атмосфере угольных шахт;
- предложить подход к решению прикладной задачи моделирования для определения изменения во времени оптического излучения в процессе развития горения метановоздушных смесей;
- сформулировать исходные данные для проведения моделирования.

II ПАРАМЕТРЫ АТМОСФЕРЫ УГОЛЬНЫХ ШАХТ И МЕХАНИЗМ ГОРЕНИЯ МЕТАНОВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ

Наиболее распространенным рудничным газом, представляющим огромную взрывоопасность, является метан (CH_4). В горных выработках не исключено появление веществ, более опасных по своим взрывчатым свойствам, чем метан (например, водород, тяжелые предельные углеводороды), но, принимая во внимание, что выделение метана имеет несравнимо большие масштабы, чем выделение прочих взрывчатых газов, именно метан представляет наибольшую опасность в шахтах и рудниках. Исключением из этого правила являются некоторые нефтяные и озоокритовые шахты и отдельные соляные, металлургические и апатитовые рудники.

Особую группу пожаровзрывоопасных веществ представляют горючие пыли – дисперсная система, состоящая из твердых частиц размером менее 850 мкм, находящихся во взвешенном или осевшем состоянии в газовой среде, способная к самостоятельному горению в воздухе нормального состава [6]. Чаще всего источником воспламенения угольной пыли является воспламенение или взрыв метана, энергии которого вполне достаточно для воспламенения облака витающей взрывчатой угольной пыли. Движущийся фронт ударной волны взрыва метановоздушной смеси переводит с большой скоростью отложившуюся в выработке угольную пыль во взвешенное состояние, что приводит к катастрофическим последствиям.

Распределение шахтных аварий показывает [7], что, как правило, крупные аварии начи-

нались со вспышки метановоздушных смесей и переходили во взрывы пылевоздушных смесей, которые способны распространяться на довольно значительные расстояния, вызывая катастрофические разрушения на пути их следования. Это обусловлено, главным образом, более низкой чувствительностью пылевоздушных смесей к воспламеняющему импульсу по сравнению с метановоздушными, а также более высокой критической температурой вспышки, что видно из таблицы 1 [8].

Таким образом, на начальной стадии развития взрывного горения (до образования ударной волны) угольная пыль не участвует, и в процессе воспламенения участвует только метановоздушная смесь.

Для возникновения вспышек или взрывов необходимо наличие двух составляющих – взрывчатой газовой смеси и источника ее воспламенения. В условиях угольных шахт воспламенение горючих природных газов происходит при атмосферном давлении и выше, например, в результате сжатия газовой смеси при прохождении ударной волны по горной выработке, и при высоких средних температурах: 923 °К для метана. При большой скорости теплообразования и тепловыделения скорость отвода тепла может оказаться недостаточной, в результате температура реакционной зоны и, следовательно, скорость реакции быстро увеличиваются, и реакция горения заканчивается взрывом. В таких условиях взрыв относится к тепловым, а механизм самоускорения цепной реакции имеет тепловую природу. Минимальная энергия воспламенения метана составляет 0,28 мДж, однако при таком значении в реальных условиях не всегда происходит воспламенение, поэтому при проведении экспериментальных исследований в МакНИИ использовался источник воспламенения с энергией 4,5 кДж, обеспечивающий уверенное поджигание смеси [9].

Результаты анализа взрывов метана показывают, что наиболее распространенным источником воспламенения метановоздушной смеси является электрооборудование (электрическое искрение), за ним следуют взрывные работы и искры от соударения металлов, в том числе и зубков комбайнов о включения пирита [7].

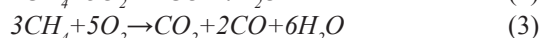
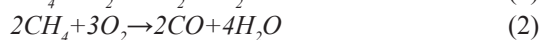
Таблица 1 – Параметры воспламенения смесей

Вид смеси	Минимальная энергия воспламенения, Дж	Критическая температура воспламенения, °К
Метановоздушная	$0,28 \cdot 10^{-3}$	923
Пылевоздушная	15,0	1123

Образовавшееся в атмосфере горной выработки горение (взрыв) горючей смеси является в первую очередь химическим процессом, в основе которого лежат реакции химического превращения одних веществ в другие. Основные исходные компоненты – горючее (рудничные газы) и окислитель (кислород) в обычных, не экстремальных, условиях находятся в относительно устойчивом молекулярном состоянии, прежде чем претерпевают цепь сложных промежуточных превращений, результатом которых является образование неустойчивых продуктов – атомов радикалов и возбужденных молекул с относительно большой степенью ионизации. Эти химически активные продукты, образующиеся на отдельных стадиях цепной реакции горения (взрыва), являются активными центрами, которые, обладая повышенной реакционной способностью, легко реагируют между собой и с поступающими в зону горения молекулами исходных компонентов [7].

В метанообильных шахтах воздух по своему составу отличается от нормального атмосферного воздуха над земной поверхностью в результате замещения выделяющимся метаном части кислорода и азота. Метан в смеси с кислородом воздуха в определенной пропорции обладает взрывчатостью, азот воздуха не участвует в таких взрывах. Нижним пределом взрывчатости метана считается смесь с концентрацией его в воздухе 5 %, верхним пределом – 16 % [7].

Так, трем величинам концентрации метана в воздухе: 9,5, 11,2 и 12,3%, соответствуют три основные реакции взрыва метаноокислородной смеси по приведенным ниже уравнениям:



Наиболее активной и быстрой является реакция 1-го вида (при довзрывной концентрации метана в воздухе 9,5 %), в которой один объем метана взаимодействует с двумя объемами кислорода. При этом в поствзрывной атмосфере помимо воды выделяется только углекислый газ, содержание которого в зоне взрыва в точности равно довзрывному содержанию метана в шахтной атмосфере.

На концентрационные пределы распространения пламени горения (пределы взрывчатости) существенное влияние оказывают примеси инертных газов, содержащихся в газовой смеси, и в меньшей степени – давление и температура. Влияние давления на концентрационные пределы газовой и пылевоздушной смесей существенно сказывается при давлениях, зна-

чительно меньших атмосферного, поэтому влиянием давления на пределы взрывчатости газовых смесей в горных выработках угольных шахт можно пренебречь.

Влияние температуры также проявляется довольно слабо вследствие того, что для распространения пламени существенное значение имеет не начальная температура газовой смеси, а температура, развивающаяся в процессе горения. При большом тепловом эффекте экзотермической реакции температура горения весьма слабо зависит от начальной температуры смеси, поэтому изменение концентрационного предела, эквивалентное начальному нагреванию, сравнительно невелико, а область взрываемости с ростом температуры постепенно расширяется.

Таким образом, для моделирования в качестве начальных условий можно выбрать среднюю по шахте температуру и давление, составляющие 18°C и 105 Па [8].

На ранней стадии развития воспламенения скорость распространения пламени составляет для большинства углеводородных газов 0,28–1,60 м/с [10], что не вызывает образования взрывной волны. Однако ускорение процесса горения в реальных условиях может быть вызвано неоднородностями среды распространения, вызывающих турбулизацию фронта пламени. При значениях скорости фронта пламени, составляющих 100–300 м/с, возникает дефлаграционное горение, которое вызывает образование взрывных волн с максимальным избыточным давлением 20–100 кПа. Достижение взрывного характера горения газов происходит в течение примерно 0,1 с. При дальнейшем ускорении дефлаграционные процессы переходят в детонационные, скорость которых достигает 1–5 км/с [11]. При моделировании на начальной стадии горение можно считать ламинарным.

Для практического применения результатов моделирования временной период регистрации развития горения метановоздушной смеси должен быть согласован со временем реакции опико-электронного прибора обнаружения очага возгорания. Наиболее быстродействующие из известных приборов обнаружения взрывов обладают временем реакции, не превышающим 3 мс [5].

III ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ПРИКЛАДНОЙ ЗАДАЧИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГОРЕНИЯ МЕТАНОВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ

По результатам анализа взрывов метана в шахтах по месту их происшествия установлено, что в 64,4 % случаев взрывы случались в горных выработках, более половины которых произо-

шло в действующих тупиках [7] (рис. 1). При этом основной причиной взрыва явилось загазование до взрывоопасных концентраций из-за нарушения вентиляции [7].

Поскольку взрывы наиболее часто происходят в тупиковых забоях, в качестве ограничивающего пространства для моделирования возгорания метановоздушной смеси можно использовать вытянутый параллелепипед с одним входом и одним свободным выходом (рис. 2).

Для проведения моделирования процесс возникновения и развития горения в тупиковой выработке угольной шахты можно описать следующим образом. На первом этапе в выработку

подаётся метан из щелей угольного пласта («холодное» течение без горения) и смешивается с воздухом. Как только концентрация метана достигает требуемого уровня (до получения стехиометрической смеси) выполняется поджиг и горение перемешанной смеси.

Существуют CAE-системы для автоматизации моделирования и расчета процесса горения. Одним из подходов к решению задачи компьютерного моделирования горения является использование модели слабосжимаемой жидкости, позволяющей моделировать течение газовой смеси при произвольных изменениях плотности и больших (турбулентных) числах

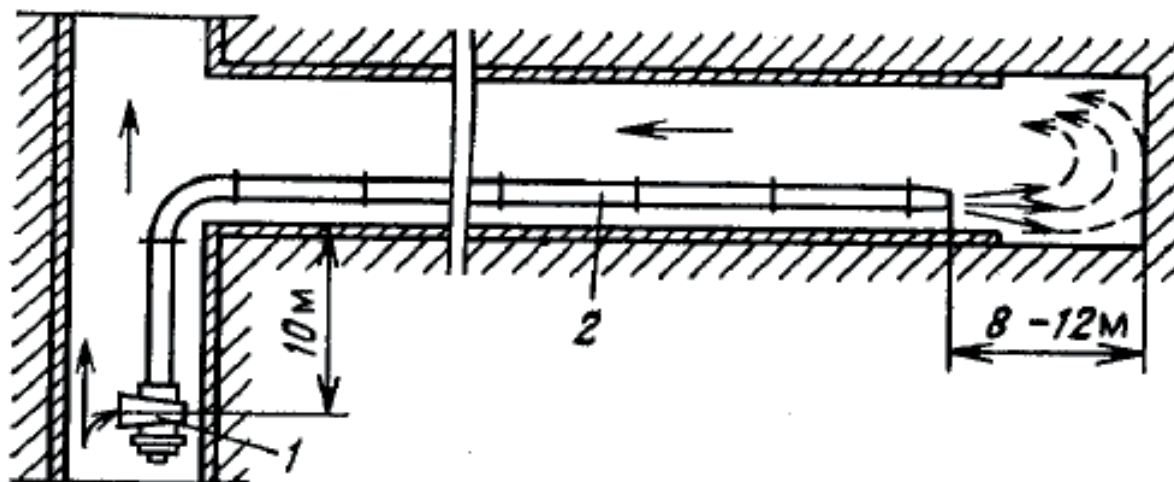


Рисунок 1 – Схема тупикового проходческого забоя : 1 – вентиляторная установка; 2 – воздуховод

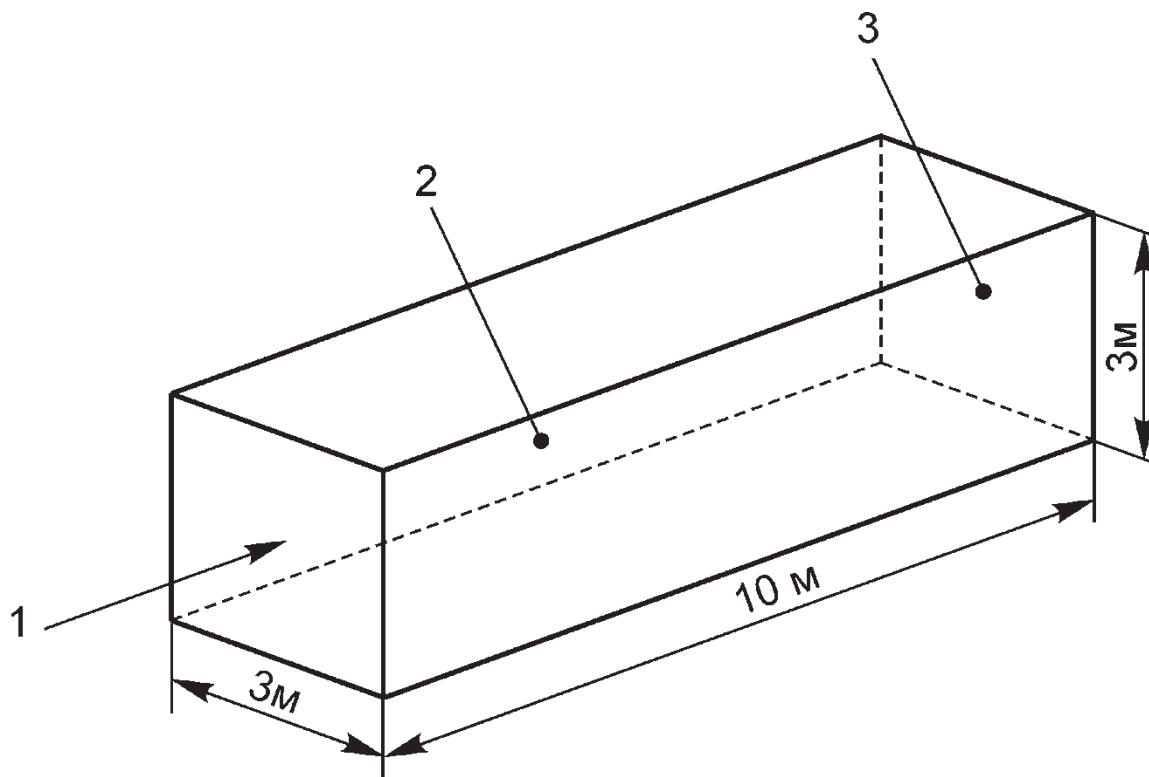


Рисунок 2 – Схема ограничивающего пространства для моделирования: 1 – место подачи метана; 2 – место зажигания; 3 – открытая стенка

Рейнольдса. Допустимым является допущение о том, что горение является одношаговой необратимой реакцией.

Моделирование горения метановоздушной смеси может быть выполнено с помощью специализированного программного обеспечения FlowVision [12].

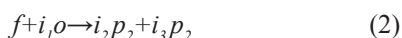
При моделировании горения в программном комплексе FlowVision решаются полные (без упрощений) уравнения Навье-Стокса, уравнение энергии, записанное через полную энтальпию, и уравнения для турбулентных переменных k и ε (k – турбулентная энергия; ε – скорость диссипации турбулентной энергии).

Модель горения FlowVision предполагает, что в смеси веществ присутствуют, минимум, три вещества и протекает одна необратимая брутто-реакция [13].

В FlowVision можно задать брутто-реакцию, в которой образуется один продукт (в общем случае – смесь газов):



либо реакцию, в которой образуется два продукта:



где f – компонент «горючее»; o – компонент «окислитель»; p – компонент «продукты горения»; i_1 – стехиометрический коэффициент при окислителе; $i_{2,3}$ – стехиометрические коэффициенты при продуктах горения.

Если $i_3 = 0$, то задана реакция (1). В этом случае:

$$i_2=i_1+1 \quad (3)$$

Если $i_3 > 0$, то задана реакция (2). В этом случае коэффициенты i_2, i_3 вычисляются по стехиометрии реакции и молярным массам компонентов. В уравнениях, приведённых ниже, предполагается (более общая) реакция (2).

Для компонента «горючее» в общем случае решаются два уравнения: однородное для восстановленной массовой доли горючего:

$$\frac{\partial(\rho Y_f^*)}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\rho Y_f^* V) + \vec{\nabla} \cdot J_{f,eff}^* = 0 \quad (4)$$

и неоднородное – для истинной массовой доли горючего:

$$\frac{\partial(\rho Y_f)}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\rho Y_f V) + \vec{\nabla} \cdot J_{f,eff} = -W_f \quad (5)$$

где ρ – плотность смеси, кг/м³;

Y_f – истинная массовая доля горючего;

V – вектор скорости, м/с;

$J_{f,eff}$ – диффузионный поток компонентов газовой смеси;

W_f – скорость реакции горения, кг/(м³с).

Здесь и далее звёздочкой обозначены восстановленные массовые доли и диффузион-

ные потоки компонентов газовой смеси.

Выражение для источникового члена уравнения (5) определяется выбранной моделью горения. Поскольку на начальной стадии горение можно считать ламинарным, то можно использовать модель Аррениуса. При этом скорость реакции горения W_f определяется кинетикой процесса, что справедливо при ламинарном течении смеси горючего и окислителя.

Для перемешанной до молекулярного уровня смеси топлива и окислителя скорость W_f брутто-реакции имеет вид закона Аррениуса:

$$W_f = W_{kin} = AT_{abs}^n e^{-B/T_{abs}} \rho^2 Y_f^{n_f} Y_o^{n_o} \quad (6)$$

где T_{abs} – абсолютная температура, К; A и B – кинетические константы ($A=1010, B=18400$);

n, n_f, n_o – параметры кинетической реакции ($n=0, n_f=n_o=1$);

Y_o – истинная массовая доля окислителя.

Кинетические константы в законе Аррениуса взяты из работы [14].

Истинная массовая доля окислителя восстанавливается следующим образом:

$$Y_o = \begin{cases} Y_o^* - \Delta f \cdot i_1, & \text{если } Y_o^* > \Delta f \cdot i_1 \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (7)$$

Восстановленная массовая доля окислителя Y_o^* вычисляется по формуле (8):

$$Y_o^* = 1 - Y_f^* - Y_{p1}^* - Y_{p2}^* - \sum_{i=p2+1}^N Y_i \quad (8)$$

Истинные массовые доли продуктов горения Y_{p1} и Y_{p2} вычисляются по формулам (9), (10):

$$Y_{p1} = Y_{p1}^* + \Delta f \cdot i_2 \quad (9)$$

$$Y_{p2} = Y_{p2}^* + \Delta f \cdot i_3$$

$$\Delta f = Y_f^* - Y_f \quad (10)$$

Термодинамическая энтальпия находится в результате решения уравнений (11, 12) итерационным методом:

$$h(T) = \sum_{i=1}^N h_i(T) Y_i \quad (11)$$

$$h_i(T_{abs}) = h_0(298.15) + \int_{298.15}^{T_{abs}} C_p(T) dT \quad (12)$$

где h_0 – энтальпия образования при 298.15 °К, м²с⁻²;

C_p – удельная теплоёмкость Дж/кг⁻¹К⁻¹;

Y_i – массовая доля вещества i .

В программном комплексе FlowVision момент инициирования горения описывается возникновением соответствующей температуры воспламенения в заданной области.

Исходные данные для проведения моделирования горения метановоздушной смеси на начальной стадии развития приведены в таблице 2.

Решение задачи математического моделирования в данной работе относится к при-

Таблица 2 – Исходные данные для проведения моделирования

Параметр	Значение
Температура воспламенения	923 °К
Модель горения во flowvision	Модель 'Аррениус'
Граничные условия	Параллелепипед 3×3×10 м с одним входом и одним свободным выходом
Стехиометрический коэффициент (метан-воздух)	17,24
Плотность метана	0,71 кг/м ³
Плотность воздуха	1,225 кг/м ³
Теплопроводность метана	0,026 Вт/м*К
Теплопроводность воздуха	0,0244–0,0807 Вт/м*К (для 273 и 1273 °К соответственно)
Нормальная массовая скорость метана	0,0744545 кг/м ² с
Температура смеси	18°С
Давление	10 ⁵ Па

кладной области исследований и позволяет получить изменение во времени распределения спектральной плотности потока оптического излучения по длине волны $Me(\lambda)$ в процессе развития горения углеводородных смесей с воздухом. Данная информация является необходимой при проектировании оптико-электронных приборов контроля воспламенения.

С помощью математического моделирования, используя программный комплекс FlowVision, для заданных исходных данных (табл. 2) необходимо получить изменение температуры T и диаметра D очага возгорания во времени, начиная от момента поджигания метановоздушной смеси. Затем с помощью базы данных HITRAN [15] по известному объемному составу смеси продуктов горения (соотношение CO_2 и H_2O), температуре, давлению и размеру очага можно получить спектральное распределение излучения в требуемом диапазоне длин волн и в требуемый момент времени в процессе развития горения.

IV ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения работ была выполнена постановка задачи моделирования потока оптического излучения очага возгорания топливо-воздушных (углеводородных) смесей на начальной стадии развития на примере атмос-

феры угольных шахт.

Решены следующие задачи:

- рассмотрены параметры атмосферы угольных шахт;
- проанализирован механизм горения и воспламенения метано-воздушных смесей метано-воздушных смесей в атмосфере угольных шахт;
- предложен подход к решению прикладной задачи моделирования для определения изменения во времени оптического излучения в процессе развития горения метано-воздушных смесей с использованием программного комплекса FlowVision;
- сформулированы исходные данные для проведения моделирования.

Дальнейшая работа направлена на моделирование потока оптического излучения очага взрыва топливовоздушных (углеводородных) смесей на начальной стадии развития на примере атмосферы угольных шахт в соответствии с постановкой задачи расчета.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 15-08-06719 «Разработка научных основ построения системы предотвращения и локализации взрывов на потенциально опасных промышленных объектах».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аварийность и травматизм в угольной отрасли в 2011 г. // Управление по надзору в угольной промышленности. Информационный бюллетень Федеральной службы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ib.safety.ru/assets/pdf/Bull_61/Bull_61_2-14.pdf.
2. Аварии в угольной промышленности // Промышленная безопасность. 30.07.2015 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://prom-nadzor.ru/content/avarii-v-ugolnoy-promyshlennosti>.

3. О состоянии аварийности и травматизма на предприятиях угольной отрасли за 2014 год / Доклад заместителя начальника Управления по надзору в угольной промышленности Ростехнадзора С.В. Мясникова // Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://minenergo.gov.ru/system/download-pdf/3356/3144>.

4. Сыпин, Е.В. Датчик обнаружения возгорания метана в воздуховоде угольной шахты / Е.В. Сыпин [и др.] // VII Всероссийская выставка научно-технического творчества молодёжи НТТМ-2008. Всероссийский конкурс научно-технического творчества молодёжи. Сборник материалов. – М.: ОАО «ГАО ВВЦ», 2008. – С. 62–63.

5. Пат. 2109345 Российская Федерация, МПК G 08 B 17/12. Пирометрический датчик пожарной сигнализации / Леонов Г.В., Станкевич Ю.Л., Каширин С.И. опубл. 20.04.1998, Бюл. № 11. – 4 с.

6. ГОСТ 12.1.041-83. Пожаровзрывоопасность горючих пылей. Общие требования. – Введен 1983–07–15. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 12 с.

7. Айруни, А.Т. Взрывоопасность угольных шахт / А.Т. Айруни, Ф.С. Клебанов, О.В. Смирнов. – М.: «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2011. – 264 с.

8. Шевцов, Н.Р. Взрывозащита горных выработок / Н.Р. Шевцов – Учебное пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Донецк: ДонНТУ, 2002. 280 с.

9. Нецепляев, М.И. Борьба со взрывами угольной пыли в шахтах / М.И. Нецепляев [и др.]. – М.: Недра, 1992. – 298 с.:

10. Стаскевич, Н.Л. Справочник по газоснабжению и использованию газа / Н.Л. Стаскевич, Г.Н. Северинец, Д.Я. Вигдорчик – Л.: Недра, 1990. – 762 с.

11. Бесчастнов, М.В. Промышленные взрывы. Оценка и предупреждение / М.В. Бесчастнов. – М.: Химия, 1991. – 432 с.

12. FlowVision [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://flowvision.ru>.

13. Маркова, Т.В. Развитие моделей горения в ПК flowvision [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://tesis.com.ru/infocenter/downloads/flowvision/fv_es12_tesis3.pdf.

14. Волков, Э.П. Моделирование образования окислов азота в турбулентном диффузионном факеле / Э.П. Волков, Н. Ю. Кудрявцев // Инженерно-физический журнал – 1989. – Т.56–№6. – С. 885-894.

15. HITRAN Home page [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://hitran.iao.ru>.

APPLIED MODELLING OF HYDROCARBON MIXTURE BURNING DEVELOPMENT

Sidorenko A. I., Lisakov S. A., Pavlov A. N., Sypin Ye. V., Leonov G. V.

The article describes the production of optical radiation flow modelling task of the air - fuel (hydrocarbon) compounds explosion at the initial stage of development on the coal mine atmosphere example. Coal mine atmosphere parameters are reviewed. The mechanism of ignition and combustion of methane-air mixtures in the atmosphere of coal mines is analyzed. An approach to solving the application task of modeling to determine the time change of the optical radiation in the process of methane-air mixtures burning development is suggested. The initial data for modeling are formulated.

Further work is aimed at the spot air - fuel (hydrocarbon) compounds blast optical radiation flow modeling in the initial development stage on the example of coal mine atmosphere in accordance with the stated calculation tasks.

Key words: OPTICAL RADIATION, OPTIC-ELECTRONIC SENSOR, EXPLOSION SPOT, BURNING, METHANE-AIR MIXTURE

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

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

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

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

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

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS IN ENGLISH

- Besperstov Dmitry Aleksandrovich – post graduate of FGBOU VO «KemTIPP».
- Bogdanova Tatiana Vitalievna – senior teacher of FGBOU VO «KuzGTU».
- Filatov Yury Mikhailovich – candidate of technical sciences, general director of JSC «NC VostNII».
- Fomin Anatoly Iosifovich – doctor of technical sciences, leading scientific researcher of scientific personnel training and certification department JSC «NC VostNII».
- Gerike Boris Ludvigovich – doctor of technical sciences, professor, chief scientific researcher of FGBNU «FIC UUCH RASc SB», chair professor of FGBOU VO «KuzGTU».
- Kalinin Stepan Illarionovich - PhD, Head of Research and Design Company "Kuzbass Coal Technology"
- Khludov Denis Stanislavovich – director of OOO «VostEKO».
- Kobyliansky Dmitry Mikhailovich – candidate of technical sciences, senior teacher of FGBOU VO «KuzGTU».
- Kobyliansky Mikhail Trofimovich – doctor of technical sciences, professor of FGBOU VO «KuzGTU».
- Kozyreva Elena Nikolaevna – candidate of technical sciences, laboratory head of FGBNU «FIC UUCH SB RASc».
- Kuzin Yevgeny Gennadievich – chair senior teacher of FGBOU VO «KuzGTU» branch in Prokopyevsk.
- Leonov Gennady Valentinovich – doctor of technical sciences, professor, chair head of Biisk Technological Institute (branch) FGBOU VO «AltGTU named after I.I. Polzunov».
- Leontieva Elena Vladimirovna – junior researcher of Institute of FGBNU «FIC UUCH SB RASc».
- Li Hi Un – doctor of technical sciences, professor, deputy director for science – scientific secretary of JSC «NC VostNII».
- Lisakov Sergey Anatolievich – chair postgraduate of Biisk Technological Institute FGBOU VO «AltGTU named after I.I. Polzunov».
- Makeev Maksim Pavlovich – candidate of technical sciences, senior scientific researcher of FGBNU «FIC UUCH SB RASc».
- Meshkov Anatoly Alexseevich - candidate of technical sciences, the first deputy general director - technical director of JSC "SUEK-Kuzbass"
- Musinov Stanislav Nikolaevich – deputy director of OOO «VostEKO».
- Nepeina Elena Sergeevna – leading engineer of Institute of FGBNU «FIC UUCH SB RASc».
- Olennikov Sergey Vasilievich – director of OOO «Gorny-COT».
- Pavlov Andrey Nikolaevich – candidate of technical sciences, chair assistant professor of Biisk Technological Institute FGBOU VO «AltGTU named after I.I. Polzunov».
- Plaksin Maksim Sergeevich – candidate of technical sciences, senior scientific researcher of FGBNU «FIC UUCH SB RASc».
- Podobrazhin Sergey Nikolaevich - Doctor of. Sciences; a leading expert of the department for supervision over an open coal mining and enrichment of Rostekhnadzor
- Polevshchikov Gennady Yakovlevich – doctor of technical sciences, professor, chief scientific researcher of FGBNU «FIC UUCH SB RASc».
- Popov Valery Borisovich – doctor of technical sciences, scientific consultant of JSC «NC VostNII».
- Riabtsev Andrey Aleksandrovich – leading engineer of Institute of FGBNU «FIC UUCH SB RASc».
- Rodin Roman Ivanovich – junior scientific researcher of Institute of FGBNU «FIC UUCH SB RASc».
- Route Gennady Nikolaevich - Ph.D., Associate Professor, Department of Surveying and Geology KuzGTU
- Rykov Aleksandr Mikhailovich – candidate of technical sciences, scientific consultant of JSC «NC VostNII».
- Saltymakov Yevgeny AQlekseevich – senior engineer of FGBNU «FIC UUCH SB RASc».
- Sergeev Oleg Arkadievich – laboratory head of AO «NIIGD».
- Shinkevich Maxim Valerievich – candidate of technical sciences, senior researcher of FGBNU «FIC UUCH SB RASc».
- Sidorenko Anton Igorevich – applicant, Biisk Technological Institute (branch) FGBOU VO «AltGTU named after I.I. Polzunov».
- Skatov Victor Vasilievich - Head of Department for Supervision in Rostekhnadzor.

Sokolov Sergey Vladislavovich – junior scientific researcher of FGBNU «FIC UCh SB RASc».

Stepanov Yury Aleksandrovich – candidate of technical sciences, assistant professor of Novokuznetck Institute (branch) FGBOU VPO «KemGU».

Sypin Yevgeny Victorovich – candidate of technical sciences, assistant professor, chair professor of Biisk Technological Institute (branch) FGBOU VO «AltGTU named after I.I. Polzunov».

Tailakov Oleg Vladimirovich – doctor of technical sciences, professor, scientific work and strategic development pro-rector of FGBOU VO «KuzGTU», laboratory head of FGBNU «FIC UCh SB RASc».

Tatsienko Victor Prokopevich - Ph.D., Director of the Institute of Industrial and Environmental Safety (IPEB) FGBOU IN "Kuzbass State Technical University named after TF Gorbachev "KuzGTU

Trubitsyn Anatoliy Alexandrovich - doctor of technical sciences, professor, deputy director for scientific work OOO «Vosteco+».

Trubitsyna Darya Anatolievna - executive editor of Vestnik, derictor of OOO «TSOT-Gorniy»

Tsuran Elena Mikhailovna – leading engineer of Institute of FGBNU «FIC UCh SB RASc».

Yarosh Aleksey Sergeevich – candidate of technical sciences, AO «NIIGD» deputy director for scientific work.

Yermolaev Aleksey Mikhailovich – doctor of technical sciences, laboratory scientific consultant of JSC «NC VostNII».

Voroshilov Yaroslav Sergeevich - candidate. tehn. Sciences, deputy director of "Gorniy-TSOT"

Zastrelov Denis Nikolaevich – candidate of technical sciences, senior scientific researcher of FGBNU «FIC UCh SB RASc».

ТРЕБОВАНИЯ К РАЗМЕЩЕНИЮ РЕКЛАМНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Научно-технический журнал «Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности» приглашает научные институты, организации и промышленные предприятия разместить информацию о конференциях, выставках, разрабатываемой и выпускаемой продукции в области охраны труда, безопасности в чрезвычайных ситуациях, пожарной и промышленной безопасности в угольной промышленности, контроля природной среды, веществ, материалов и изделий, а также приборостроения.

РАЗМЕРЫ РЕКЛАМНЫХ МОДУЛЕЙ:

- размер для 1 полосы: 216*303 мм, включая по 3 мм на обрезку с каждой стороны внешнего периметра, на корешок допуск ставить не нужно.
- 1/2 полосы вертикальная: 103*303 мм,
- 1/2 полосы горизонтальная: 216*151 мм
- 1/3 полосы горизонтальная: 216*92 мм
- 1/4 полосы горизонтальная: 216*67 мм
- 1/4 полосы вертикальная в верхнем или нижнем внешнем углу страницы: 103*151 мм

ТРЕБОВАНИЯ К РЕКЛАМНЫМ СТАТЬЯМ

1. Текст для статьи предоставляется только в текстовом редакторе Word.
2. Объем статьи: не более 4500 печатных знаков с пробелами (без изображений). При использовании фотографий объем текста пропорционально уменьшается.
3. Требования к фотографиям: формат *.eps* или *.tiff* с разрешением 300 dpi.
4. Логотип – в форматах *.cdr*, *.eps*, при этом шрифты должны быть переведены в кривые.
5. Текст рекламной статьи должен включать заголовок (подзаголовок), выходные данные заказчика: название, адрес, телефон, электронный адрес компании.

ТРЕБОВАНИЯ К РЕКЛАМНЫМ МАКЕТАМ

1. Размер электронного макета должен соответствовать размерам рекламного модуля.
2. Растровые файлы должны быть в форматах *.tif*, *.psd*, *.eps* с разрешением 300 dpi, векторные – *.ai*, *.eps* и *.cdr*.
3. Оригинал-макеты передаются в цветовой модели CMYK без компрессии.
4. Верстка может быть в форматах Adobe Illustrator, Corel Draw, Adobe InDesign (в этом случае должны предоставляться все связанные элементы, а также все используемые шрифты, обязательно макет должен так же прилагаться в pdf).
5. В макете, подготовленном в пакете Corel Draw не допускается наличие следующих эффектов: shadow, transparency, gradient fill, lens, texture fill и postscript fill. Все вышеперечисленные эффекты Corel Draw должны быть конвертированы в bitmap 300 dpi.
6. Черный цвет текста должен состоять только из черного канала – C:0, M:0, Y:0, K:100 или 100 Black в одноцветной шкале Grayscale.
7. Все текстовые элементы оригинал-макета должны быть переведены в кривые.
8. Текст и важные изображения (логотип и т. п.) не должны располагаться ближе 5 мм к обрезному краю.

Информация о расценках на размещение рекламы размещена на сайте www.indsafe.ru.

Редакция журнала оставляет за собой право отбора поступивших рекламных материалов.

ТРЕБОВАНИЯ, УСЛОВИЯ И ПОРЯДОК ПРЕДСТАВЛЕНИЯ РУКОПИСЕЙ В НТЖ «Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности»

I. Порядок представления материалов в редакцию

1. В журнал принимаются статьи, соответствующие его тематике – охрана труда, безопасность в чрезвычайных ситуациях, пожарная и промышленная безопасность в угольной промышленности, приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий.

2. Статья должна быть оригинальной, не представленной в других изданиях.

II. Форма представления рукописи

1. Рукопись представляется отпечатанной в текстовом редакторе Word через 1,5 интервала на одной стороне стандартного листа белой бумаги формата А4 и в электронном виде (передается по электронной почте ugosh_mv@mail.ru или на магнитном носителе).

2. Все страницы рукописи, включая таблицы, список литературы, рисунки должны быть пронумерованы. Рекомендуемый объем статьи 5–7 страниц. Статья должна быть подписана всеми авторами.

3. Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

Подготовка электронной версии материалов

1. Текст набирается шрифтом Arial, размер шрифта 10, для заголовка 14, полуторный интервал, абзацный отступ 1,25 см, формат листа А4. Поля с левой стороны 3 см, сверху и снизу 2 см, справа 1,5 см;

2. Электронная версия должна быть идентична распечатанному тексту. В случае расхождения за основу берется печатный вариант.

Структура статьи

1. Индекс УДК.

2. Фотографии всех авторов (форматы: TIF, Jpeg, Png, не сканированные, не ретушированные, не обрезанные, разрешение 300 dpi).

3. Инициалы и фамилия автора (ов).

4. Место работы.

5. Название статьи.

6. Реферат.

7. Ключевые слова.

8. Текст статьи с таблицами, иллюстрациями, формулами.

9. Библиографический список (оформленный в соответствии с ГОСТ 7.1-2003).

На отдельном листе или в конце статьи размещается «Список авторов», который должен содержать:

– публикуемые сведения об авторах (фамилия, имя, отчество, ученая степень, ученое звание, должность и место работы);

– служебные или домашние адреса с указанием почтового индекса;

– служебный или домашний телефоны (факс, e-mail).

Обращаем ваше внимание, что представление оригинальной статьи к публикации в НТЖ означает согласие авторов на передачу права на воспроизведение, распространение и доведение произведения до всеобщего сведения любым способом.

Редколлегия

АКТУАЛЬНО // URGENT

6 Трубицын А.А., Подображин С.Н., Скатов В.В., Ворошилов Я.С., Мусинов С.Н., Трубицына Д.А. Разработка системы мониторинга интенсивности пылеотложений и методики прогноза запыленности воздуха

Trubitsyn A.A., Podobrajn S.N., Voroshilov Y.S., Musinov S.N., Trubitsyna D.A.
Development of monitoring system dust deposits intensity and methods of forecast of dust levels

**СЛОВО РЕДАКТОРА
// EDITORIAL**

5 Трубицына Н. Trubitsyna N.

**I. ПРОМЫШЛЕННАЯ
БЕЗОПАСНОСТЬ
И ГЕОМЕХАНИКА
// INDUSTRIAL
SAFETY AND
GEOMECHANICS**

16 Полевщикова Г.Я., Козырева Е.Н., Рябцев А.А., Родин Р.И., Непейна Е.С., Цуран Е.М. Оценка влияния напряжений на газоносность приконтурной части пласта
Polevshchikov G.Y., Kozyreva Y.N., Riabtsev A.A., Rodin R.I., Nereina E.S., Tsuran E.M. Assessment of stresses on gas content of the marginal part of a coal seam

25 Тациенко В.П., Мешков А.А., Роут Г.Н., Калинин С.И. Научное сопровождение высокопроизводительных очистных забоев угольных шахт как инструмент повышения рентабельности добычи угля
Tatsienko V.P., Meshkov A.A., Rout G.N., Kalinin S.I. Scientific support of high performance coal mine's production faces as a tool for improving of coal mining profitability

30 Тайлаков О.В., Застрелов Д.Н., Салтымаков Е.А., Макеев М.П., Соколов С.В., Ярош А.С. Определение глубин залегания водоносных горизонтов методом электротомографии в условиях Кузбасса
Tailakov O.V., Zastrelov D.N., Saltymakov Ye.A., Makeev M.P., Sokolov S.V., Yarosh A.S. Aquifers depth detection by electron tomography method in Kuzbass conditions

35 Хлудов Д.С., Сергеев О.А., Оленников С.В., Мусинов С.Н. Шахтные испытания анемометра рудничного портативного АР-П
Khludov D.S., Sergeev O.A., Olennikov S. V., Musinov S. N. Portable mine anemometer AR-P underground test

42 Родин Р.И., Плаксин М.С. Особенности повышения газопроницаемости угольных пластов
Rodin R.I., Plaksin M.S. Peculiarity of coal seam gas permeability increase

49 Плаксин М.С. К вопросу о снижении газовой и газодинамической опасности при проведении подготовительных выработок
Plaksin M.S. To the question of gas and gas-dynamic danger

reduction during preparation gallery heading

55 Козырева Е.Н., Шинкевич М.В., Леонтьева Е.В. Влияние техногенной структуризации массива в окрестности очистного забоя на периодичность пучений почвы пласта при отработке сближенных лав
Kozyreva E.N., Shinkevich M.V., Leontieva E.V. Massif technogenic structurization influence around the extraction face on the seam floor heaving when working close longwalls

**II. ПОЖАРНАЯ И
ПРОМЫШЛЕННАЯ
БЕЗОПАСНОСТЬ
// FIRE AND
INDUSTRIAL SAFETY**

62 Фомин А.И., Бесперстов Д.А., Попов В.Б. Оценка уровня пожарной безопасности на угольных предприятиях с учетом риск-ориентированного подхода
Fomin A.I., Besperstov D.A., Popov V.B. Coal enterprises fire safety evaluation with an account of risk-aimed approach

67 Степанов Ю.А. Компьютерное моделирование в задаче обеспечения безопасности ведения горных работ

Stepanov Y.A. Computer modelling in the task of safe mining operation provision

73 Рыков А.М., Ли Хи Ун, Филатов Ю.М. Риск-ориентированный подход в обеспечении безопасности угольных шахт
Rykov A.M., Li Hi Un, Filatov Y.M. Risk-directed approach in coal mines safety provision

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

77 Сидоренко А.И., Сыпин Е.В., Леонов Г.В. Экспериментальная оценка параметров опико-электронного прибора с оптическими затворами
Sidorenko A I., Sypin Ye.V., Leonov G.V. Optoelectronic devices with optical shutters parameters experimental evaluation

82 Кузин Е.Г., Герике Б.Л. Мониторинг технического состояния редукторов частотно-регулируемого электропривода шахтных ленточных конвейеров
Kuzin Ye.G., Gerike B.L. Mine belt conveyors variable frequency drive gearboxes technical condition monitoring

IV. ПРОБЛЕМЫ И СУЖДЕНИЯ // PROBLEMS AND OPINIONS

89 Ермолаев А.М., Кобылянский М.Т., Богданова Т.В., Кобылянский Д.М. Магнитные ловители как средство снижения травматизма при бурении

подземных скважин
Yermolaev A.M., Kobyliansky M.T., Bogdanova T.V., Kobyliansky D.M. Magnetic catchers as the mean to reduce number of injuries during underground holes drilling

93 Сидоренко А.И., Лисаков С.А., Павлов А.Н., Сыпин Е.В., Леонов Г.В. Прикладное моделирование развития горения углеводородных смесей
Sidorenko A.I., Lisakov S.A., Pavlov A.N., Sypin Ye.V., Leonov G.V. Applied modelling of hydrocarbon mixture burning development

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ // INFORMATION ABOUT THE AUTHORS IN ENGLISH

100

ТРЕБОВАНИЯ К СТАТЬЯМ // DEMANDS TO ARTICLES

102

ТРЕБОВАНИЯ К РЕКЛАМНЫМ МАТЕРИАЛАМ // ADVERTISING MATERIALS REQUIREMENTS

103

СОДЕРЖАНИЕ // CONTENT

104

Подписано в печать 18.01.2016. Тираж 1000 экз. Формат 60х90 1/8.
Объем 10 п. л. Заказ № 1 2016 г. Цена свободная.
Типография ООО «ИНТ».
650065, г. Кемерово, пр-т Октябрьский, 28 офис 215
Тел. 8 (3842) 657889.