

ВЕСТНИК

Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности

ПОДНИМАТЬ ПЛАНКУ ИНТЕГРАЦИИ, СИСТЕМНЫХ ПОДХОДОВ И РЕШЕНИЙ

Слово редактора

АКТУАЛЬНО



**ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ
СХЕМ ПРОВЕТРИВАНИЯ**
подготовительных выработок с
системами пылеудаления
стр.6



ВЕСТНИК

Научного центра по безопасности работ
в угольной промышленности

Научно-технический журнал

ISSN 2072-6554



9 772072 655426 >

Кемерово

4-2020

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

№ 4-2020

Выходит 4 раза в год

Подписной индекс
в Каталоге Агентства
«Роспечать» 2020 г. – 35939

ЖУРНАЛ ЗАРЕГИСТРИРОВАН

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

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

ЖУРНАЛ ВКЛЮЧЕН

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

Учредитель и издатель

научно-технического журнала «Вестник...»:

Общество с ограниченной

ответственностью «ВостЭКО»

(ООО «ВостЭКО»)

Адрес учредителя и издателя:

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

Адрес редакции:

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

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

Компьютерная верстка *Д. А. Трубицына*

тел. 77-86-62, 64-26-51.

e-mail: yarosh_mv@mail.ru

dtrubitsyna@gmail.com

www.ind-saf.ru

Позиция редакции не всегда совпадает
с точкой зрения авторов публикуемых материалов

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

16+

© **ООО «ВостЭКО», 2020**

Адрес типографии:

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

Главный редактор: Н. В. Трубицына

Редакционная коллегия:

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

А. С. Ярош – заместитель главного редактора,
канд. техн. наук

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

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

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

А. М. Брюханов – директор МакНИИ, д-р техн. наук

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

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

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

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

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

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

М. В. Ярош – редактор ООО «ВостЭКО»



INDUSTRIAL SAFETY

Scientific-technical magazine

Kemerovo

4 - 2020

INDUSTRIAL SAFETY

ISSN 2072-6554

№ 3- 2020

**Is issued 4 times a
year**

Subscription index
in «Rospechat» Agency
Catalogue: Year 2020 – 35939

MAGAZINE IS REGISTERED

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

THE MAGAZINE IS INCLUDED

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

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

Address of the promoter and publisher:
650002, Russia, Kemerovskaja oblast, Kemerovo, Sosnovyi bd., 1, office 415

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

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

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

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

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

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

16+

© Co Ltd «VostEKO», 2020

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

Chief editor: N. V. Trubitsyna

Editorial board:

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

A. S. Yarosh – deputy chief editor, candidate of technical sciences

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

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

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

A. M. Brjuhanov - Director of MakNII, doctor of technical sciences

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

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

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

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

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

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

M. V. Yarosh – OOO «VostEKO» editor



Дорогие читатели!

С выходом в свет четвёртого номера "Вестника" перевёрнута последняя страница рабочего календаря по изданию отраслевого журнала в 2020 году. Для редакции он был плотным и насыщенным, как и тематика публикаций этого номера.

Традиционные разделы журнала отражают системный характер исследований авторских коллективов и профильных структур. Результаты исследований становятся основой для разработки технологий, обеспечивающих выполнение высоких требований к промышленной безопасности на угледобывающих и смежных предприятиях.

Сегодня мы наблюдаем тесное взаимодействие науки и производства, что способствует социально-экономическому развитию региона и реализации комплексной научно-технической программы замкнутого инновационного цикла «Чистый уголь – зелёный Кузбасс». В ней сочетаются задачи экологии, эффективности угледобычи и глубокой переработки твёрдого топлива.

Не случайно, ведущие аналитики и эксперты отмечают возросший уровень отечественных разработок и технологий, представленных сегодня на рынке. Практически все они отвечают требованиям новых стандартов промышленной безопасности, следовать которым все мы обязаны уже на старте 2021 года. Эти стандарты и все планы обусловлены в настоящее время утверждённой Правительством РФ государственной стратегией развития угледобычи до 2035 года.

Вместе нам удастся в новом году сделать уверенный шаг в реализации стоящих перед нами задач. Мы должны в полной мере осознавать свою ответственность за будущее страны и важную роль шахтёрских регионов России, которые могут и должны стать локомотивами экономики.

С Новым годом, дорогие читатели, коллеги и партнёры! Новых успехов вам и вашим трудовым коллективам, счастья, благополучия и здоровья семьям, родным, соратникам и друзьям!

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

I. АКТУАЛЬНО

I. URGENT



■ С.Б. Романченко //
S.B. Romanchenko

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



■ Г.И. Коршунов //
G.I. Korshunov
korshunov_gi@spmi.ru

доктор техн. наук, профессор кафедры безопасности производств Санкт-Петербургского горного университета, 199106, Санкт-Петербург, 21-я лин. В.О., 2
doctor of technical Sciences, Professor, Department of industrial safety, Saint Petersburg mining University, 199106, Saint Petersburg, Vasilievsky island, 21 line 2



■ А.Н. Тимченко //
A.N. Timchenko
timchenkoan@suek.ru

руководитель проектов АО "СУЭК", 115054, Москва, ул. Дубининская 53, стр. 7
head of projects of JSC "SUEK, 115054, Moscow, st. Dubininskaya 53, bldg. 7"

УДК 622.81

ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ СХЕМ ПРОВЕТРИВАНИЯ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК С СИСТЕМАМИ ПЫЛЕУДАЛЕНИЯ

PRACTICE OF USING AIRING SCHEMES FOR PREPARATORY WORKINGS WITH DUST REMOVAL SYSTEMS

Рассмотрены практически апробированные и рекомендуемые ведущими мировыми производителями схемы проветривания подготовительных выработок с аспирационным пылеудалением (пылеотсосом) при их интенсивной комбайновой проходке. Приведена классификация систем пылеотсоса по физическому принципу улавливания пыли и по их техническим параметрам. Указаны основные преимущества различных систем пылеулавливания и проблемные аспекты, снижающие эффективность или работоспособность систем аспирации. Приведены технически достигнутые уровни остаточной запыленности воздуха при применении различных систем нагнетательно-всасывающего и всасывающего проветривания с пылеотсосом на шахтах АО «СУЭК». Указаны диапазоны эффективности улавливания пыли для различных схем проветривания подготовительных выработок.

Practically approved and recommended by the world's leading manufacturers schemes of ventilation of preparatory workings with aspiration dust removal (dust pump) during their intensive combine driving are considered. The classification of dust extraction systems based on the physical principle of dust capture and their technical parameters is given. The main advantages of various dust collection systems and problematic aspects that reduce the efficiency or operability of aspiration systems are indicated. The article presents the technically achieved levels of residual dust in the air when using various systems of supercharger-suction and suction ventilation with a dust pump at the mines of SUEK JSC. Ranges of efficiency of dust capture for various schemes of airing of preparatory workings are specified.

Ключевые слова: АЭРОЗОЛЬ, ПЫЛЬ, КОНЦЕНТРАЦИЯ, ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМАЯ КОНЦЕНТРАЦИЯ, ПЫЛЕУДАЛЕНИЕ, АСПИРАЦИЯ, ПЫЛЕОТСОС, СХЕМА ПРОВЕТРИВАНИЯ, ВСАСЫВАНИЕ, НАГНЕТАНИЕ, СКРУББЕР, ВЕНТИЛЯТОР МЕСТНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ, ВЕНТИЛЯЦИОННЫЙ КЛАПАН, ВЕНТИЛЯЦИОННОЕ УСТРОЙСТВО, ТРУБОПРОВОД, КОЭФФИЦИЕНТ УЛАВЛИВАНИЯ

Key words: AEROSOL, DUST, CONCENTRATION, MAXIMUM PERMISSIBLE CONCENTRATION, DUST REMOVAL, ASPIRATION, DUST PUMP, VENTILATION SCHEME, SUCTION, DISCHARGE,

SCRUBBER, LOCAL VENTILATION FAN, VENTILATION VALVE, VENTILATION DEVICE, PIPELINE, TRAPPING COEFFICIENT

ВВЕДЕНИЕ

Системы вентиляции подготовительных выработок при комбайновой проходке являются неотъемлемым составляющим общей технологической цепочки. Постоянно действующие ВМП осуществляют непрерывную подачу к забою необходимый объем воздуха [1,2,3,4]. При этом интенсивная проходка сопровождается выделением большого объема угольной пыли и, несмотря на непрерывное совершенствование систем внутреннего и внешнего орошения комбайнов, приведение запыленности воздуха к приемлемым значениям в режиме резания комбайна практически неосуществимо. Это требует применения дополнительных аспирационных обеспыливающих устройств – пылеотсосов, что приводит к изменению схемы проветривания тупиковой выработки и существенной корректировке комплекта вентиляционного и сопутствующего оборудования.

Необходимо отметить, что при казалась бы простой идее аспирационного улавливания, её практическая реализация сопровождается массой проблемных аспектов, не очевидных на этапе планирования и закупки пылеулавливающих устройств. Авторами проводилось непосредственное практическое внедрение на шахтах систем пылеотсоса на комбайнах ведущих мировых производителей: JOY Mining Machinery Ltd (Англия); BUSURYS, CATERPULAR (США); SANDVIK (Швеция-Австрия) и др. На основании многолетнего опыта установлено, что схе-

мы проветривания подготовительных выработок оказывают существенное (если не решающее) значение при определении фактической эффективности удаления пыли. Декларируемые на этапе маркетинга и продаж коэффициенты улавливания пыли в 99,5-99,9% относятся исключительно к условиям стендовых испытаний и для используемых в настоящее время нагнетательных или нагнетательно-всасывающих схем проветривания тупиковых выработок не достижимы. Основные проблемы внедрения и устойчивой работы систем пылеулавливания обобщены в рамках настоящей статьи, основой для рассмотрения являются реализация схем проветривания подготовительных выработок.

1. Аспирационные системы обеспыливания и эффективность их применения

Системы аспирационного удаления пыли являются действенным оборудованием по снижению концентрации пыли в подготовительных забоях, дополняющим системы орошения комбайнов. Принцип их действия основан на создании отрицательного давления (разрежения) у места образования пыли, изолированном перемещении запыленного воздуха к узлу пылеулавливания (скрубберу), улавливаю пылю одним из физических способов, а также последующую выдачу в вентиляционный поток очищенного воздуха и утилизацию (перемещение, накопление, сброс) пыли в виде суспензии или в сухом виде (в бумажных мешках).



Рисунок 1 - Пылеуловители мокрого и сухого типов на примере продукции фирмы CFT GmbH, Германия (на переднем плане мокрый скруббер и далее – бак-накопитель шлама, на втором плане – пылеотсос сухого типа)
Figure 1-wet and dry type dust Collectors on the example of products from CFT GmbH, Germany (in the foreground is a wet scrubber and then a sludge storage tank, in the background is a dry type dust pump)

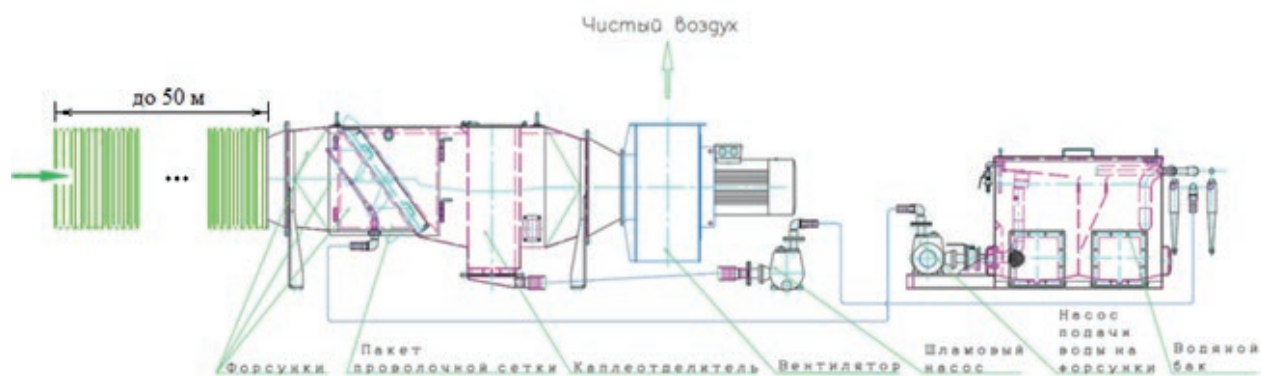


Рисунок 2 - Состав системы пылеотсоса мокрого типа с замкнутым водяным контуром CFT GmbH, Германия
Figure 2-Composition of the wet type closed water pump system CFT GmbH, Germany

Исходя из физического принципа улавливания пыли в скруббере, системы пылеотсоса делятся на «сухие», в которых пыль осаждается на самоочищающийся фильтр, и «мокрые», в которых запыленный воздух поступает в систему «металлическая сетка - водный аэрозоль», создающий условия повышенной турбулентности для захвата твердых частиц частицами водного аэрозоля (либо мокрой поверхностью сетки) и их осаждение в виде водной суспензии в емкость (бак-накопитель) [5,6,7]. Несмотря на то, что стендовая эффективность «сухих» пылеотсосов несколько выше (99,5-99,9% при 97-99,4% у «мокрых»), а также того, что для их работы не требуется подача воды и последующее удаление шлама, применение сухих пылеотсосов в угольных шахтах крайне ограничено. Основным определяющим фактором для применения в шахтах являются габариты устройств (рисунок 1) [5]. Единственный успешно реализованный в полном объеме проект сухого пылеулавливания был изучен авторами на шахте «Вест» (Германия) в 2010-2011 годах¹, где при мощности угольного пласта 1 метр, исходя из требований по габаритам оборудования, проходила участковая выработка высотой 7 м и поперечным сечением около 30 м².

Независимо от принципа пылеулавливания обязательным общим элементом является всасывающий трубопровод (жесткая или армированная вентиляционная труба или желоб), а также вентилятор - источник движения воздуха во всасывающей системе. Мокрые системы пылеотсоса, адаптированные к угольным шахтам, также имеют существенные габариты и массу, полный комплект оборудования для выработки сечением в проходке 16 м² (поставка на одну из

шахт АО «СУЭК» в 2011 году) представлен на рисунке 2.

В полной комплектации с водяным баком и осевым вентилятором габариты аспирационной системы достаточно велики: длина пылеотсоса средней производительности (300-400 м³/мин) – около 2,5 метров, осевой ВМП без глушителя – 2,5 м, бак – 2,5×3 м (рисунок 2).

Стендовая эффективность очистки воздуха, прошедшего через скруббер, у пылеотсосов различных фирм производителей достаточно высока и находится в пределах 95,0-99,5% (для пылеотсоса HCN - от 99,2% до 99,4%, рисунок 2). При этом необходимо отметить, что подача всего запыленного в забое воздуха в скруббер практически не осуществима. Поэтому фактическая эффективность пылеотсосов любого типа определяется режимом проветривания подготовительной выработки, формируемого за счет совместной работы основного вентилятора и всасывающего вентилятора пылеотсоса.

Расход воды для «мокрых» пылеотсосов различной производительности находится в пределах 40-240 л/мин или для одного цикла работы комбайна при проходке 1 м выработки дополнительный объем воды, поданной в скруббер, и образованного шлама составит примерно от 0,25 м³ до 1,5 м³. Для сокращения расхода воды применяется вариант системы замкнутого водяного контура с баком-накопителем воды, повторно подаваемой на форсунки после осветления (рисунок 2). Система частично пополняется из водопроводной сети и общее потребление воды и шламообразование снижается в 4-5 раз. Объем шлама играет существенную роль при технологии сброса загрязненной воды на почву выработок, имеющих существенный водоприток.

Для «мокрых» пылеотсосов в подготовительных выработках возникает ряд технических проблем, основные из которых :

¹ В настоящее время все угольные шахты Германии прекратили работу, последняя шахта, в которой добывался каменный уголь Prosper-Haniel (Проспер-Ханиэль, Рурский бассейн) прекратила работу 22.12.2018 г. Шахта «Вест» входила в число последних 8 работавших шахт.

Таблица 1. Результаты стендовых испытаний эффективности мокрых обеспыливателей CFT в институте Deutsche Montan Technologie (DMT, Эссен, Германия) [5]
 Table 1. results of bench tests of the effectiveness of CFT wet dedusters at the Deutsche Montan Technologie Institute (DMT, Essen, Germany) [5]

Измеряемый параметр	Единицы измерений	Высокое давление	Низкое давление
Расход воздуха (средний)	м³/сек	10,0	6,7
Суммарные потери давления (среднее)	Па	2250	1220
Концентрация пыли в загрязненном воздухе	мг/м³	2000	2000
Концентрация пыли в очищенном воздухе	мг/м³	7,465	14,16
Степень очистки воздуха	%	99,63	99,29
Расход воды	л/м³	0,2	0,1
Напор воды на форсунках, P	бар	4,5	4,0

1. Существенные суммарные габариты и вес (порядка 1 т) всей системы обеспыливания (вентилятор – скруббер - всасывающий вентиляционный трубопровод).

2. Проблема начальной длины тупиковой выработки при которой возможно размещение всей системы пылеулавливания.

3. Проблема проветривания призабойного пространства с учетом взаимодействия основного и всасывающего вентилятора пылеотсоса. Данную проблему иллюстрирует схема на рисунке 3. Необходимо распределять потоки воздуха [3] и синхронизировать включение всасывающей системы с запуском комбайна.

4. Проблема размещения входного отверстия всасывающего трубопровода на минимально-возможном расстоянии от забоя. Фактическая эффективность пылеотсоса и дисперсный состав улавливаемой пыли зависит от параметра L_p .

Результатом работы внедрения системы (рисунок 3) явилось снижение уровней запыленности пропорционально соотношению всасываемого в пылеотсос воздуха (Q_g) к расходу воздуха, поступающего по нагнетательному трубопроводу в забой ($Q_{3,п}$ или Q'_1 - на рис.3) При соотношении $Q_g/Q_{3,п} \approx 0,55$ происходило снижение запыленности на $\approx 59\%$.

Большинство из перечисленных выше проблем, свойственных «вынесенным» аспирационным системам: высокие габариты и масса, сложность согласования с существующей системой вентиляции, и др. достаточно просто решаются при применении интегрированных с комбайном пылеотсосов, имеющих единую систему управления с комбайном. К числу неоспоримых преимуществ таких пылеотсосов:

- мобильность, все узлы перемещаются автоматически с комбайном;
- синхронизация включения/выключения

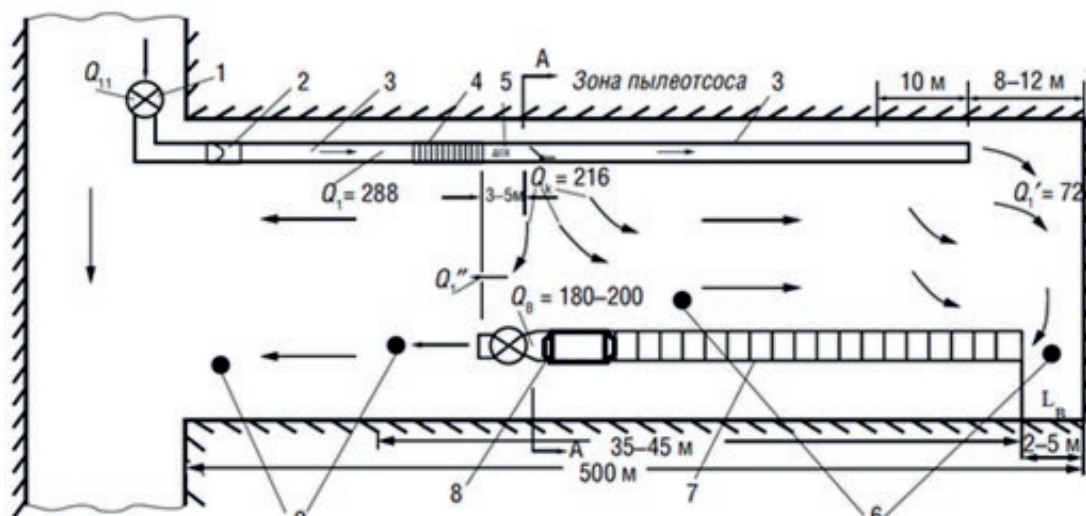


Рисунок 3 Типовой вариант реализованной нагнетательно-всасывающей схемы проветривания штрека с системой вынесенного пылеотсоса мокрого типа на основе [3]
 Figure 3 a typical version of the implemented discharge-suction scheme for airing a drift with a wet-type dust pump system based on [3]

по заданной программе из общего пункта электронного управления комбайна;

- фиксированное расположение входа всасывающего трубопровода на расстоянии ≈ 1 м от зоны резания;

- отсутствие необходимости наращивания дополнительного всасывающего трубопровода, всасывание осуществляется по жесткому коробу на стреле комбайна.

Указанные решения обеспечивает подачу в скруббер максимально возможной части пыли, образующейся при разрушении горного массива, однако добавляют существенную проблему шума от всасывающего вентилятора (до 115 дБа при ПДУ=80 дБа), располагаемого непосредственно в корпусе комбайна и создающего некомфортные условия для машиниста комбайна. Повышенный уровень приводит к необходимости установки компактных шумоглушителей на выхлопе вентилятора пылеотсоса. Кроме этого возникает проблема компактной струи обеспыливаемого воздуха, выбрасываемой со скоростью более 13 м/с в области интенсивной работы и пребывания персонала, либо в зону транспортировки отбитого угля.

Встраиваемые пылеотсосы рассмотрены на основании внедрения пылеотсосов встроенных в комбайны JOY 12CM30 и BUSURYS 30MB, внедренных на шахтах ОАО СУЭК в 2008-2012 годах.

Схема вентиляции в этом случае модифицируется:

- в режиме резания происходит переход от устойчивой нагнетательной к устойчивой нагнетательно-всасывающей системе вентиляции выработки с фиксированной длиной всасывающего короба порядка 5-6 метров (вместо 50-метровой всасывающей армированной трубы) и минимальным и строго фиксированным отставанием плоскости всасывания запыленного воздуха от груди забоя (около 1 м);

- отсутствует потребность в дополнительных устройствах: воздуховыпускном клапане, клапане-переключателе и др.;

- все функции управления подачей воды и запуском всасывающего вентилятора осуществляются с рабочего пульта оператора комбайна и строго синхронизированы с работой исполнительного органа.

2. Основные схемы проветривания подготовительных выработок при проходке высокопроизводительными комбайнами

Основные схемы постоянного действия для проветривания горизонтальных и наклонных

выработок приведены на рисунке 4.

Традиционно² без применения обеспыливания большинство проходческих забоев проветриваются нагнетательным способом, схема проветривания при котором представлена на рисунке 4-а. Вентиляционное оборудование для данной схемы работает автономно и не зависит от проходческого оборудования, режимов работы комбайна, а также режимов работы бурового оборудования и транспорта в выработке. Подача воздуха в забой осуществляется по трубопроводу за счет постоянно работающего ВМП расположенного в выработке со свежей струей воздуха. Расчет необходимого объема воздуха $Q_{з.п}$ в этом случае проводится на максимально возможной длине тупиковой части выработки и, соответственно максимальной длины нагнетательного трубопровода с утечками.

Всасывающие схемы проветривания (рис.4-б и рис.4-в) широко распространены в высокопроизводительных подготовительных забоях ведущих угледобывающих стран (США, Австралия, ЮАР и др.). В РФ данная схема прошла практическую апробацию на шахте первой по метану категории шахт (ш.Хакасская, АО «СУЭК», 2011г.). Для шахт РФ с относительным выделением метана более 5м³/т всасывающие схемы проветривания могут применяться при наличии достаточных средств непрерывного контроля метана на протяжении выработки и в призабойном участке по проекту аэрогазовой защиты.

Основным преимуществом всасывающих схем проветривания тупиковых выработок является подача чистого воздуха ко всем рабочим местам, чистый воздух прямококом подается к забою по всему периметру выработки. Запыленный воздух по жесткому либо гибкому армированному трубопроводу отводится за пределы рабочей зоны.

Схема на рис. 4-б (всасывающее проветривание без пылеулавливающей установки - скруббера) применяется на шахтах США при многоштрековой подготовке выработок с выносом запыленного воздуха в выработки, в которых не предусмотрено перемещение и постоянное нахождение персонала. После седиментации (осаждения) пыли ее взрывоопасные свойства в таких выработках нейтрализуются путем ежесуточного массового осланцевания.

Для всех всасывающих схем проветривания вентилятор работает непрерывно, подача воды в скруббер (рис. 4-в) включается только на

² В соответствии с Руководством по проектированию вентиляции [3]

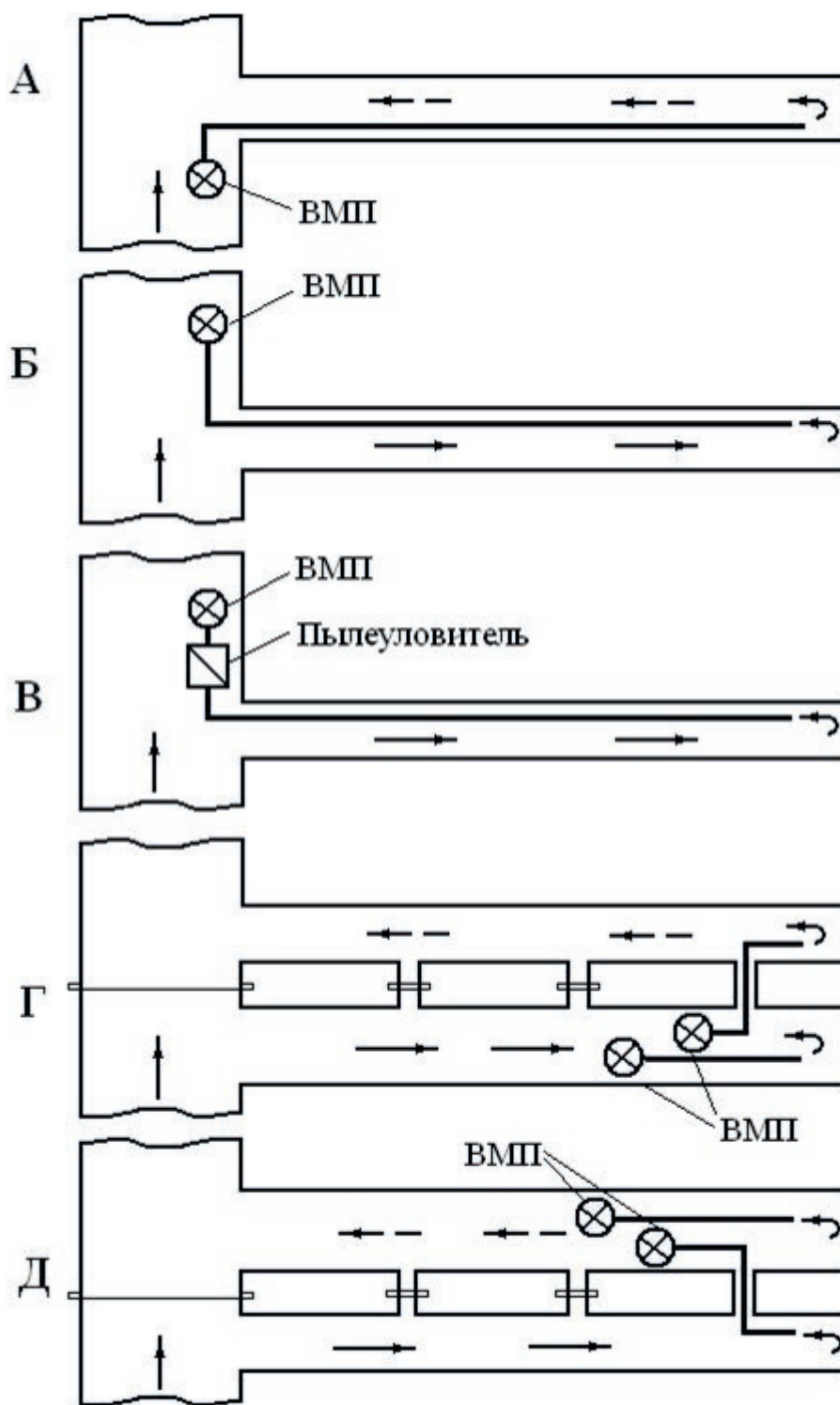


Рисунок 4. Схемы проветривания тупиковых выработок постоянного действия
Figure 4. ventilation Schemes for permanent dead-end workings

время работы комбайна в режиме резания и может отключаться при операциях, не связанных с интенсивным пылевыделением, и во время ремонтных смен.

Для выработок, проводимых по мощным и средней мощности пластам при многоштрековой подготовке или проведении спаренных параллельных выработок возможно применение комбинированной схемы проветривания (рис. 4-г ;

рис. 4-д). В этом случае в проводимые параллельные выработки до последней сбойки воздух подается за счет общешахтной депрессии, а тупиковые части проводимых выработок проветриваются с помощью ВМП и системы гибких либо жестких (включая гибкие армированные) вентиляционных трубопроводов.

Дополнительная аспирационная подсистема всасывания запыленного воздуха должна

работать только в периоды интенсивного пылеобразования, её постоянная работа является избыточной. Так, на основании проведенного анализа циклограмм работ в подготовительных выработках шахт АО «СУЭК» определено, что основная часть времени рабочей смены (70÷77 % рабочего цикла) приходится на крепление кровли, бортов, а также транспортные операции. В этот период пылеобразование практически отсутствует (при применении встроенных бурильных устройств в комбайнах ведущих мировых производителей). Длительность процесса пылеобразования в режиме «комбайн режет» составляет менее 28% рабочего цикла и на этот период включается аспирационная всасывающая подсистема пылеотсоса. На период крепления всасывающая система выключается, также как и система подачи воды на форсунки скруббера, для проветривания забоя вполне достаточно работы основного нагнетательного ВМП.

С учетом этого схемы проветривания ту-

пиковых выработок целесообразно распределить на 2 группы: схемы постоянного действия и технологически-изменяемые схемы проветривания.

К схемам постоянного действия относятся нагнетательная, а также всасывающая схема проветривания тупиковой выработки, при применении которых вентиляционное оборудование осуществляет постоянное проветривание забоя без изменения (в течение рабочей смены) положения регулирующих устройств на ВМП, регуляторов в системе воздухопроводов, а также направления движения воздуха в призабойной зоне.

Технологически-изменяемые схемы проветривания – схемы вентиляции подготовительной выработки, содержащие регулирующие устройства для изменения направления движения или величины расхода воздуха в отдельных элементах системы вентиляции при различных режимах работы комбайна и другого пылео-

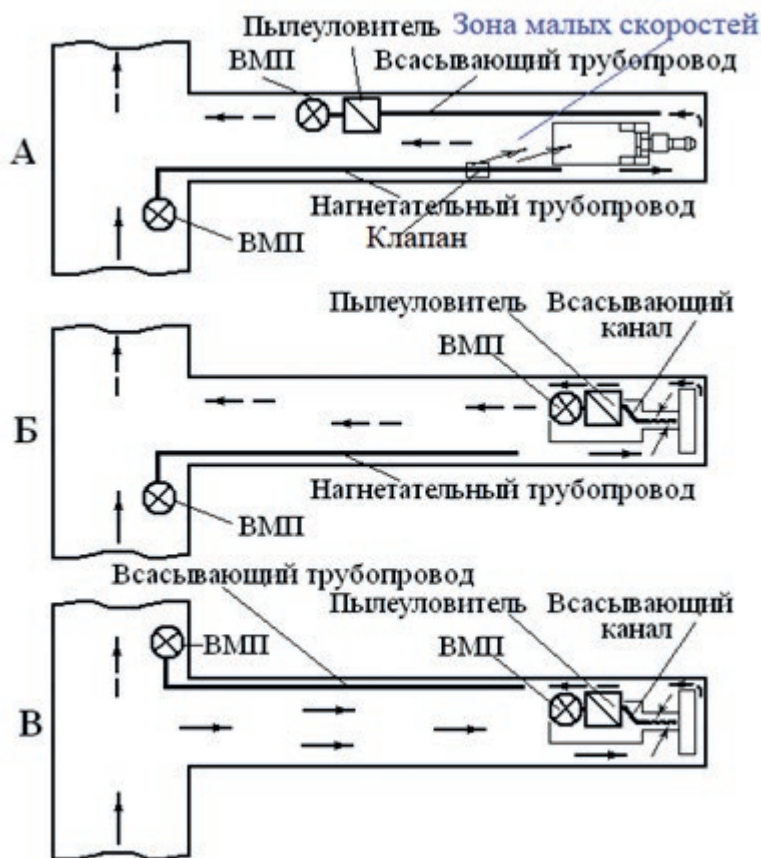


Рисунок 5 - Технологически-изменяемые схемы проветривания тупиковых выработок: а) – общая идея нагнетательно-всасывающего проветривания с вынесенным обеспыливателем; б) – нагнетательно-всасывающая схема проветривания с встраиваемым обеспыливателем; в) - всасывающая схема проветривания со встраиваемым обеспыливателем (шахты США)

Figure 5 is a Technologically-editable schemes of ventilation of dead-end workings: a) the General idea of the injection-suction ventilation with an external sealer; b) – pressure-suction ventilation scheme with built-in sealer; C) cleaning ventilation scheme with built-in sealer (mine USA)

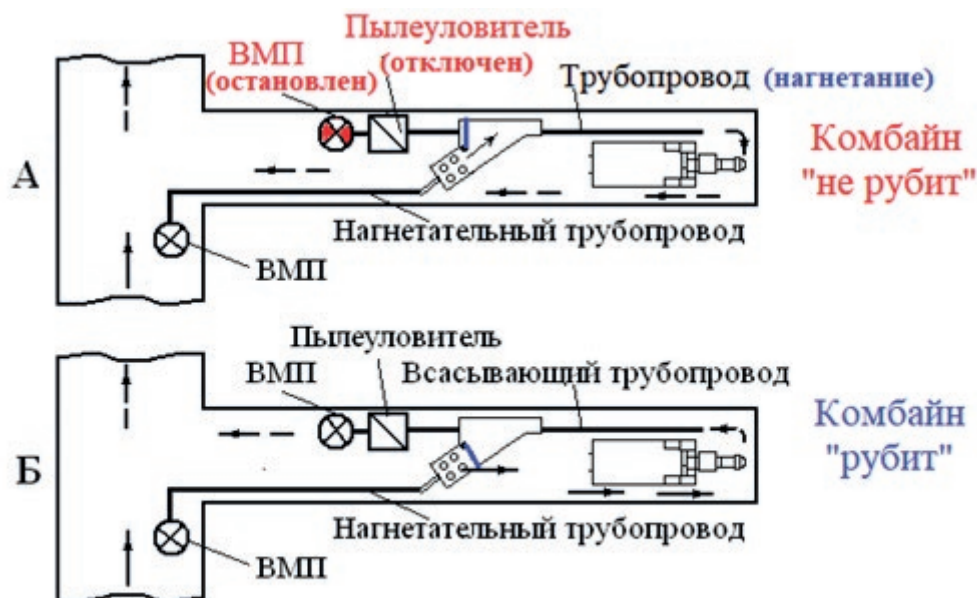


Рисунок 6 - Нагнетательно-всасывающие схемы проветривания тупиковых выработок с одним перемещаемым трубопроводом в рабочей зоне, клапаном-переключателем и перфорированной воздуховыпускной секцией (CFT GmbH, Германия)

Figure 6-Injection and suction ventilation schemes for dead-end workings with a single movable pipeline in the working area, a switch valve and a perforated air outlet section (CFT GmbH, Germany)

бразующего оборудования в забое. Указанные изменения направлены на удаление пыли из призабойной зоны и не должны приводить к уменьшению подачи воздуха в забой ниже требуемой величины $Q_{з.п.}$. Такие схемы модифицируются в зависимости от режима работы комбайна. Так для наиболее распространенной с РФ нагнетательной схемы проветривания и при включении комбайна в работу по проходке включается схема аспирации и суммарная система вентиляции будет нагнетательно-всасывающей. При остановке комбайна происходит возврат схемы вентиляции к простому нагнетанию.

Технологически-изменяемые схемы проветривания представлены на рисунке 5, а их практическая реализация рассмотрена далее в настоящей статье.

Для проходческих комплексов, позволяющих выделенное (рис. 5-а) размещение аспирационной системы в составе комплекса применяется нагнетательно-всасывающая схема проветривания с использованием двух или одного трубопроводов. В последнем случае схема на рис. 5-а модифицируется за счет включения в ее состав клапана-переключателя и перфорированной (либо щелевой) воздуховыпускной секции жесткого трубопровода длиной 2-5 метров (рисунок 6-а и 6-б).

На рисунке 6 представлена схема нагнетательно-всасывающего проветривания, с ори-

ентациями на которую промышленно выпускается клапан-переключатель с накопителем гибких вентиляционных труб (рисунок 7). Данная схема в нормативной базе РФ не рассматривалась и может быть отнесена к новому «виду» схем с реверсированием струи воздуха в зоне пылеотсоса.

Сложность конструкции (рисунок 7) и технология управления ею в значительной степени характеризует практическую сложность эксплуатации нагнетательно-всасывающего проветривания. Так при остановке комбайна клапан-переключатель находится в вертикальном положении (рисунки 6-а – синий элемент), пылеулавливающая установка отключена, воздух по нагнетательному гибкому трубопроводу подается в жесткий трубопровод и по нему обеспечивается подача свежей струи непосредственно в забой («классическая» нагнетательная схема проветривания).

При работе комбайна по проходке клапан-переключатель перекрывает поступление свежего воздуха в жесткий трубопровод. Свежая струя поступает в призабойное пространство через перфорированную (либо щелевую) секцию (рисунок 6-б). Вентилятор пылеотсоса включается на всасывание и через жесткий трубопровод обеспечивается подача запыленного воздуха в скруббер. Поток воздуха в зоне пылеотсоса реверсируется по отношению со схемой 6-а.

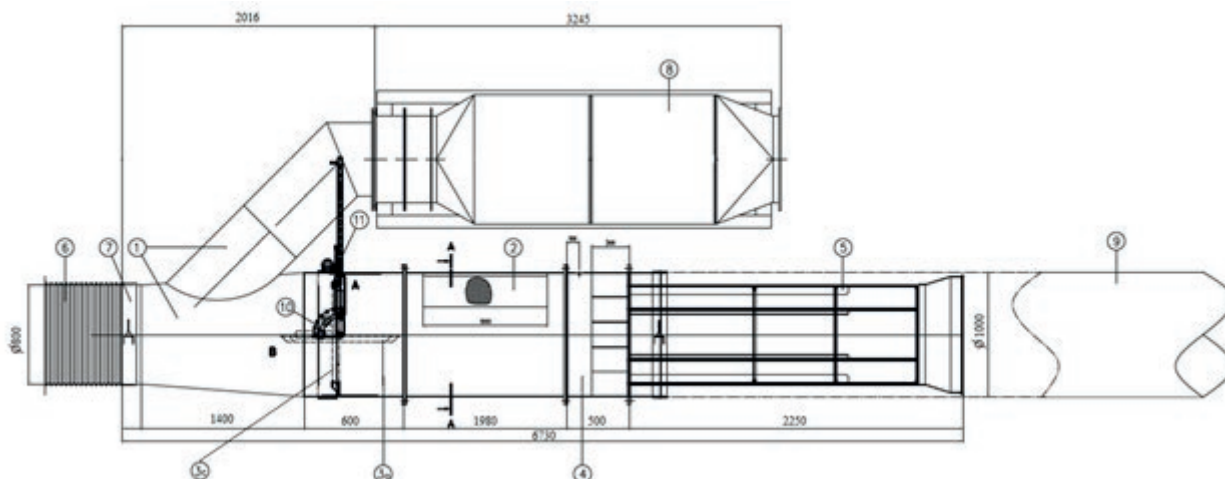


Рисунок 7 - Клапан для нагнетательно-всасывающей системы пылеотсоса: 1- жесткая Y- образная труба; 2 – перфорированная секция жесткого трубопровода для выпуска свежего воздуха в режиме «комбайн режет»; 3 – заслонка в положении «открыто» (3о) и «закрыто» (3с); 4 – успокоитель потока; 5 – накопитель гибких труб; 6 – армированная всасывающая труба; 7 – хомут; 8 – пылеотсос со встроенным вентилятором; 9 – нагнетательный трубопровод; 10 – фиксатор положения клапана; 11 – рукоятка клапана

Figure 7-Valve for the discharge and suction system of the dust pump: 1 - hard Y- pipe; 2 – perforated section of hard tubing to release fresh air in the "harvester cuts"; 3. the damper in position "open" (3O) and "closed" (3C); 4 – stator flow; 5 – storage of flexible pipes; 6 – armirovanye suction pipe; 7 – clamp; 8 – dust extraction with integrated fan; 9 – discharge line; 10 – position lock valve; 11 – arm valve

Для комбайнов, имеющих встроенные аспирационные системы непосредственно в проходческий комбайн, применяются нагнетательно-всасывающие схемы (рисунок 5-б) либо всасывающие схемы проветривания (рисунок 5-в).

Для встраиваемых систем пылеотсоса (забои с комбайнами фронтального действия) проблема свободной струи воздуха, нагнетаемого к груди забоя и осуществляющего интенсивный вынос из забоя образующейся пыли, решается путем установки ограждающих щитов перед исполнительным органом, а также применением перфорированных либо щелевых секций на выходе нагнетательного трубопровода (схема на рисунке 5-б).

При рассмотрении схем на рисунках 5 и 6 нагнетательно-всасывающее проветривание обеспечивается только в режиме «комбайн режет». В этом случае большая часть свежего воздуха (около 75% на рис.5-а, 5-б или 100% на рис.6-б) выходит через жесткую перфорированную секцию (или через воздуховыпускной клапан). Положение заслонки на рис.6-б – «закрыто». Движение воздуха в призабойной зоне (или в зоне пылеотсоса) проводится к груди забоя, что обеспечивает нахождения персонала на свежей струе и частично предотвращает распространение пыли от забоя в выработку (эффект «пылевой стенки», CFT, Германия). В другом состоянии комбайна - «не режет» всасывающая вентиляторная установка системы аспирации отключается (рис. 6-а) и нагнетательно-всасы-

вающая схема проветривания переводится в режим устойчивого нагнетательного проветривания. Движение воздуха в призабойной зоне изменяется на противоположное, положение заслонки – «открыто».

Компоновка всей системы вентиляции для нагнетательно-всасывающего проветривания с пылеотсосом полностью определяется выпускаемым для этих целей оборудованием. Так воздуховыпускные клапаны в РФ промышленно не выпускаются, импортные изделия (рисунок 7) имеют высокий вес и габариты. Конечная секция нагнетательного трубопровода для схем на рисунке 6 и 7 может быть перфорированной либо «щелевой» для подачи свежего воздуха к груди забоя без эффекта компактной струи.

Для встраиваемых систем пылеотсоса (рисунок 5-б и 5-в) набор вентиляционного оборудования существенно упрощается за счет исключения всей системы всасывающего трубопровода, воздуховыпускного клапана и из-за исключения необходимости частичного (65-75%) выпуска воздуха на границе зоны пылеотсоса. Примется также система гибких ограждений непосредственно вблизи выхода нагнетаемой струи у груди забоя, это снижает скорость потока компактной нагнетаемой струи и сокращает массу пыли, переходящей во взвешенное состояние. Вынос пыли из зоны резания сокращается. В этом случае нагнетаемый объем воздуха $Q_{\text{н}}$ должен превышать производительность вентилятора пылеотсоса Q_0 на 20-30%, чтобы обеспечить турбулентный режим проветривания в

зоне малых скоростей (3-8 метров) – от выходного фланца нагнетательного трубопровода до выхода из пылеотсоса обеспыленного воздуха. Параметр кратности отсоса для реализуемых на практике схем составит $\varepsilon_0 \approx 0,8$ и суммарная эффективность пылеулавливания за счет разницы в величинах Q_H и Q_0 ($\eta_{\text{факт}}$) снижается до 80÷84% [5]. Вместе с этим, как показал опыт внедрения таких систем на шахтах им.С.М.Кирова и «Котинская» АО «СУЭК», существенно снижается запыленности воздуха с достижением уровней сопоставимых с ПДК [5,8].

В угольной промышленности ведущих угледобывающих стран в отличие от РФ более распространены схемы всасывающего проветривания с пылеотсосом (рисунок 5-в).

Эти схемы являются значительно более простыми по составу оборудования, устойчивыми как по величине расхода воздуха, так и по направлению его движения в забое, не требуют периодических включений/отключений регулирующих устройств (завлонки, клапана и др.). Применение данных схем в РФ сдерживается (в первую очередь) отсутствием пластиковых облегченных труб, допущенных к применению в газовых шахтах и опыта их применения. Высокая эффективность всасывающего проветривания подтверждена во время промышленного испытания на шахте Хакасская (АО «СУЭК») [5,7,8].

ВЫВОДЫ

1. Всасывающие системы проветривания выработок с пылеотсосом являются наиболее действенным способом нормализации условий труда по пылевому фактору и обеспечивают

улавливание не менее 91-94% образующейся пыли с достижением ПДК пыли в процессе работы комбайна. Для их внедрения в РФ необходимо принятие ряд технологических и организационных решений, проведение полномасштабных промышленных испытаний комплектов оборудования (встроенные пылеотсосы, вентиляторы для всасывания МВС, жесткие облегченные трубы) [5].

2. Нагнетательно-всасывающие системы, применяемые на шахтах РФ на основании действующей нормативной базы позволяют удалять от 60% (мокрый вынесенный пылеотсос) до 80-84% (системы встроенного пылеотсоса) образующейся пыли, коэффициент их эффективности предопределяется схемой вентиляции и соотношением нагнетаемого в забой воздуха $Q_{з.п}$ и всасываемого аспирационной подсистемой объема воздуха Q_0 , поступающего в блок обеспыливания [5,9].

3. Декларируемые производителями коэффициенты эффективности пылеулавливания порядка 99,5-99,9% относятся только к лабораторному тестированию скруббера, когда вся образованная пыль поступает к узлу улавливания пыли. Для применяемых в РФ схем проветривания и набора имеющегося оборудования (трубы, клапана, регуляторы и т.д.) достижение указанных значений улавливания пыли неосуществимо. Однако даже улавливание от 60 до 80% пыли в забое существенно улучшает пылевую обстановку в забое и в ряде случаев позволяет снизить уровни запыленности до 7,1-9,7 мг/м³ [6,7,8,9].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила безопасности в угольных шахтах: М.: Ростехнадзор (Приказ Ростехнадзора № 550 от 19.11.2013), Зарегистрированы в Министерстве юстиции Российской Федерации 31.12.2013 N 30961. [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru/document/499060050>
2. Инструкция по борьбе с пылью в угольных шахтах. Введена в действие приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 14.10. 2014 г. №462. [Электронный ресурс]. URL: <http://base.garant.ru/70830060/>
3. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. МакНИИ: утв. приказом МУП СССР от 15 августа 1989 г. Макеевка; Донбасс: Изд-во МакНИИ
4. Мясников А.А., Казаков С.П. Проветривание подготовительных выработок при проходке комбайнами. – М.: Недра, 1981.- 270 с.
5. Романченко С.Б. и др. Комплексное обеспыливание. Комплексное обеспыливание. / Романченко С.Б., Тимченко А.Н. и др. -М.: Горное дело, 2016.-288 с.
6. Ишук.И.Г., Поздняков Г.А. Средства комплексного обеспыливания горных предприятий.- М.:Недра, 1991.-232 с.
7. Коршунов Г.И., Романченко С.Б. Разработка инновационных технологий обеспыливания в очистных и проходческих забоях угольных шахт.//Записки Горного института / Санкт-Петербургский горный университет. СПб, 2016. Т.218. С.339-345.
8. Романченко С.Б. Управление аэропыледи динамическими процессами на горнодобывающих предприятиях. Горный журнал 2014, №5. - С.29-33.
9. Романченко С.Б., Руденко Ю.Ф., Костеренко В.Н. Пылевая динамика в угольных шахтах.-М.: Горное дело, 2011.-256 с.

REFERENCES

1. Pravila bezopasnosti v ugol'nyh shahtah: M.: Rostekhnadzor (Prikaz Rostekhnadzora № 550 ot 19.11.2013), Zareg-istrirovany v Ministerstve yusticii Rossijskoj Federacii 31.12.2013 N 30961 [Safety rules in coal mines: Moscow: Rostekhnadzor (Rostekhnadzor Order No. 550 dated November 19, 2013), Registered with the Ministry of Justice of the Russian Federation on December 31, 2013 N 30961]. (2013, November). *Ministerstvo Yusticii Rossijskoj Federacii*. <http://docs.cntd.ru/document/499060050> [In Russian].
2. Instrukciya po bor'be s pyl'yu v ugol'nyh shahtah. Vvedena v dejstvie prikazom Federal'noj sluzhby po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru ot 14.10. 2014 g. №462.[Instructions for dealing with dust in coal mines. Put into effect by order of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision dated 14.10. 2014 No. 462]. (2018). *Garant*. <http://base.garant.ru/70830060/> [In Russian]
3. *Rukovodstvo po proyektirovaniyu ventilyatsii ugol'nykh shakht. MakNII: utv. prikazom MUP SSSR ot 15 avgusta 1989 g. [Coal Mine Ventilation Design Guide. MakNII: approved by order of the MUP USSR dated August 15, 1989]. (1989). Makeevka - MakNII. [In Russian]*
4. Myasnikov, A.A.& Kazakov, S.P. (1981) *Provetrivanie podgotovitel'nykh vyrabotok pri prohodke kombajnami [Ventilation of preparatory workings when driving with combines]. Moscow- Nedra. [In Russian]*
5. Romanchenko, S.B., Timchenko, A.N. & etc.(2016). *Kompleksnoe obespylivanie. Kompleksnoe obespylivanie [Integrated dedusting. Integrated dedusting]. Moscow- Gornoe delo. [In Russian]*
6. Ishchuk.I.G., Pozdnyakov G.A. *Sredstva kompleksnogo obespylivaniya gornyh predpriyatij.- M.:Nedra, 1991.-232 s.*
7. Korshunov G.I., & Romanchenko S.B. (2016). *Razrabotka innovacionnyh tekhnologij obespylivaniya v ochestnyh i prohodcheskih zaboyah ugol'nyh shakht [Development of innovative technologies for dust removal in stope and tunneling faces of coal mines]. Zapiski Gornogo instituta-Notes of the Mining Institute, V. 218, 339-345. [In Russian]*
8. Romanchenko, S.B. (2014). *Upravlenie aeropyledinamicheskimi processami na gornodobyvayushchih predpriyatiyah [Management of aeropoedynamic processes in mining enterprises]. Gornyj zhurnal-Mining magazine, 5, 29-33. [In Russian]*
9. Romanchenko S.B., Rudenko Yu.F.,& Kosterenko V.N. (2011). *Pylevaya dinamika v ugol'nyh shahtah [Dust dynamics in coal mines].Moscow - Gornoe delo. [In Russian]*

СИСТЕМЫ ПНЕВМОГИДРООРОШЕНИЯ ДЛЯ БОРЬБЫ С ПЫЛЬЮ

Система пылеподавления разработана ГК «ВостЭКО и Горный-ЦОТ»

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

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

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



ООО "Горный-ЦОТ"
indsafe.ru



I. ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ГЕОМЕХАНИКА

I. INDUSTRIAL SAFETY AND GEOMECHANICS



■ **А.В. Шадрин // A.V. Shadrin**

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



■ **Ю.А. Диюк// Yu.A. Diiuk**

аспирант ФГБУН «ФИЦ УУХ СО РАН», Россия, 650065, г. Кемерово, Ленинградский пр., 10 Post graduate student Of FGBUN "FIC UUKh SO RAN" Russia, Kemerovo, Leningradsky Av., 10

УДК 622.268.3; 622.281.2

АЛГОРИТМ «НАСТРОЙКИ» КРИТЕРИЯ ВЫБРОСООПАСНОСТИ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО СПЕКТРАЛЬНО- АКУСТИЧЕСКОГО МЕТОДА ТЕКУЩЕГО ПРОГНОЗА OUTBURST HAZARD CURRENT FORECAST IMPROVED SPECTRAL-ACOUSTIC METHOD CRITERION "SETTING" ALGORITHM

Изложены требования к подсистеме прогноза выбросоопасности многофункциональной системы безопасности угольной шахты. Проанализированы геофизические методы текущего прогноза выбросоопасности, которые могут использоваться в подсистеме прогноза выбросоопасности для этапов развития трещин и выдавливания угля из устья полости начинающегося выброса. Показано, что метод акустической эмиссии, контролирующей развитие трещин, имеет значительно меньший критерий осуществления, чем критерий спектрально-акустического метода для этапа выдавливания угля. Поэтому он имеет более низкую достоверность прогноза, чем спектрально-акустический. Обоснован критерий выбросоопасности усовершенствованного спектрально-акустического метода прогноза, в котором критическое значение показателя выбросоопасности корректируется по концентрации метана в атмосфере выработки у забоя и по прочности угля. Обоснованы два алгоритма «настройки» критерия выбросоопасности путем учета данных одновременно выполняемого инструментального метода прогноза. Первый вариант предназначен для периодической настройки критерия выбросоопасности применяемого в настоящее время на практике варианта спектрально-акустического метода, называемого в действующей «Инструкции по прогнозу динамических явлений...» методом «...по параметрам искусственного акустического сигнала», не учитывающего газовый фактор выбросоопасности и прочность угля. Второй предназначен для разрабатываемого усовершенствованного автоматизированного спектрально-акустического метода, на базе которого предполагается создание подсистемы прогноза выбросоопасности многофункциональной системы безопасности угольной шахты.

The requirements for the outburst hazard forecasting subsystem of a coal mine multifunctional safety system are stated. The geophysical methods of the current outburst hazard forecast are analyzed, which can be used in the outburst hazard forecast subsystem for the crack development stages and coal squeezing out of the cavity mouth of the beginning outburst. It is shown that the acoustic emission method, which controls crack development, has a significantly lower performance criterion than the criterion of the spectral-acoustic method for the stage of coal squeezing. Therefore, it has a lower forecast confidence than the spectral-acoustic one. The criterion of the outburst hazard of the improved spectral-acoustic forecasting method is substantiated, in which the critical value of the outburst hazard indicator is corrected by the concentration of methane in the mine working atmosphere at the face and by the strength of the coal. Two algorithms for "setting" the outburst hazard criterion are substantiated by taking into account the data of the simultaneously performed instrumental forecasting method. The first option is intended for periodic adjustment of the outburst hazard criterion of the

spectral-acoustic method currently used in practice, called in the current "Instructions for forecasting dynamic phenomena ..." method "... by the parameters of an artificial acoustic signal", which does not take into account the outburst hazard gas factor and the strength of coal. The second is intended for the developed advanced automated spectral-acoustic method, on the basis of which it is planned to create a subsystem for forecasting the outburst hazard for a coal mine multifunctional safety system.

Ключевые слова: РАЗВИТИЕ ТРЕЩИН; ВЫДАВЛИВАНИЕ БЛОКА УГЛЯ; УСТЬЕ ПОЛОСТИ ВЫБРОСА; ПРОГНОЗ ВЫБРОСООПАСНОСТИ; СПЕКТРАЛЬНО-АКУСТИЧЕСКИЙ МЕТОД; МЕТОД АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ; ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЙ МЕТОД; КРИТЕРИЙ ВЫБРОСООПАСНОСТИ; АЛГОРИТМ НАСТРОЙКИ КРИТЕРИЯ

Key words: CRACK DEVELOPMENT; COAL BLOCK EXTRUSION; DISCHARGE CAVITY MOUTH; EMISSION HAZARD FORECAST; SPECTRAL-ACOUSTIC METHOD; ACOUSTIC EMISSION METHOD; INSTRUMENTAL METHOD; EMISSION HAZARD CRITERION; CRITERION SETTING ALGORITHM

Введение
Правилами безопасности в угольных и сланцевых шахтах регламентируется оснащать горные выработки шахт системами и средствами, обеспечивающими безопасное ведение горных работ [1]. Эти системы должны быть объединены в multifunctional системы безопасности (МФСБ).

Современные МФСБ на угольных шахтах, разрабатываемых и опасных по проявлению динамических явлений (ДЯ) пласты, должны включать в свой состав подсистему непрерывного текущего прогноза внезапных выбросов (сокращенно ПСПВ) угля и газа и сходных с ними явлений в процессе ведения горных работ [2].

Регламентируемые нормативным документом [2] методы прогноза можно разделить на два класса: инструментальные и геофизические. Прогноз инструментальными методами основан на отборе проб угля и газа при бурении контрольных скважин, что позволяет оценить реально влияющие на выбросоопасность факторы. Поэтому часть этих методов, наиболее полно контролирующая основные влияющие факторы выбросоопасности, характеризуется высокой достоверностью прогноза. Методы требуют остановки забоя, поэтому установленная ими опасность зависит от промежутка времени между остановкой забоя и проведением прогноза. Между тем наибольшая опасность возникает в процессе ведения горных работ. Обеспечить прогноз в движущемся забое может только автоматизированная система, построенная с использованием геофизических методов контроля геомеханического состояния массива. Однако геофизические методы контролируют параметры, которые косвенно зависят от основных влияющих факторов. Поэтому требуется «настройка» показателей выбросоопасности геофизических методов с помощью инструментальных методов, одновременно выполняемых с геофизическими.

Цель данной работы: обосновать алгоритм «настройки» критерия выбросоопасности усовершенствованного спектрально-акустического метода за счет учета данных одновременно выполняемого инструментального метода прогноза.

Анализ существующих геофизических методов текущего прогноза выбросоопасности угольных пластов

Выполненные нами исследования показали, что для того, чтобы ПСПВ осуществляла достоверный прогноз выбросоопасности, она должна удовлетворять следующим основным требованиям:

- не должна мешать ведению горных работ. Это могут делать только ПСПВ, основанные на геофизических методах контроля напряженного состояния газонасыщенного напряженного углепородного массива;
- ПСПВ должна основываться на контроле основных факторов выбросоопасности;
- должна иметь научно обоснованную методику оперативного определения критического значения показателя выбросоопасности на планируемом к отработке участке шахтопласта;
- заложенный в основу ПСПВ метод текущего прогноза должен иметь научно обоснованную величину радиуса чувствительности впереди забоя выработки;
- ПСПВ должна быть компьютеризована, чтобы обрабатывать большие объемы информации;
- ПСПВ должна иметь инфраструктурное подразделение для сопровождения функционирования: установки и перемещения элементов аппаратуры, контроля их функционирования, интерпретации полученных результатов прогноза и активизации программы мероприятий при прогнозе «Опасно» и т.п.

Существующие в настоящее время методы прогноза выбросоопасности большинству

этих требований не удовлетворяют. Покажем, чем это обосновано.

К настоящему времени известны системы прогноза динамических явлений, основанные на следующих методах контроля предвестников внезапных выбросов угля и газа [2, 3]: акустической эмиссии (АЭ), электромагнитного излучения (ЭМИ), газоаналитический, температурный и спектрально-акустический. Анализ принципов их работы и эффективности позволил сделать следующие выводы.

Во-первых, эти системы основаны на прогнозе преимущественно по одному или двум основным факторам потери устойчивости горного массива (либо горного давления, либо газового фактора). Поэтому, чтобы избежать аварий, критерии опасности берутся с большим запасом, что приводит к увеличению стоимости ведения горных работ.

Во-вторых, наибольшее распространение получили методы, основанные на использовании для контроля напряженного состояния горного массива акустического излучения. К ним относятся разновидности метода акустической эмиссии и разновидности спектрально-акустического. Основное преимущество использования акустического излучения по сравнению с электромагнитным состоит, во-первых, в том, что коэффициент затухания звука на рабочих частотах метода значительно ниже коэффициента затухания электромагнитного излучения. Во-вторых, в балансе энергий, выделяемых при скачкообразном росте трещины, акустическая составляющая значительно превышает электромагнитную. Поэтому радиус чувствительности акустических методов больше электромагнитных.

Метод прогноза по АЭ, называемый также акустоэмиссионным или микросейсмическим, основан на анализе процесса динамического развития трещин. Разновидности этого метода учитывают аномальный рост активности АЭ, иногда к ней добавляют определение координат источников АЭ или используют спектральный состав, и/или мощность импульсов АЭ [2, 4-8]. Однако этого бывает недостаточно для осуществления достоверного прогноза и появляются ошибки первого и второго рода.

Данный метод прогноза выбросоопасности был создан по аналогии с методом неразрушающей дефектоскопии по АЭ, применяемый для оценки прочности материалов и изделий. Основой акустоэмиссионного метода дефектоскопии является экспериментально установленная закономерность, состоящая в том, что, начиная с некоторой нагрузки (примерно в 70% от

предела прочности) в образце начинают скачкообразно расти трещины [9]. Причем активность этого процесса (число импульсов АЭ в единицу времени) по мере увеличения нагрузки растет до некоторых пор, а затем снижается, и процесс завершается прорастанием магистральных трещин, приводящих к разрушению образца [9-11]. При этом экспериментально установлено наличие вполне определенной временной зависимости суммы импульсов АЭ при разрушении как образцов горных пород, так и технических объектов (см., например, [12-14]. Эта закономерность выполняется на всех образцах и изделиях ограниченной формы: образцах горных пород, металлов, композитных материалов, корпусов и оболочек изделий, сооружений и т.п. [8-15].

Угольный пласт в отличие от лабораторных образцов является полубесконечной средой, в которой одна из стенок подвергается разрушению. При этом на некотором удалении от забоя выработки создается зона повышенного горного давления (ПГД), в которой могут возникать и расти трещины. Процесс роста трещин тем интенсивнее, чем выше действующие напряжения. Поэтому активность АЭ в очистных выработках значительно выше, чем в подготовительных, и сильно зависит от площади зависящей кровли над выработанным пространством [16]. По мере разрушения призабойного пространства происходит смещение области максимума ПГД в глубину массива и разрушению подвергается другая его часть. Если процесс смещения осуществляется равномерно с постоянной скоростью, то активность АЭ находится примерно на постоянном уровне. Если же по какой-либо причине произошло резкое смещение зоны ПГД, то рост активности АЭ может превзойти этот примерно постоянный уровень, хотя реальная выбросоопасность может снизиться из-за отодвигания максимума опорного давления в глубь массива. Повышением активности АЭ при перемещении зоны ПГД обусловлено, по нашему мнению, большинство ошибок второго рода (ошибочная угроза динамического явления) при прогнозе внезапных выбросов и горных ударов методом АЭ.

Спектрально-акустический метод в действующей «Инструкции по прогнозу динамических явлений...» называется «...по параметрам искусственного акустического сигнала» [2]. Он основан на влиянии горного давления на спектральный состав «шума» работающего горного оборудования, распространяющегося по призабойному пространству между источником и приемником «шума» [17]. Метод также имеет не-

сколько модификаций, различающихся алгоритмом обработки акустических сигналов [18, 19].

Оба указанных геофизических метода прогноза не имеют аналитически достаточно обоснованной и экспериментально подтвержденной методики определения критерия выбросоопасности. Это обусловлено большим числом параметров, характеризующих устойчивость массива, которые в шахтных условиях оперативно определены быть не могут. Поэтому критерии выбросоопасности устанавливаются по результатам статистической обработки экспериментальной информации о величинах показателей выбросоопасности применяемого геофизического метода, зарегистрированных либо перед динамическими явлениями в контролируемом пласте, либо, когда опасность выброса была спрогнозирована более достоверным инструментальным методом.

Для обоснования наиболее достоверного из этих методов сравним их критерии выбросоопасности. При этом будем рассматривать вариант исполнения усовершенствованного спектрально-акустического метода, в котором критерий выбросоопасности корректируется с учетом газового фактора и прочности угля [20].

Критерий выбросоопасности усовершенствованного спектрально-акустического метода, основанного на отношении амплитуд высокочастотной и низкочастотной частей спектра «шума» и коррекции показателя опасности по концентрации метана и прочности угля.

Подготовка внезапного выброса ведется постепенно. В упрощенном виде этот процесс можно рассматривать как состоящий из двух этапов, характеризующих начало и завершение подготовки выброса. Первый этап соответствует началу и продолжению развития трещин в призабойном пространстве, что приводит к созданию в нем блочной структуры. Второй этап соответствует завершению подготовки внезапного выброса и заключается в мгновенном разрушении узкого слоя угля в области устья полости будущего выброса (по сути это горный микроудар) и выдавливанию образовавшихся кусков угля в выработку, после чего здесь скачком возрастает горное давление и начинается собственно выброс.

Для обоих этапов в работе [20] определены критерии их выполнения для показателя выбросоопасности в форме отношения амплитуд высокочастотной и низкочастотной частей спектра «шума» работающего горного оборудования

(например, проходческого комбайна):

$$K_c = \frac{A_h}{A_l} = \exp(-C \frac{\sigma_l}{\sigma_c} d), \quad (1)$$

где: A_h и A_l – амплитуды акустических шумов работающего горного оборудования, замеренные соответственно на высоких и низких частотах, В; σ_l и σ_c – соответственно средние предельное и текущее напряжения в данном месте в настоящий момент, Па; d – расстояние между источником шума, воздействующим на забой, и приемником (геофоном), установленным в борт выработки, м:

$$C = \frac{\alpha_0 \beta (f_h - f_l)}{f_0}, \text{ м}^{-1}; \quad (2)$$

f_h и f_l – характерные частоты из диапазонов соответственно высоких и низких рабочих частот источника акустического сигнала, Гц; α_0 – затухание на некоторой частоте f_0 , принадлежащей диапазону регистрируемых частот, м⁻¹; β – безразмерный коэффициент пропорциональности, определяемый свойствами массива.

Текущее значение показателя выбросоопасности K_c принимает критическое значение K_l при равенстве σ_l и σ_c . Процесс текущего прогноза выбросоопасности заключается в определении текущего значения показателя выбросоопасности, равного отношению A_h/A_l и сравнения этой величины с критическим значением. Однако для осуществления такого контроля необходимо знать текущее критическое значение показателя выбросоопасности на проходимом участке выработки.

Поскольку на показатель применяемого на практике варианта исполнения спектрально-акустического метода влияет только горное давление (акустическое излучение преимущественно распространяется по твердому скелету угля, поэтому величина давления газа в порах и трещинах на затухание излучения не влияет), нами было предложено усовершенствовать этот метод путем учета при определении критического значения (критерия) выбросоопасности газового фактора - по концентрации метана в атмосфере выработки и прочности угля, измеряемой периодическим прочностномером.

Для этапа развития трещин этот критерий определяется следующим выражением [20]:

$$K_{l,c} = \exp \left\{ -Cd \left[\frac{\sigma_0}{0,1 \left(\frac{q}{110-q} \right) \sigma_0 - \frac{\Psi_{cr}}{3} x_{cr} \exp \left(-\frac{x_{cr}}{x_{st}} \right) D \sqrt{\frac{Q\Omega}{\xi_i}}} \right] \right\}, \quad (3)$$

где: $\sigma_0 = l$ МПа – нормирующий множитель, обусловленный определением пределов прочности угля через безразмерный показатель прочности q , измеряемый прочностномером конструкции

ИГД им. Скопинского; параметр $\Psi_{cr}(x_{cr}/l)=k_l/k_l^\infty$ здесь k_l и k_l^∞ - коэффициенты интенсивности напряжений соответственно в точке наблюдения (где происходит рост трещины) и вне зоны влияния выработки; x_{cr} - критическое расстояние от забоя выработки, в плоскости которого инициируется скачкообразный рост трещины, м; l - полудлина трещины; x_{st} - расстояние от забоя до участка массива, где давление газа стабилизируется, м; Q - расход воздуха вентилятором местного проветривания, подающего воздух в данную выработку, м³/с; Ω - текущее значение концентрации метана, измеренное датчиком у забоя выработки, %; ξ_i - коэффициент, учитывающий степень воздействия (долю свежееобнаженной площади забоя) i -го вида оборудования (комбайн, отбойный молоток, диаметр коронки бурового станка и пр.) на забой, $0 < \xi_i < 1$.

В (1) параметр D определяется следующим образом [20]:

$$D = m(k_0 \eta P_{at})^{1/2} \cdot (100 S_f)^{-1/2}, \text{ Па} \cdot \text{с}^{1/2} \cdot \text{м}^{5/2}, \quad (4)$$

где m - константа, характеризующая пористость угля; k_0 - коэффициент, характеризующий газопроницаемость пласта, м³; η - динамическая вязкость метана, Па·с; P_{at} - давление газа на плоскости забоя, равное атмосферному, Па; S_f - площадь поверхности забоя выработки, м².

Для второго этапа подготовки внезапного выброса (начала выдавливания слоя угля в устье полости выброса) критерий выбросоопасности определяется выражением [20]:

$$K_{2,j,c} = \exp \left\{ -Cd \left[\frac{\sigma_0}{0,1 \left(\frac{q}{110-q} \right) \sigma_0 - (1-\varphi) 10^{-2} \exp \left(-\frac{x_1}{x_{st}} \right) r_e D \sqrt{\frac{Q\Omega}{\xi_i}}} \right] \right\}, \quad (5)$$

где: r_e и x_1 - соответственно эффективный радиус и толщина выдавливаемого слоя угля, м; φ - коэффициент, определяющий долю площади выдавливаемого участка, вдоль которой берега трещины, отделяющей участок от остального массива, плотно контактируют ($\varphi = E(0; 1)$).

Из сравнения (3) и (5) видно, что в отсутствии газа в пласте ($\Omega=0$) критерии развития (роста) трещин и начала выдавливания слоя угля совпадают, так как вторые слагаемые в знаменателях показателя экспоненты равны нулю. Следовательно, можно предположить, что для этих условий прогноз подготовки динамических явлений методом АЭ и спектрально-акустическим имеет примерно одинаковую достоверность.

Газоносные пласты с ростом давления газа имеют значительно различающиеся критерии опасности указанных этапов подготовки выброса. Это различие проявляется в иных па-

раметрах, входящих во второе слагаемое знаменателей показателей.

Рассмотрим зависимость критериев выполнения этих двух этапов от концентрации метана Ω у забоя выработки, характеризующей газовый фактор проявления динамического явления. Для этого вначале необходимо оценить неизвестные параметры в выражениях для каждого этапа.

Предположим, что при прочности угля $q=60$ у.е. (для этой прочности коэффициент крепости угля по М.М. Протодьяконову $F=0,48$) горное и газовое давление оказывает одинаковое влияние на выбросоопасность массива. Тогда в выражениях (3) и (5) слагаемые в знаменателе показателя экспоненты равны между собой. Из этого условия выражения для определения параметра D для этапа развития трещин (назовем его D_1) и для этапа отжима слоя угля (D_2) определяются следующим образом:

$$D_1 = \frac{0,1 \left(\frac{q}{110-q} \right) \sigma_0}{\frac{\Psi_{cr}}{3} x_{cr} \exp \left(-\frac{x_{cr}}{x_{st}} \right) \sqrt{\frac{Q\Omega}{\xi_i}}}$$

для этапа развития трещин, (6)

$$D_2 = \frac{0,1 \left(\frac{q}{110-q} \right) \sigma_0}{(1-\varphi) 10^{-2} \exp \left(-\frac{x_1}{x_{st}} \right) r_e \sqrt{\frac{Q\Omega}{\xi_i}}}$$

для этапа отжима слоя угля. (7)

При условиях: $\Psi_{cr}=5$; $x_{cr}=0,1$ м; $\Omega=1\%$; $\xi_i=0,1$; $x_{st}=10$ м; $\varphi=0,5$; $x_1=0,1$ м; $r_e=0,5$ м; $Q=10$ м³ получим: $D_1=0,07$ МПа·с^{1/2}·м^{5/2}; $D_2=4,85$ МПа·с^{1/2}·м^{5/2}. Из сравнения этих величин (они различаются на три порядка величины) можно сделать вывод, что газовый фактор на этапе роста трещин имеет гораздо большее значение, чем на этапе выдавливания угля.

На рисунке 1 приведены при $q=90$ у.е. графики зависимости критерия выбросоопасности от концентрации метана: вида (3) - три кривые, и вида (5) - одна кривая.

Оценка параметра C сделана на основании данных, приведенных в работе [23].

Общие параметры для трех кривых: $C=0,02$ м⁻¹; $d=10$ м; $q=90$ у.е. ($F=1,8$); $x_{st}=10$ м; $Q=10$ м³/с; $\xi_i=0,1$; $D \approx 1,7$ МПа·с^{1/2}·м^{5/2}.

Первая кривая вида (3) построена в предположении, что трещина развивается недалеко от забоя на расстоянии $x_{cr}=0,1$ м. Для этого расстояния взято значение параметра $\Psi_{cr}=5$. Вторая кривая вида (3) построена в предположении, что трещина развивается на расстоянии $x_{cr} \approx 1$ м от за-

боя. Для этого расстояния примерное значение параметра $\Psi_{cr}=2$. Третья кривая вида (3) построена в предположении, что трещина развивается достаточно далеко от забоя - на расстоянии $x_{cr}=5$ м. Для этого расстояния взято значение параметра $\Psi_{cr}=1,2$. (Зависимость Ψ_{cr} от отношения расстояния до забоя и полудлины трещины взята из работы [22]).

Кривая вида (5) построена при следующих значениях параметров: $r_e=0,5$ м; $x_l=0,1$ м; $\varphi=0,5$. Остальные параметры совпадают с параметрами, используемыми при построении кривых вида (1).

На рисунке 2 представлены аналогичные зависимости, что и на рисунке 1, но для прочности угля $q=70$ у.е. ($F=0,70$). Здесь приведены только две кривые вида (3), т.к. при $\Psi_{cr} \approx 1,2$ на удалении $x_{cr}=5$ м, концентрации метана $\Omega > 0$ и при используемых значениях горного давления (его величина учтена в выражении (3) через параметр q [20]) условия развития выполняются для всех трещин.

Из рисунков видно, что с уменьшением прочности угля критерии развития трещин и отжима слоя угля уменьшаются. В отсутствие метана в угле при одной и той же его прочности эти критерии равны между собой. С увеличением концентрации метана в атмосфере выработки у забоя критерий роста трещин уменьшается по экспоненциальной кривой, причем по мере удаления от забоя в глубь массива скорость уменьшения критерия возрастает. При этом значение критерия отжима угля остается практически постоянным для большого диапазона изменений концентрации метана.

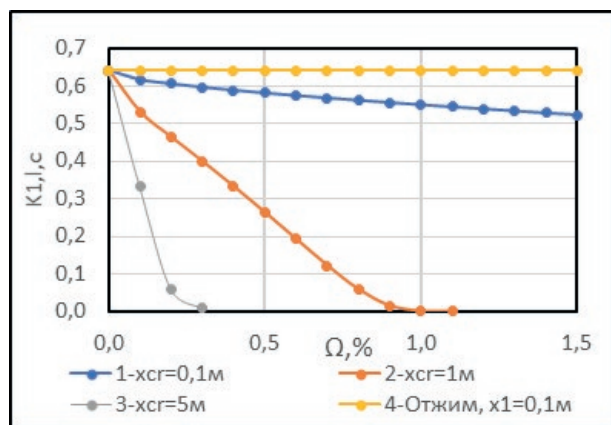


Рисунок 1. Зависимость критерия развития трещин и отжима угля от концентрации метана в атмосфере выработки при прочности угля $q=90$ у.е.

Figure: 1. Dependence of the criterion for the development of cracks and coal press out on methane concentration in the working atmosphere at coal strength $q = 90$ c.u.

Выбросоопасные пласты содержат в себе большое количество газа, и трещины в них начинают развиваться далеко от забоя при приближении к ним зоны ПГД. Отсюда следует, что на практике в большинстве случаев критерий роста трещин значительно ниже критерия выдавливания угля из устья возникающей полости выброса. Именно по этой причине, по нашему мнению, метод прогноза выбросоопасности по акустической эмиссии, исследуемый и применяемый на практике уже более полувека, демонстрирует невысокую достоверность прогноза. В связи с этим наше исследование направлено на обоснование усовершенствованного спектрально-акустического метода текущего прогноза выбросоопасности, в котором критерий выбросоопасности корректируется по показаниям концентрации в атмосфере выработки и прочности угля.

Поскольку структура критериев выбросоопасности для обоих этапов подготовки выброса одинаковая, в работе [20] был обоснован обобщенный критерий выбросоопасности $K_{l,c}$ в виде:

$$K_{l,c} = \exp \left\{ -Cd \left[\frac{\sigma_0}{0,1 \left(\frac{q}{110-q} \right) \sigma_0 - D_{об} \sqrt{Q\Omega}} \right] \right\}, \quad (8)$$

где:

$$D_{об} = \frac{\Delta D}{\sqrt{\xi}} \exp \left(-\frac{x_{cr}}{x_{st}} \right); \quad \Delta = \max \left\{ \frac{\Psi_{cr}}{3}, (1-\varphi) 10^{-2} \frac{r_e}{x_l} \right\}. \quad (9)$$

В выражении (8) оперативно измеряемыми являются параметры d , q , и Ω . Практически невозможно определить параметр $D_{об}$, поскольку этот параметр зависит от большого числа физических величин, которые оперативно и достоверно измерены быть не могут. Также трудно изме-

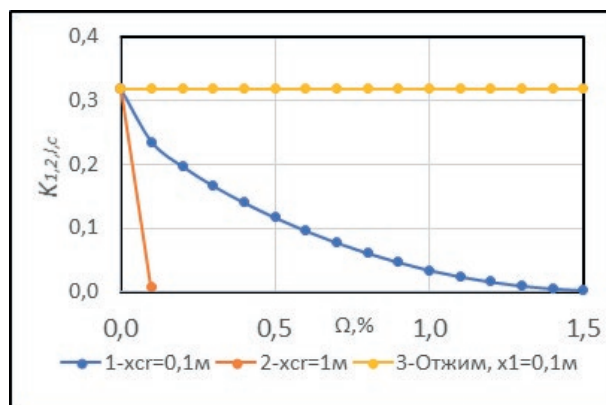


Рисунок 2. Зависимость критерия развития трещин и отжима угля от концентрации метана в атмосфере выработки при прочности угля $q=70$ у.е.

Figure: 2. Dependence of the criterion for the development of cracks and coal press out on methane concentration in the working atmosphere at coal strength $q = 70$ c.u.

ритель параметр C . Однако $D_{об}$ и C можно оценить по результатам одновременно выполненного прогноза выбросоопасности спектрально-акустическим и инструментальным методом [24]. Рассмотрим этот алгоритм подробнее.

Обоснование алгоритма «настройки» критерия выбросоопасности усовершенствованного спектрально-акустического метода путем учета данных одновременно выполняемого инструментального метода прогноза

В работе [24] в качестве инструментального использовался метод прогноза «по начальной скорости газовыделения и выходу буровой мелочи» [2]. Согласно этому методу, экспериментальное текущее значение показателя выбросоопасности $R_{c,e}$ определялось по следующей формуле:

$$R_{c,e} = (S_{max,c,e} - 1.8)(g_{max,c,e} - a), \quad (10)$$

где $S_{max,c,e}$ и $g_{max,c,e}$ – текущие максимальные значения соответственно выхода буровой мелочи и начальной скорости газовыделения с интервала контроля на экспериментальном участке.

Его критическое значение равнялось величине b , которая для условий Кузбасса равна $b=6$.

При таком подходе к решению задачи, экспериментально измерив текущие значения показателей выбросоопасности инструментального ($R_{c,e}$) и спектрально-акустического ($K_{c,e}$) метода, экспериментальное текущее критическое значение показателя выбросоопасности $K_{l,c,e}$, экспериментальные значения параметров параметры C и $D_{об}$, соответственно C_e и $D_{об,e}$, определялись следующим образом [24]:

$$K_{l,c,e} = \frac{K_{c,e}}{R_{c,e}} b \quad (11)$$

$$C_e = -\frac{\ln\left(\frac{K_{c,e}}{R_{c,e}} b\right)}{d_e}, \quad (12)$$

$$C = -\frac{\ln\left(\frac{K_{c,e}}{B_n}\right)}{d_e},$$

где d_e – расстояние между рабочим органом комбайна (источником излучения) и геофоном, определенное путем построения средней линии гипотетической траектории движения акустической волны вдоль борта выработки.

$$D_{об,e} = \frac{\sigma_0 \left[0.1 \left(\frac{q_e}{110 - q_e} \right) - 1 \right]}{\sqrt{Q_e \Omega_e}}. \quad (13)$$

где q_e , Q_e и Ω_e – измеренные значения соответ-

ственно прочности угля, производительности ВМП и концентрации метана у забоя выработки на экспериментальном участке.

Указанная разновидность инструментального метода текущего прогноза выбросоопасности имеет большой опыт применения на практике и показала достаточно высокую достоверность прогноза. Однако при проверке ее использование для обоснования алгоритма «настройки» спектрально-акустического метода по определению является положительной величиной, а инструментального при $g_{max,c,e} < 4$ л/мин·м – отрицательной. Поэтому определить параметр C_e по формуле (12) невозможно. Это побудило использовать для «настройки» критерия выбросоопасности усовершенствованного спектрально-акустического метода другую разновидность инструментального метода, также использующего для определения критерия выбросоопасности начальную скорость газовыделения и выход штыба при бурении скважины. Эта разновидность метода прогноза изложена в работе [25]. Следует отметить, что показатель выбросоопасности по параметру B_n (выражение (14)) достовернее параметра $R_{c,e}$ (выражение (10)), однако более сложен в реализации.

Согласно [25], показатель выбросоопасной зоны в окрестности подготовительной выработки B_n определяется выражением:

$$B_n = \frac{k(g_{n,max}^* - g_{n,z}^*)S_e}{f\Pi_{g,max}}, \quad (14)$$

где $k = 1,25$ мин/л – постоянный коэффициент; $g_{n,max}^*$ и $g_{n,z}^*$ – максимальное значение приведенной начальной скорости газовыделения соответственно по длине шпура и в первом (ближайшем к забою) интервале скважины, л/мин; S_e и Π соответственно – площадь (m^2) и периметр (m) выбросоопасной пачки угля в плоскости забоя; f – коэффициент крепости угля по М.М. Протодеяконову; $l_{g,max}$ – расстояние от забоя до середины интервала скважины, для которого установлено значение $g_{n,max}^*$ м.

Здесь под приведенной начальной скоростью газовыделения понимается ее величина, пересчитанная (приведенная) с учетом того, что вследствие деформации стенок скважины под действием горного давления выход штыба значительно превосходит величину, равную проектному объему пробуренной скважины без учета деформации стенок. Соответственно возрастает и начальная скорость газовыделения.

Приведенное значение начальной ско-

рости газовыделения с интервала скважины g_n^* связано с измеренным значением начальной скорости газовыделения $g_{н.изм}$ (л/мин) и выходом бурового штыба Z (л/м) следующим образом [25]:

$$g_n^* = g_{н.изм} \sqrt{\frac{2}{Z_{\max}}}. \quad (15)$$

Коэффициент крепости f в шахте удобно измерять прочностномером П-1 конструкции ИГД им. А.А. Скочинского. Связь между коэффициентом крепости f и показанием q прочностномера П-1 следующая [25]:

$$f = \frac{0,4q}{110 - q}. \quad (16)$$

Тогда в соответствии с (11) текущее критическое текущее значение показателя выбросоопасности спектрально-акустического метода определится по формуле:

$$K_{l,c,e} = \frac{K_{c,e}}{B_n}. \quad (17)$$

Полученные результаты явились основанием для разработки двух алгоритмов: периодической и непрерывной «настройки» критерия выбросоопасности усовершенствованного спектрально-акустического метода.

Алгоритмы периодической и непрерывной «настройки» критерия выбросоопасности усовершенствованного спектрально-акустического метода.

Разработка двух алгоритмов «настройки» критерия выбросоопасности обусловлена следующим. Первый вариант «настройки» предназначен для применяемого в настоящее время на практике варианта спектрально-акустического метода, основанного на контроле лишь горного давления стационарной аппаратурой без учета газового фактора и прочности угля. Для этого вида прогноза, называемого методом «текущего прогноза выбросоопасности по параметрам искусственного акустического сигнала», действующей «Инструкцией...» регламентируется «первоначально пороговое значение прогнозных параметров устанавливать по результатам текущего прогноза выбросоопасности по параметрам искусственного акустического сигнала, полученным на участке проводимой горной выработки или горных выработок, для которых установлена категория «неопасно» [2]. Но если критерий установлен равным показателю выбросоопасности, определенному на неопасном участке, то он не может быть критерием опасности внезапного выброса.

Чтобы улучшить достоверность прогноза этим методом предлагается периодически «на-

страивать» по формуле (17) критерий выбросоопасности путем одновременно выполняемых спектрально-акустического и инструментального методов. Этот критерий будет действовать на ограниченную длину проходки при условии, что концентрация метана в атмосфере выработки при работе комбайна и прочность наименее прочной пачки угля мощностью более 0,2 м не изменяются более чем на 10% от значений, замеренных при осуществлении «настройки».

Второй вариант алгоритма «настройки» предназначен для разрабатываемого в настоящее время варианта спектрально-акустического метода, в котором критерий выбросоопасности непрерывно автоматизировано корректируется по формуле (8). В ней для непрерывного учета газового фактора и периодических изменений прочности угля рассчитываются параметры C и $D_{об}$ соответственно по формулам (18) и (13).

$$C = -\frac{\ln\left(\frac{K_{c,e}}{B_n}\right)}{d_e}. \quad (18)$$

Оба варианта алгоритма «настройки» осуществляются на участке пласта, о котором заранее известно, что он не выбросоопасен. Рассмотрим их подробно.

Алгоритм экспериментальной периодической «настройки» критерия выбросоопасности.

Алгоритм реализуется в следующей последовательности.

На выбранном для эксперимента участке вначале выполняют инструментальный метод прогноза. Измеряют мощность перемятой пачки, ее ширину и прочностномером П-1 - прочность. По этим данным рассчитывают периметр, площадь и коэффициент крепости угля по М.М. Протодьяконову. Далее бурят контрольный шпур и поинтервально измеряют максимальные значения начальной скорости газовыделения и выход штыба. По формуле (15) рассчитывают максимальное значение приведенной начальной скорости газовыделения по длине шпура и в первом (ближайшем к забою) интервале скважины. С помощью рассчитанных данных по формуле (14) определяют показатель выбросоопасности инструментального метода прогноза.

Затем начинают проходку комбайном этого же участка пласта и измеряют показатель выбросоопасности спектрально-акустическим методом. По формуле (17) определяют критическое значение показателя выбросоопасности спектрально-акустического метода. Этот критерий исполь-

зуют до следующего момента «настройки».

Алгоритм экспериментальной непрерывной «настройки» критерия выбросоопасности.

Вначале определяют критерий выбросоопасности по алгоритму периодической «настройки» критерия выбросоопасности. Затем для интервала скважины, при прохождении которого комбайном было зарегистрировано максимальное значение начальной скорости газовыделения, выбирают следующие данные: показатель выбросоопасности спектрально-акустического метода и максимальное значение концентрации метана. Для этого же интервала рассчитывают расстояние от его конца до геофона. Используя полученные данные, по формулам (18) и (13) рассчитывают параметры C и D . Далее эти параметры подставляют в формулу (8). После этого корректировка критерия выбросоопасности осуществляется автоматически программно-аппаратным комплексом, в который непрерывно поступает акустический сигнал «шума» работающего комбайна и концентрация метана в атмосфере выработки у забоя. Комплекс непрерывно рассчитывает текущее значение показателя выбросоопасности как отношение амплитуд высокочастотной и низкочастотной частей спектра «шума» по формуле (1), а также его критическое значение по формуле (8), сравнивает текущее и критическое значения, по результатам которого определяет степень выбросоопасности.

Выводы

1. Существующие геофизические методы текущего прогноза выбросоопасности угольных пластов, основанные на анализе акустической или электромагнитной эмиссии, а также спектрального состава шумов работающего горного оборудования, не имеют научно обоснованного

метода определения критерия выбросоопасности для конкретной зоны угольного пласта. Как правило, критерий устанавливается на основании статистической обработки экспериментальных данных. Это требует много времени и не гарантирует высокую достоверность прогноза.

2. Инструментальные методы прогноза, основанные на контроле горного давления, внутрипластового давления газа и прочности угля по начальной скорости газовыделения и выхода бурового штыба при поинтервальном бурении скважины имеют достаточно хорошее научное обоснование и высокую достоверность прогноза, однако характеризуются большой продолжительностью, что снижает темпы ведения горных работ.

3. Критерий выбросоопасности геофизического метода прогноза можно экспериментально определить путем сопоставления показателей выбросоопасности геофизического и инструментального метода прогноза, выполненных одновременно на одном и том же участке пласта.

4. Для применяемого в настоящее время метода «текущего прогноза выбросоопасности по параметрам искусственного акустического сигнала» предложен алгоритм экспериментальной периодической «настройки» критерия выбросоопасности по параметрам инструментального метода прогноза.

5. Для разрабатываемого перспективного автоматизированного метода спектрально-акустического прогноза выбросоопасности предложен алгоритм экспериментальной начальной «настройки» критерия выбросоопасности по параметрам инструментального метода прогноза с последующей непрерывной коррекцией критерия выбросоопасности по измеряемой аппаратурой газовой защиты концентрации метана в выработке и периодически измеряемой прочности угля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила безопасности в угольных шахтах: федер. нормы и правила в обл. пром. безопасности. Утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 19.11.2013 г. №550.
2. Инструкция по прогнозу динамических явлений и мониторингу массива горных пород при отработке угольных месторождений: федер. нормы и правила в обл. пром. безопасности. — Сер. 05. — Вып. 49. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2019. — 148 с.
3. Шадрин, А.В. Алгоритмы способов текущего прогноза выбросоопасности угольных пластов / А.В. Шадрин, Ю.А. Бирева // Научно-технические аспекты разработки и использования минеральных ресурсов: сб. науч. статей / Сиб. гос. ун-т; под общей ред. В.Н. Фрянова. — Новокузнецк, 2014. — С.390-394.
4. Jing Li, Si-Yuan Gong, Jiang He, Wu Cai, Guang-An Zhu, Chang-Bin Wang, Tian COhen. Spatio-temporal assessments of rockburst hazard combining b values and seismic tomography // *Acta Geophysica*, March 2017, Volume 65, Issue 1, pp 77–88]. DOI: 10.1007/s11600-017-0008-y
5. Cai-Ping Lu, Lin-Ming Dou, Hui Liu, Hai-Shun Liu, Bin-Bin Du. Case study on microseismic effect of coal and gas outburst process // *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Volume 53, July 2012, Pages 101-110. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2012.05.009>.
6. Предупреждение газодинамических явлений в угольных шахтах: Сборник документов. Серия 05. Выпуск 2 /

- Колл. авт. – 4-е изд., испр. – М.: ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2011. – 304 с.
7. Беседина А.Н. Особенности сейсмического мониторинга слабых динамических событий в массиве горных пород / А.Н. Беседина, Н.В. Кабыченко, Г.Г. Кочарян // ФТПРПИ. 2013. – №5. – С. 20-36.
 8. S. Arndt. Forecasting Seismicity, Stability and Stress in Underground Mining. Proc. of SIMULIA Community Conference. 2013. pp.807-820.
 9. Грешников В.А. Акустическая эмиссия. Применение для испытаний материалов и изделий / Грешников В.А., Дробот Ю.В. М.: Изд-во стандартов, 1976, 272 с.
 10. Brady B.T. Theory of earthquakes, I. A scale independent theory of rock failure. Pure and Appl. Geophys., vol. 112, 1974, p. 701-725.
 11. Brady B.T. Prediction of failures in mines – an overview. U.S. Dept. Of the Interior, Bu Mines RI 8285, 1978. -16 p.
 12. Reuter M, Crash M, Kiessling W, Veksler Yu. Геомеханический мониторинг методом анализа конвергенции: прогноз вероятности горных ударов и участков их проявления в лавах // Научно-технические проблемы разработки и использования минеральных ресурсов: науч. журнал / Сиб. гос. индустр. ун-т; под общей ред. В.Н. Фрянова. – Новокузнецк, 2018. – №4. С.17-22.
 13. Anye Cao, Guangcheng Jing, Yan-lu Ding, Sai Liu. Mining-induced static and dynamic loading rate effect on rock damage and acoustic emission characteristic under uniaxial // Safety Science. Volume 116, July 2019, Pages 86-96. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.03.003>
 14. Wu Cai, Linming Dou, Min Zhang, Wenzhuo Cao, Ji-Quan Shi, Longfei Feng. A fuzzy comprehensive evaluation methodology for rock burst forecasting using microseismic monitoring // Tunnelling and Underground Space Technology. Volume 80, October 2018, Pages 232-245. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2018.06.029>.
 15. Шкуратник В.Л. Экспериментальные исследования акустической эмиссии в образцах угля при одноосном нагружении / В.Л. Шкуратник, Ю.Л. Филимонов, С.В. Кучурин // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2004, №5. С. 42-49.
 16. Шадрин А.В. Установление приемлемого способа гидрообработки угольного пласта по акустической эмиссии // Горный информационно-аналитический бюллетень. Специальный выпуск №S49 «Подземная угледобыча XXI век-2». 20018. С. 290-299.
 17. Мирер С.В. Спектрально-акустический прогноз выбросоопасности угольных пластов / С.В.Мирер, О.И. Хмара, А.В. Шадрин. Кемерово: Кузбассвуиздат, 1999. - 92 с.
 18. Шадрин А.В. Особенности модификаций спектрально-акустического прогноза динамических явлений в угольных шахтах // 50 лет Российской научной школе комплексного освоения недр Земли. Материалы Международной научно-практической конференции. 13-16 ноября 2017. – М.: ИПКОН РАН, 2017. – С. 85-89.
 19. Шадрин А.В. Сравнительный анализ вариантов исполнения спектрально-акустического метода прогноза динамических явлений / А.В. Шадрин, А.А. Контримас, А.С. Телегуз // Научно-технические проблемы разработки и использования минеральных ресурсов: науч. журнал / Сиб. гос. индустр. ун-т; под общей ред. В.Н. Фрянова. – Новокузнецк, 2018. – №4. С.370-375.
 20. Шадрин А.В. Комплексный геофизический прогноз выбросоопасности угольных пластов // Безопасность труда в промышленности, 2019. №1. С. 42-48. DOI: 10.24000/0409-2961-2019-1-42-48.
 21. Глушко В.Т. Геофизический контроль в угольных шахтах / В.Т. Глушко, В.С. Ямщиков, А.А. Яланский. Киев: «Наук. думка», 1978. – 224 с.
 22. Петухов, И.М. Механика горных ударов и выбросов / И.М. Петухов, А.М. Линьков. М.: «Недра», 1983. – 280 с.
 23. Шадрин А.В. Медиана амплитудно-частотной характеристики шумов работающего горного оборудования как показатель выбросоопасности / А.В. Шадрин, А.А. Контримас // Безопасность труда в промышленности, 2019. №12. С. 27-35. DOI: 10.24000/0409-2961-2019-12-37-45.
 24. Шадрин А.В. Определение критерия выбросоопасности для комплексного спектрально-акустического метода прогноза / А.В. Шадрин, Ю.А. Дюк // Безопасность труда в промышленности, 2019. №8. С. 19-26. DOI: 10.24000/0409-2961-2019-8-19-26.25.
 25. Зыков В.С. Внезапные выбросы угля и газа и другие газодинамические явления в шахтах. – Кемерово: Институт угля и углехимии СО РАН, 2010. – 333 с.

REFERENCES

1. Pravila bezopasnosti v ugol'nykh shakhtakh: federal'nyye normy i pravila v oblasti promyshlennoy bezopasnosti [Safety rules in coal mines: federal rules and regulations in the field of industrial safety]. Approved by the order of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision of November 19, 2013 No. 550[in Russian].
2. Instruktsiya po prognozu dinamicheskikh yavleniy i monitoringu massiva gornyykh porod pri otrabotke ugol'nykh mestorozhdeniy [Instructions for predicting dynamic phenomena and monitoring rock mass in the development of coal deposits]. Federal rules and regulations in the field of industrial safety. Ser. 05. - Iss. 49. - Moscow: ZAO STC PB, 2019 [in Russian].
3. Shadrin, A.V., & Bireva, Yu.A. (2014). Algoritmy sposobov tekushchego prognoza vybrosoopasnosti ugol'nykh plastov [Algorithms of methods for the current forecast of coal seam outburst hazard]. Naukoyemkiye tekhnologii razrabotki i ispol'zovaniya mineral'nykh resursov: sbornik nauchnykh statey - Science-intensive technologies for the development and use of mineral resources: collection of scientific articles. Novokuznetsk: Siberian State University, 390-394 [in Russian].
4. Jing Li, Si-Yuan Gong, Jiang He, Wu Cai, Guang-An Zhu, Chang-Bin Wang, Tian COhen. Spatio-temporal assessments of rockburst hazard combining b values and seismic tomography // Acta Geophysica, March 2017, Volume 65, Issue 1, pp 77–88]. DOI: 10.1007/s11600-017-0008-yhttps://doi.org/10.1016/j.ijrmmms.2012.05.009.
5. Cai-Ping Lu, Lin-Ming Dou, Hui Liu, Hai-Shun Liu, Bin-Bin Du. Case study on microseismic effect of coal and gas outburst process // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Volume 53, July 2012, Pages 101-110.
6. Preduprezhdeniye gazodinamicheskikh yavleniy v ugol'nykh shakhtakh [Prevention of gas-dynamic phenomena in coal mines].Collection of articles. Moscow: ZAO Scientific and Technical Center for Research of Industrial Safety

- Problems (2011). [in Russian].
7. Besedina, A.N., Kabychenko, N.V., & Kochiarian, G.G. (2013). Osobennosti seysmicheskogo monitoringa slabyykh dinamicheskikh sobyitiy v massive gornyykh porod [Features of weak dynamic events seismic monitoring in the rock mass]. *FTRPI*, 5, 20-36 [in Russian].
 8. S. Arndt. Forecasting Seismicity, Stability and Stress in Underground Mining. Proc. of SIMULIA Community Conference. 2013. pp.807-820 [in English].
 9. Greshnikov, V.A., & Drobot, Yu.V. (1976). Akusticheskaya emissiya. Primeneniye dlya ispytaniy materialov i izdeliy [Acoustic emissions. Application for material and product testing]. Moscow: Izdatelstvo Standartov [in Russian].
 10. Brady B.T. Theory of earthquakes, I. A scale independent theory of rock failure. *Pure and Appl. Geophys.*, vol. 112, 1974, p. 701-725 [in English].
 11. Brady B.T. Prediction of failures in mines – an overview. U.S. Dept. Of the Interior, Bu Mines RI 8285, 1978.-16 p [in English].
 12. Reuter, M., Crash, M., Kiessling, W., & Veksler, Yu. (2018). Geomekhanicheskiy monitoring metodom analiza konvergentsii: prognoz veroyatnosti gornyykh udarov i uchastkov ikh proyavleniya v lavakh [Geomechanical monitoring by the method of convergence analysis: forecasting the probability of rock bumps and areas of their manifestation in long-walls]. *Science-intensive technologies for the development and use of mineral resources: Scientific Journal of Siberian State Industrial University*, 4, 17-22 [in Russian].
 13. Anye Cao, Guangcheng Jing, Yan-lu Ding, Sai Liu. Mining-induced static and dynamic loading rate effect on rock damage and acoustic emission characteristic under uniaxial // *Safety Science*. Volume 116, July 2019, Pages 86-96. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.03.003> [in English].
 14. Wu Cai, Linming Dou, Min Zhang, Wenzhuo Cao, Ji-Quan Shi, Longfei Feng. A fuzzy comprehensive evaluation methodology for rock burst forecasting using microseismic monitoring // *Tunnelling and Underground Space Technology*. Volume 80, October 2018, Pages 232-245. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2018.06.029>. [in English].
 15. Shkuratnik, V.L., Filimonov, V.L., & Kuchurin, S.V. (2004). Eksperimental'nyye issledovaniya akusticheskoy emissii v obraztsakh uglya pri odnoosnom nagruzhении [Experimental studies of acoustic emission in coal samples under uniaxial loading]. *Fiziko-tehnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopyayemykh - Physical and technical problems of mining*, 5, 42-49 [in Russian].
 16. Shadrin, A.V. (2018). Ustanovleniye priyemlemogo sposoba gidroobrabotki ugol'nogo plasta po akusticheskoy emissii [Establishing an Acceptable Acoustic Emission Hydrotreating Method for a Coal Seam]. *Gorny informatsionno-analiticheskiy bulletin – Mining Informational Analytical Bulletin. Special edition "Underground coal mining XXI century-2"* [in Russian].
 17. Mirer, S.V., Khmara, O.I., & Shadrin, A.V. (1999). Spektral'no-akusticheskii prognoz vybrosoopasnosti ugol'nykh plastov [Spectral-acoustic forecast of coal seam outburst hazard]. Kemerovo: Kuzbassvuzizdat [in Russian].
 18. Shadrin, A.V. (2017). Osobennosti modifikatsiy spektral'no-akusticheskogo prognoza dinamicheskikh yavleniy v ugol'nykh shakhtakh [Coal mine dynamic phenomena spectral-acoustic forecasting modifications' features]. *Proceedings from: 50 years of the Russian scientific school of the Earth's interior complex development: Mezhdunarodnaia nauchno-prakticheskaya konferentsiya 913-16 noiabria 2017 goda* - International Scientific and Practical Conference pp. 85-89). Moscow: IPKON [in Russian].
 19. Shadrin, A.V., Kontrimas, A.A., & Teleguz, A.S. (2018). Sravnitel'nyy analiz variantov ispolneniya spektral'no-akusticheskogo metoda prognoza dinamicheskikh yavleniy [Comparative analysis of the options for the execution of the spectral-acoustic method for forecasting dynamic phenomena]. *Science-intensive technologies for the development and use of mineral resources: Scientific Journal of Siberian State Industrial University*, 4, 370-375 [in Russian].
 20. Shadrin, A.V. (2019). Kompleksnyy geofizicheskiy prognoz vybrosoopasnosti ugol'nykh plastov [Coal seam outburst hazard comprehensive geophysical forecast]. *Bezopasnost truda v promyshlennosti – Industrial Labor Safety*, 1, 42-48 [in Russian].
 21. Glushko, V.T., Yamshchikov, V.S., & Yalansky, A.A. (1978). Geofizicheskiy kontrol' v ugol'nykh shakhtakh [Geophysical control in coal mines]. Kiev: Nauk. Dumka [in Russian].
 22. Petukhov, I.M., & Lin'kov, A.M. (1983). *Mekhanika gornyykh udarov i vybrosov [Rock bumps and outbursts mechanics]*. Moscow: Nedra [in Russian].
 23. Shadrin, A.V., & Kotrimas, A.A. (2019). Mediana amplitudno-chastotnoy kharakteristiki shumov rabotayushchego gornogo oborudovaniya kak pokazatel' vybrosoopasnosti [Mining equipment operating noise amplitude-frequency characteristic median as the outburst hazard indicator]. *Bezopasnost truda v promyshlennosti – Industrial Labor Safety*, 12, 27-35 [in Russian].
 24. Shadrin, A.V., & Diiuk, Yu.A. (2019). Opredeleniye kriteriya vybrosoopasnosti dlya kompleksnogo spektral'no-akusticheskogo metoda prognoza [Determination of the outburst hazard criterion for the complex spectral-acoustic forecasting method]. *Bezopasnost truda v promyshlennosti – Industrial Labor Safety*, 8, 19-26 [in Russian].
 25. Zikov, V.S. (2010). Vnezapnyye vybrosy uglya i gaza i drugiye gazodinamicheskiye yavleniya v shakhtakh [Sudden outbursts of coal and gas and other gas-dynamic phenomena in mines]. Kemerovo: Institut uglya i uglekhemii SO RAN [in Russian].



■ **В.А. Карасев // V.A. Karasev**
kva.gf@yandex.ru

заместитель директора Горного института ФГБОУ ВО КузГТУ, 650000, г.Кемерово, ул. Весенняя 28
Deputy Director of the Mining Institute FGBOU VO KuzGTU, 650000, Kemerovo, st. Vesenyaya 28



■ **Ю.А. Масаев // Yu.A. Masaev**

канд. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО КузГТУ 650000, г.Кемерово, ул. Весенняя 28
candidate of technical sciences, professor FGBOU VO KuzGTU 650000, Kemerovo, st. Vesenyaya 28



■ **В.Ю. Масаев // V.Yu. Masaev**
masaev-62@mail.ru

канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО КузГТУ 650000, г.Кемерово, ул. Весенняя 28
candidate of technical sciences, associate professor FGBOU VO KuzGTU 650000, Kemerovo, st. Vesenyaya 28

УДК 622.268.3; 622.281.2

ВЛИЯНИЕ ПРИМЕНЯЕМЫХ ВИДОВ КРЕПЕЙ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОТРАБОТКИ МОЩНЫХ КРУТОПАДАЮЩИХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

INFLUENCE OF THE APPLIED TYPES OF SUPPORTS ON THE EFFICIENCY OF MINING OF POWERFUL STEEPLY FALLING COAL SEAMS

Разработка мощных крутопадающих угольных залежей неразрывно связана с решением многих проблем. Применяемые системы разработки предусматривают проведение восстающих выработок на значительной глубине и в таких условиях большое значение приобретает управление кровлей выработанного пространства, позволяющего предотвращать проявления динамических и газодинамических явлений. Во многих случаях горные выработки находятся в зоне влияния очистных работ и их крепь испытывает повышенное горное давление. В таких условиях большой объём горных выработок крепился срубовой крепью с большим расходом крепёжного леса и низкой скоростью их проведения, а для возведения такой крепи необходимо было выработки круглого сечения расширять до прямоугольного сечения с помощью буровзрывных работ. В таких условиях в окрестностях выработок образовывались нарушенные зоны и усложнялось их поддержание. Для исключения таких проявлений потребовалась разработка и применение совершенных по конструктивным и технологическим свойствам, прочностным и деформационным параметрам видов крепей.

В статье изложены результаты исследований по разработке новых видов крепей и их промышленному применению в условиях шахт Кузбасса.

The development of powerful steeply falling coal deposits is inextricably linked to the solution of many problems. The applied development systems provide for carrying out rising workings at a considerable depth and in such conditions, it is of great importance to control the roof of the developed space, which allows preventing the manifestations of dynamic and gas-dynamic phenomena. In many cases, mine workings are located in the zone of influence of cleaning operations and their support is experiencing increased mountain pressure. In such conditions a large volume of mine workings is attached to the log support with the high cost of retaining forests and low speed of their conduct, and for the erection of such shoring was necessary elaboration of circular cross-section to expand to a rectangular cross-section using drilling and blasting. In such conditions in the vicinity of the excavations formed the disturbed zone and complicated maintenance. To exclude such manifestations, it was necessary to develop and apply types of supports that are perfect in terms of their structural and technological properties, strength and deformation parameters. The article presents the results of research on the development of new types of supports and their industrial application in the conditions of Kuzbass mines.

Ключевые слова: МОЩНЫЙ КРУТОПАДАЮЩИЙ ПЛАСТ, ДЕФОРМАЦИЯ КРЕПИ, МНОГОЗВЕН-

НАЯ СПИРАЛЬНАЯ КРЕПЬ, ОПОРНОЕ ДАВЛЕНИЕ, ЭЛЕМЕНТЫ КРЕПИ, МЕХАНИЗИРОВАННЫЙ ПОЛОК**Keywords:** *POWERFUL STEEPLY FALLING LAYER, SUPPORT DEFORMATION, MULTI-LINK SPIRAL SUPPORT, SUPPORT PRESSURE, SUPPORT ELEMENTS, MECHANIZED SHELF.*

При разработке угольных месторождений подземным способом эффективность добычи полезного ископаемого в большей степени зависит от условий залегания и мощности угольных пластов и особую сложность представляет разработка крутопадающих угольных пластов. Такая разработка сопровождается проведением большого объема восстающих горных выработок и более половины таких выработок крепятся деревянной срубовой крепью с высоким расходом леса, низкой скоростью проведения и однократным использованием. Кроме того, для возведения срубовой крепи выработки расширяются буровзрывным способом до прямоугольного сечения, что приводит к появлению нарушенных зон в боках выработок, осложняя их поддержание.

Другие виды крепей восстающих выработок не получили широкого применения из-за сложности возведения или недостаточной надежности поддержания выработок. Во многих случаях восстающие горные выработки находятся в зоне влияния очистных работ (рис.1) и их крепь испытывает повышенное горное давление. Устойчивость горных выработок и работоспособность существенно зависят от последовательности ведения работ во времени. В этих условиях требуется применение более совершенных по конструктивным и технологическим свойствам, прочностным и деформационным параметрам видов крепей.

Качество производства буровзрывных работ сказывается на глубине нарушенной зоны вокруг выработки, а также на количестве и величине неровностей породного контура горной выработки, чем мощнее взрывчатое вещество, тем больше происходит нарушение законтурного массива и тем интенсивнее могут развиваться нагрузки на крепь.

Неровности породного контура выработки могут вызвать сосредоточенные неравномерные нагрузки на крепь. В этих случаях несущая способность крепи в значительной степени снижается и увеличивается вероятность её деформации, а пустоты за крепью, образуемые вследствие неровностей контура, могут вызвать появление динамических нагрузок на крепь, возникающих в результате вывалообразования. Для исключения таких проявлений рекомендуется применять забутовку закрепного простран-

ства, которая способствует перераспределению напряжений и снижению смещений за счет расслоения горных пород. При некачественной забутовке или её отсутствии крепь будет испытывать сосредоточенную и резко неравномерную нагрузку, за счет чего в местах непосредственного контакта породного массива с крепью при наличии смещений пород будут передаваться большие местные усилия. При такой нагрузке несущая способность конструкции крепи уменьшается и изгибающие моменты, вызывающие растягивающие напряжения в материале крепи увеличиваются, что может привести к потере устойчивости крепи.

В этих условиях требуется применение более совершенных по конструктивным и технологическим свойствам, прочностным и деформационным параметрам видов крепей. Поэтому, совершенствование конструкции и способов возведения крепи, позволяющей повысить надежность поддержания восстающих выработок и безопасность горных работ при снижении материальных и трудовых затрат является одной из актуальных задач подземной разработки угольных месторождений.

Крепи восстающих горных выработок постоянно совершенствовались в зависимости от уровня развития технологии угледобычи. Развитие техники привело к поточной технологии, совмещающей во времени проведение выработок и возведение крепи.

Дальнейшее усовершенствование крепи восстающих горных выработок стало возможным на основе новых теоретических разработок в направлении взаимодействия крепи с горными массивами и использовании современных материалов с учетом предъявляемых технических, производственных и экономических требований.

Технические требования учитывают прочность крепи, её устойчивость, жесткость и податливость.

Работая длительное время в сложных горнотехнических условиях крепь должна обеспечивать устойчивость и сохранность горной выработки и прежде чем выбирать вид и конструкцию крепи необходимо учитывать характер проявления горного давления.

Напряжения в породном массиве зависят от многих факторов – давления, веса вышележащей толщи, остаточных тектонических напря-

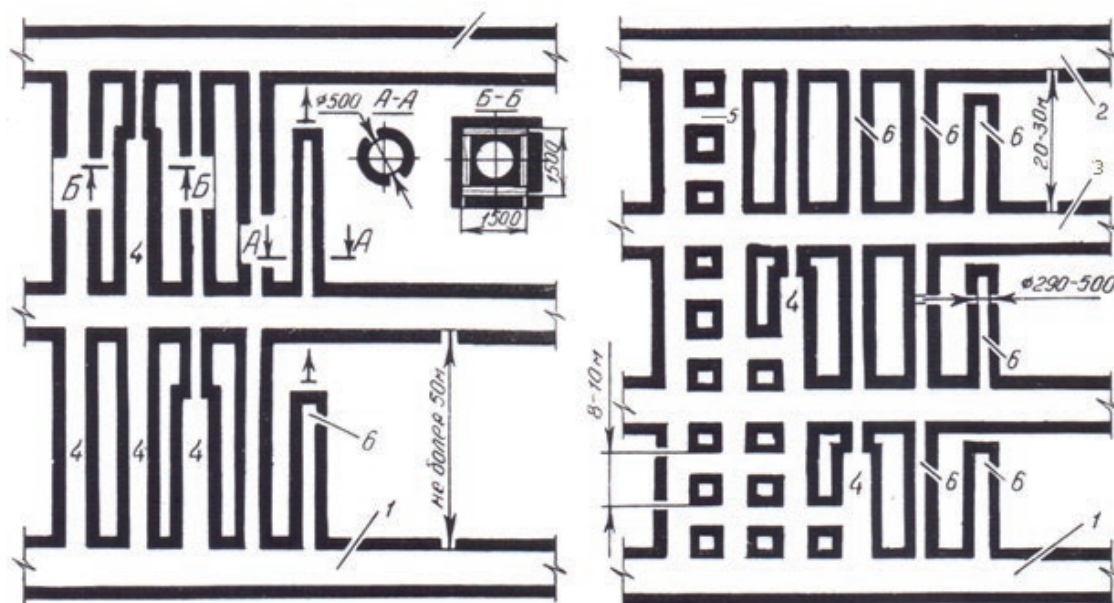


Рисунок 1. Схемы проведения восходящих выработок: а – комбинированным способом в устойчивых углях; б – комбинированным способом в неустойчивых углях; 1 – откаточный штрек; 2 – вентиляционный штрек; 3 – подэтажный штрек; 4 – печь; 5 – сбойка; 6 – передовая скважина ($\varnothing 290 \times 850$ мм); 7 – скважина $\varnothing 1300 \div 1500$ мм
 Figure 1. schemes for conducting rising workings: a-combined method in stable coals; b-combined method in unstable coals; 1-pumping drift; 2-ventilation drift; 3-sub-storey drift; 4-furnace; 5-failure; 6-advanced well ($\varnothing 290 \times 850$ mm); 7 – well $\varnothing 1300 \div 1500$ mm

жений, давления газов и т.д. А на распределение напряжений вокруг горной выработки влияет её форма и величина коэффициента бокового распора λ – отношение горизонтальной и вертикальной компонент напряжений нетронутого массива. При небольших значениях коэффициенты бокового распора в кровле и почве выработки возникают растягивающие напряжения и порода, имеющая небольшой предел прочности на разрыв в этом случае разрушается.

Проведение горной выработки создаёт перераспределение и концентрацию напряжений в породном массиве, создавая новое напряженное состояние и интенсивность напряжений в боках выработки становится намного больше, чем в ненарушенном массиве. Характер изменения состояния горной породы в зоне неупругих деформаций зависит от глубины заложения горной выработки, физико-механических и реологических свойств, сечения и формы горной выработки, сопротивления материала крепи и др. В зоне неупругих деформаций происходят различные деформационные процессы из-за которых происходят смещения контура горной выработки, а иногда и поломка разрушение крепи и поэтому величина нагрузки воспринимаемая крепью должна предопределяться характером совместной работы вида крепи и породного массива, окружающего горную выработку. Крепь должна выдерживать давление горных пород не разрушаясь и обеспечивать безопасное рабочее состояние горной выработки.

Деревянные крепи отвечали всем требованиям, но с увеличением глубины ведения горных работ прочность и устойчивость их оказалась недостаточной поскольку при прямоугольной форме поперечного сечения горной выработки элементы срубовой крепи работают в неблагоприятном режиме, испытывая форму продольно-поперечного изгиба.

Монолитные бетонные, пенобетонные, фосфогипсовые и другие крепи имеют высокую прочность, но у них повышенная жесткость и пониженная податливость, что ведёт к их разрушению в зоне ведения очистных работ.

Более всех удовлетворяют техническим требованиям секционные и спиральные крепи, но их недостаток – малая податливость.

Производственные требования:

- крепь не должна оказывать повышенного сопротивления движению воздушной струи по выработке (иметь наименьшее аэродинамическое сопротивление);
- должна быть огнестойкой, морозостойкой, стойкой против гниения и коррозии;
- занимать мало места в горной выработке с целью снижения затрат на выемку породы и крепление;
- быть удобной и нетрудоёмкой при транспортировании и возведении её в горной выработке;
- иметь возможность механизации возведения крепи и изготовления её элементов;
- обеспечивать лёгкую и удобную разборку

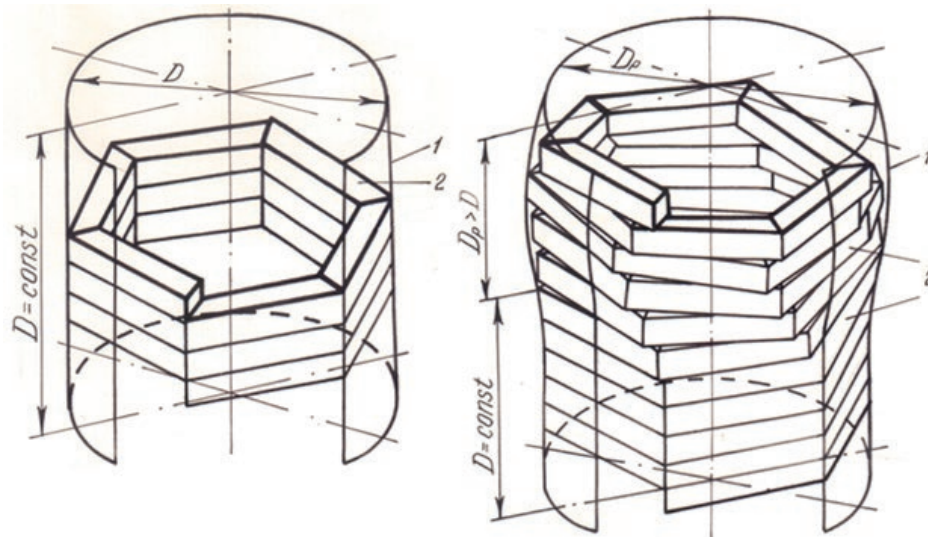


Рисунок 2. Конструкция многозвенной спиральной крепи: а – в выработке постоянного сечения; б – в выработке переменного сечения; 1 – поверхность выработки; 2 – элементы крепи; D – диаметр скважины проектного сечения; D_p – диаметр скважины увеличенного сечения

Figure 2. Design multi-tier spiral lining: a development of constant cross-section; b – in the development of variable cross section; 1 – surface generation; 2 – bolting elements; D – diameter borehole design cross section; D_p is the diameter of the enlarged bore section

на отдельные транспортные части при ремонте выработок и предусматривать возможность наиболее полного извлечения крепи из погашаемых выработок и дальнейшего повторного использования.

Деревянные крепи легко транспортировать, возводить и демонтировать, но они не всегда подходят для крепления скважин, за исключением шестизвенной конструкции.

Тюбинговые углепластовые, и особенно металлические крепи можно использовать неоднократно, но в слабых углях поперечное сечение скважин не имеет строго круглую форму и это приводит к необходимости применять забутовку. И наилучшие условия механизированного возведения крепей могут быть достигнуты при использовании спиральных крепей.

Экономические требования:

- крепь должна служить полный срок эксплуатации горной выработки;
- первоначальная стоимость крепи должна быть минимальной;
- расходы на поддержание и ремонт должны составлять небольшую долю первоначальной стоимости крепи и работ по её возведению.

Изучив существующие виды крепей для использования при разработке мощных крутопадающих угольных пластов и их достоинства и недостатки, было принято решение, что наилучшим вариантом должна быть крепь, имеющая форму спирали, состоящей из отдельных прямолинейных элементов и материалом может быть дерево и предназначены они могут быть для крепления вертикальных и наклонных вы-

боток круглой формы сечения.

Такая крепь должна быть выполнена в форме непрерывной винтовой спирали, состоящей из равновеликих прямолинейных элементов (рис.2). Удобство такого вида крепления состоит в том, что в горной выработке постоянного профиля сечения количество элементов в одном витке остаётся постоянным и стыки элементов крепи располагаются вдоль боковой поверхности выработки и если число элементов не кратно целому числу, то стыки сдвигаются по винтовой спирали вдоль выработки (Рис. 2 а).

Но не всегда профиль поперечного сечения восстающей горной выработки имеет строго определенную круглую форму по всей её длине, она может быть изогнутой и не постоянного сечения, поэтому в расширенной части количество элементов в витке крепи увеличивается и число их может быть необязательно целым (рис. 2 б).

Для конструирования узлов и элементов спиралевидной крепи необходимо было обратиться к экспериментальным методам определения напряженно-деформированного состояния или несущей способности рассматриваемой крепи. При взаимодействии с окружающим массивом горных пород в режиме заданной нагрузки были приняты: диаметр восстающей горной выработки (D); длина (l) и толщина (b) элементов крепи; коэффициенты линейной (E) поперечной (ν) деформации материала крепи; прочностные характеристики материала крепи на сжатие ($\sigma_{сж}$) и растяжение (σ_p); действующая нагрузка на крепь (P).

Начальные исследования проводились на

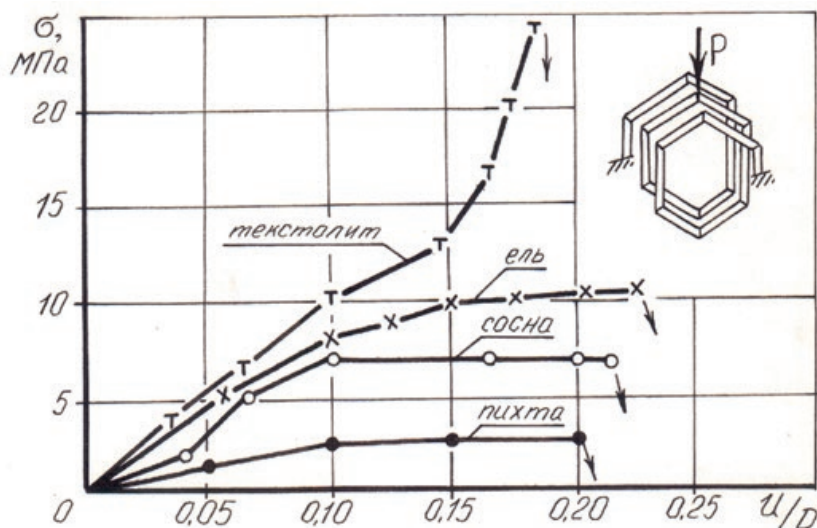


Рисунок 3. Зависимость деформаций витков крепи (U/D) и напряжений в них (σ) от неравномерности нагрузки
 Figure 3. Dependence of deformations of support turns (U/D) and stresses in them (σ) on load unevenness

моделях из натуральных материалов, восстающие выработки обычно имеют диаметр $D_p = 1300$ мм и из этих условий принимался и масштаб изготавливаемых моделей.

Исследования проводились на специальных установках и в задачи экспериментальных исследований входило:

- определение развиваемых напряжений в элементах крепи;
- определение характера деформаций элементов крепи и смещений в витках и отдельных узлах крепи;
- установление зависимости несущей способности крепи от вида материала крепи;
- определение оптимального количества элементов крепи в одном витке;
- установление характера смещений и перераспределение нагрузок на смежные витки при неравномерной нагрузке.

Модели изготавливались из различных материалов и исследовались возможные смещения элементов крепи (U) в стыках, в зависимости от количества элементов крепи в витке, от внутреннего угла (β) между элементами крепи и от действующих напряжений (σ) в элементах крепи.

Моделирование позволило в большей мере, чем в натуральных условиях изучить поведение конструктивных элементов крепи при влиянии различных факторов, вплоть до полного разрушения. Было установлено, что оптимальный внутренний угол стыка составляет $120 \div 135^\circ$ и соответствует $6 \div 8$ – звенной крепи выработки круглой формы.

Из рассмотренных пород дерева самые прочные результаты показала ель, затем сосна и пихта (рис. 3), причем пихту можно использовать

в тех случаях, когда требуется обеспечивать податливость крепи при незначительно растущих нагрузках.

Для сравнения, в качестве материала крепи, был взят текстолит, который можно отнести к жестким типам материалов крепей, у которых напряжения достигают максимума при деформациях в $2 \div 3$ раза меньших, чем у крепей из дерева. Прочность текстолита зависит от соотношения размеров поперечного сечения и гибкости элементов (λ). При соотношении сторон $1:1$; $1:2$ и $1:4$ гибкость элементов соответственно равна 21, 42, 78, поэтому конструкции стыков из текстолита с соотношением сторон сечения более $1:2$ теряют устойчивость при незначительных нагрузках ($0,12 \sigma_b$).

В натуральных условиях крепь испытывает неравномерную нагрузку из-за вывалов породы, высыпаний угля и тому подобное до того времени, пока восстающая выработка при её проведении остаётся незакрепленной и до ведения очистных работ не подвержена влиянию опорного давления. На этом этапе в массиве горных пород в окрестности незакрепленной выработки действуют определённые напряжения, а поскольку восстающая выработка имеет значительную длину (до 100 м и более), в её поперечном сечении проявляется плоское деформированное состояние и начальное напряженное состояние может быть выражено, как

$$q = \gamma H, \tag{1}$$

где H – глубина проведения горной выработки;
 γ – удельный вес горных пород.

А с учетом однородности начального поля напряжений уравнение равновесия можно выразить, как:

$$\frac{d\sigma_1}{dr} + \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{r} = 0, \tag{2}$$

где σ_1, σ_2 – радиальные и тангенциальные напряжения; r – расстояние от центра выработки.

При нахождении напряженного состояния учитывалось, что на некотором расстоянии от центра выработки R_1 породы переходят в запредельное состояние и напряжения остаются непрерывными при переходе из зоны допредельного в зону запредельного состояния.

Радиальное смещение контура незакрепленной восстающей выработки может быть выражено, как:

$$U_{np} = \varepsilon_0 \left[\frac{(R_1^2 - R^2)}{2} - \frac{(C + 1)}{(2q - \sigma_{сж})(\alpha - 1)} \cdot \left(\frac{(\alpha - 1) + \sigma_0}{\alpha + 1} \cdot (R_1^{\alpha+1} - R^{\alpha+1}) - \frac{1}{2} \sigma_0 (R_1^2 - R^2) \right) \right] \quad (3)$$

где ε_0 – начальная деформация горной породы; R – радиус поперечного сечения круглой горной выработки; R_1 – радиус зоны запредельного состояния пород в окрестности горной выработки; C – коэффициент, учитывающий внутреннее трение горной породы ($C = \frac{1 + \sin \rho}{1 - \sin \rho}$); ρ – коэффициент внутреннего трения породы; $\sigma_{сж}$ – предел прочности горной породы на сжатие; α – коэффициент пропорциональности; σ_0 – остаточная прочность породы.

Приведённая зависимость определяет равновесное состояние незакрепленной выработки и позволяет вычислить предварительное, до установки крепи, смещение контура горной выработки. После установки крепи и проведения очистных работ, в выемочном поле происходит нагружение элементов крепи до максимального значения, соответствующего максимуму опорного давления и на контуре горной выработки создаётся реактивное давление на породный массив.

Таким образом, учитывая условия непрерывности напряжений при переходе из запредельной зоны в допредельную зону результирующие зависимости будут следующие:

- для радиуса зоны запредельных деформаций:

$$R_1 = \left[\frac{(2(K-1)\gamma H - \sigma_0) \left(\frac{\alpha-1}{\alpha+1} \right) + \sigma_0}{(\alpha-1)\rho + \sigma_0} \right]^{\frac{1}{\alpha-1}}; \quad (4)$$

- для коэффициента пропорциональности напряжений в запредельной зоне:

$$\alpha = \frac{2(K-1)\gamma H C + \sigma_{сж} - \sigma_0(C+1)}{2(K-1)\gamma H - \sigma_{сж}}; \quad (5)$$

- для смещений контура закрепленной выработки:

$$U = \left[\frac{(R_1^2 - R^2)}{2} - \frac{C+1}{(2(\alpha-1)\gamma H - \sigma_{сж})(\alpha-1)} \cdot \left(\frac{(\alpha-1)\sigma_0}{\alpha+1} \cdot (R_1^{\alpha+1} - R^{\alpha+1}) - \frac{1}{2} \sigma_0 (R_1^2 - R^2) \right) \right]. \quad (6)$$

Данное уравнение определяет равновесное состояние закрепленной горной выработки и позволяет находить нагрузку на крепь и смещения контура горной выработки.

На основе проведённых теоретических и лабораторно-полигонных исследований в натурных условиях была разработана многозвенная спиральная крепь, представляющая собой непрерывную винтовую спираль, состоящую из прямолинейных элементов уложенных по контуру выработки.

Возведение такой крепи, в зависимости от местных горногеологических и горно-технических условий может осуществляться тремя способами.

Первый способ возведения крепи применяется в крепких, устойчивых углях в направлении снизу вверх при помощи передвижного механизированного полка после проведения выработки на проектную длину и поперечное сечение. Горная выработка проводится с помощью буросблочной машины бурением передовой скважины диаметром 290÷850 мм с последующим её расширением до диаметра 1300÷1500 мм.

Верхнее и нижнее устье выработки (рис.4) перекрывается предохранительными полками 2 и 9, и в нижнем устье устанавливается и закрепляется посредством анкерной крепи 3 опорный венец 4.

В выработке монтируется передвижной механизированный полк 6, на платформу которого в скипе 1 доставляются элементы крепи 5 с помощью лебёдки 10, которая служит и для перемещения платформы полка. В неподвижном состоянии платформа автоматически удерживается на ступеньках канатного трапа 7.

Затем производится укладка элементов крепи по спирали и после возведения крепи на один виток спирали с торца последнего в витке элемента, для обеспечения начального подпора крепи на породный массив и восприятия крепью нагрузки, прикладывается внешняя сила при помощи домкрата 11. Для повышения устойчивости элементов деревянной крепи смежные витки сшиваются между собой металлическими костылями, либо скобами 12.

Второй способ возведения спиральной крепи применяется в слабых, неустойчивых углях. Сначала пробуривается скважина уменьшенного диаметра, а затем в направлении сверху вниз производится её расширение до проектного сечения выработки. В целях безопасности, нижнее устье горной выработки перекрывается предохранительной решеткой и в выработке монтируется передвижной механи-

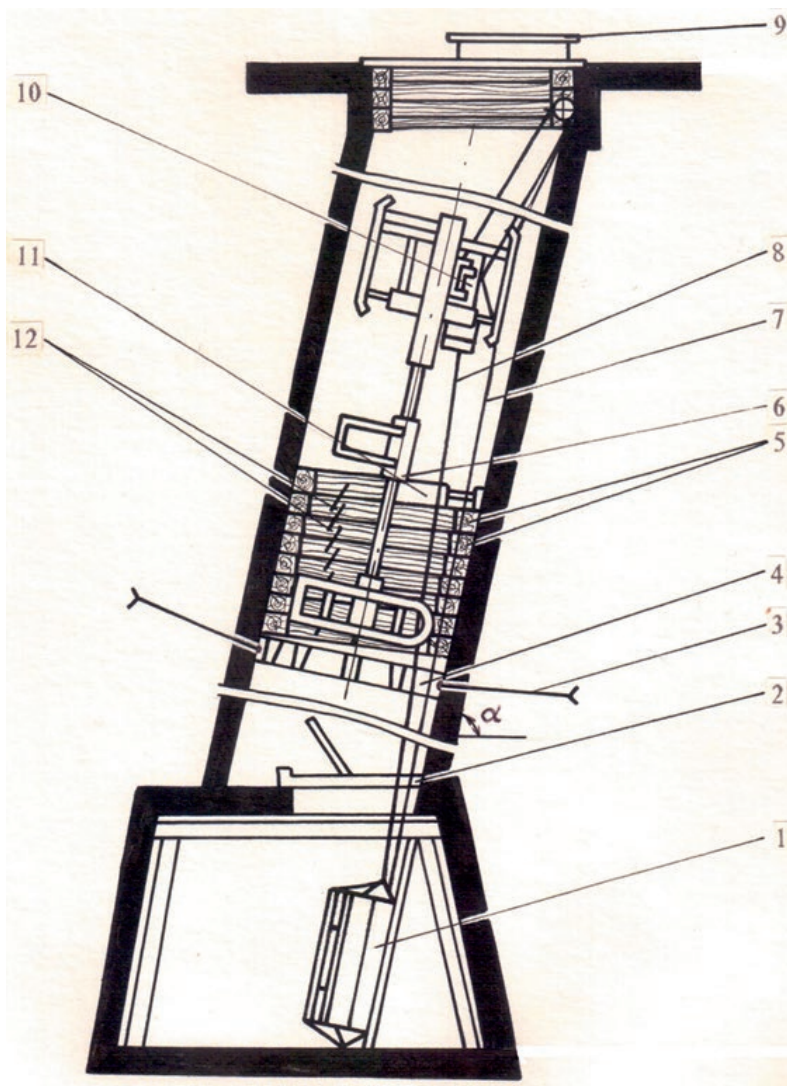


Рисунок 4. Возведение спиральной крепи снизу вверх с помощью механизированного полка: 1 – скип; 2 – предохранительный полок; 3 – анкер; 4 – опорный венец; 5 – элементы крепи; 6 – рабочая платформа; 7 – канатный трап; 8 – канат; 9 – предохранительный полок; 10 – лебёдка; 11 – домкрат; 12 – скоба.

Figure 4. construction of a spiral support from the bottom up using a mechanized shelf: 1-skip; 2-safety shelves; 3-anchor; 4-support crown; 5-support elements; 6-working platform; 7-rope ladder; 8-rope; 9-safety shelves; 10-winch; 11-Jack; 12-bracket.

зированный полк. Спиральная крепь устанавливается одновременно на двух участках длиной по 6÷8 метров и при этом в нижней части каждого участка предварительно устанавливается опорный венец, закрепляемый на стенках выработки анкерной крепью и укладка элементов крепи в каждом участке производится в направлении снизу вверх. Передвижение рабочих в выработке производится по специальному канатному трапу. После завершения работ по креплению участка выработки убирается предохранительная решетка в нижнем устье выработки и работы повторяются.

Третий способ возведения спиральной крепи производится в направлении снизу вверх после проведения горной выработки на проектную длину и поперечное сечение. Верхнее и нижнее устье горной выработки перекрывается

предохранительными полками. В верхнем устье устанавливается несколько витков спиральной крепи, а в полке имеется отверстие, перекрытое лядой, и через него пропущен канат с вентиляционного штрека с помощью которого вручную доставляются элементы спиральной крепи.

Возведение спиральной крепи начинается с нижней части устья горной выработки и для этого сначала устанавливается опорный венец, который закрепляется анкерами, а далее производится укладка элементов крепи по спирали. Для предотвращения падения каких-либо предметов в рабочую зону, на 2÷3 метра выше рабочего места вывешивается специальный зонтик, закрепляемый канатиком за стойку на вентиляционном штреке.

Работы по возведению крепи выполняются с предохранительного полка из толстых досок

площадь не менее 1/3 площади поперечного сечения выработки и устанавливается через один метр высоты.

В результате проведенных исследований были разработаны безопасные способы и паспорта крепления восстающих горных выработок постоянного и переменного сечения многозвен-

ной спиральной крепью в крепких устойчивых и слабых неустойчивых углях при помощи передвижных механизированных полков. Промышленное применение многозвенной спиральной крепи позволило сократить расход материала в 2,6 раза и повысить производительность труда в 1,5÷2 раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карасев В.А. Новый вариант крепления выработок круглого сечения /В.А. Карасев, Е.В. Игнатов // Перспективы развития горнодобывающей промышленности. IVМеждународная научно-практическая конференция. – Новокузнецк, СибГГМА, 1997. – С. 139-140.
2. Пат. 2399765 РФ МПК E 21 5/00, E 21 F 15/00 (2006.01). Способ крепления горных выработок / заявители Гоголин В.А., Карасев А.В., Масаев Ю.А., Карасев В.А., Масаев В.Ю.; патентообладатель Кузбасский государственный технический университет № 2009128938/03; заявл. 27.07.2009; опубл. 20.09.2010, Бюл. № 26.
3. Карасев В.А. Новые возможности повышения производительности труда при креплении восстающих горных выработок / В.А. Карасев, В.А. Гоголин, Е.В. Игнатов. Новые возможности повышения производительности труда при креплении восстающих горных выработок // Совершенствование технологических процессов при разработке месторождений полезных ископаемых. – Кемерово, научно-технологический центр Кузбассуглетехнология, 1997. – С. 69-74.
4. Пат. 134588 РФ, МПК E 21 D 11/00 (2006.01). Комбинированная крепь для горных выработок заявители Масаев Ю.А., Карасев В.А., Храмцов В.И.; патентообладатель Кузбасский государственный Технический университет, № 2013129386/03; заявл. 2006.2013; опубл. 20.11.2013, Бюл. № 32.
5. Пат. 137333 РФ, МПК E 21 D 5/00, E 21 D 11/00 (2006.01). Соединительный элемент сегментов спиралевидной крепи / заявители Карасев В.А., Масаев Ю.А.; патентообладатель Кузбасский государственный Технический университет, № 2013129390/03; заявл.26.06.2013; опубл. 10.02.2014, Бюл. № 4.
6. Патент 134589 РФ, МПК E 21 D 11/00, G 01 B3/00 (2006.01). Калибратор межвиткового шага спиралевидной крепи / заявители Масаев Ю.А., Карасев В.А.; патентообладатель Кузбасский государственный Технический университет, № 2013129388/03; заявл. 26.06.2013; опубл. 20.11.2013, Бюл. № 32.

REFERENCES

1. Karasev, V. A. & Ignatov, E. V. (1997). Novyj variant krepleniya vyrobotok kruglogo secheniya [New version of fastening of workings of circular cross-section]. *Perspektivy razvitiya gornodobyvayushchej promyshlennosti. IV Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya, Novokuzneck, SibGGMA*, 139-140. [In Russian].
2. Kuzbasskij gosudarstvennyj Tekhnicheskij universitet, Gogolin, V. A., Karasev, A. V., Masaev, Y. A., Karasev, V. A., & Masaev, V. Y. (2010). *Sposob krepleniya gornyh vyrobotok [Method of fixing mine workings] (2399765 RF MPK E 21 5/00, E 21 F 15/00 (2006.01))*. Byul. № 26. [In Russian].
3. Karasev V. A., Gogolin, V. A., & Ignatov, E. V. (1997). *Novye vozmozhnosti povysheniya proizvoditel'nosti truda pri kreplenii vosstayushchih gornyh vyrobotok [New Opportunities for Increasing Labor Productivity when Supporting Raising Mine Workings]. Sovershenstvovanie tekhnologicheskikh processov pri razrabotke mestorozhdenij poleznyh iskopaemyh-Improvement of technological processes in the development of mineral deposits*, 69-74. [In Russian].
4. Kuzbasskij gosudarstvennyj Tekhnicheskij universitet, Masaev, Y. A., Karasev, V. A., & Hramcov, V. I. (2013). *Kombinirovannaya krep' dlya gornyh vyrobotok [Combined roof support for mine workings] (134588 RF, MPK E 21 D 11/00 (2006.01))*. Byul. № 32. [In Russian].
5. Kuzbasskij gosudarstvennyj Tekhnicheskij universitet, Karasev, V. A., & Masaev, Y. A. (2014). *Soedinitel'nyj element segmentov spiralevidnoj krep'i [Connecting element for spiral lining segments] (137333 RF, MPK E 21 D 5/00, E 21 D 11/00 (2006.01))*. Byul. № 4. [In Russian].
6. Kuzbasskij gosudarstvennyj Tekhnicheskij universitet, Masaev, Y. A & Karasev, V. A. (2013). *Kalibrator mezhvitkovogo shaga spiralevidnoj krep'i [Calibrator of the turn-to-turn pitch of spiral lining] (134589 RF, MPK E 21 D 11/00, G 01 B3/00 (2006.01))*. Byul. № 32. [In Russian].

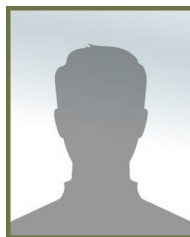
II. ПОЖАРНАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

II. FIRE AND INDUSTRIAL SAFETY



В.А. Портола // V.A. Portola
portola2@yandex.ru

доктор техн. наук, профессор КузГТУ,
650000, г. Кемерово, ул. Весенняя 28
doctor of tech. sciences, professor,
Kuzbass state technical University,
650000, Kemerovo, st. Vesenya 28



С.И. Протасов // S.I. Protasov
protasov@kuzbass-niogr.ru

канд. техн. наук, профессор КузГТУ,
650000, г. Кемерово, ул. Весенняя 28
candidate of technical sciences, professor
of Kuzbass state technical University,
650000, Kemerovo, st. Vesenya 28



А.А. Бобровникова // A.A. Bobrovnikova
baa.htnv@kuzstu.ru

канд. хим. наук, доцент КузГТУ, 650000,
г. Кемерово, ул. Весенняя 28 candidate
of chemical sciences, associate professor
of Kuzbass state technical University,
650000, Kemerovo, st. Vesenya 28



Е.А. Серегин // E.A. Seregin
eugene_s1976@mail.ru

аспирант КузГТУ, 650000, г. Кемерово,
ул. Весенняя 28
graduate student of Kuzbass state
technical University, 650000, Kemerovo,
st. Vesenya 28

УДК 622.861

ОЦЕНКА ДЛИТЕЛЬНОСТИ ИНКУБАЦИОННОГО ПЕРИОДА САМОВОЗГОРАНИЯ УГЛЕСОДЕРЖАЩИХ ПОРОД ОТВАЛОВ

DUMP COAL-BEARING ROCK SPONTANEOUS COMBUSTION INCUBATION PERIOD DU-RATION ESTIMATION

Произведены результаты оценки константы скорости сорбции кислорода и длительности инкубационного периода самовозгорания углесодержащих пород отвалов, а также тепловизионной съемки горящего породного отвала. Добыча угля открытым способом сопровождается потерей части угля, поступающего в породные отвалы. Из-за перемешивания со вскрышными породами доля угля в отвале может изменяться от 0 до 1,0. Проведенные расчеты показали, что содержание угля в массе отвала существенно скажется на склонности к самовозгоранию и длительности инкубационного периода самовозгорания углесодержащих пород. Проведенные расчеты показали, что длительность инкубационного периода исследованного угольного пласта меняется от 84 до 248 суток в зависимости от содержания угля в породной массе. Выпадение осадков приводит к увеличению влажности углесодержащих пород, что замедляет процесс самовозгорания и приводит к увеличению длительности инкубационного периода самовозгорания. Отработка нескольких пластов угля, обладающих различными физико-химическими свойствами, также способствует изменению склонности к самовозгоранию углесодержащих пород отвала. Учитывая широкое изменение свойств углей в породных отвалах, а также изменение их содержания в породном отвале, следует ожидать появления множества очагов самовозгорания. Проведенные замеры показали, что на отвале действительно формируется множество очагов эндогенных пожаров. Для обнаружения таких очагов необходимо использовать тепловизоры.

The results of evaluating the rate constant of oxygen sorption and the duration of the dump coal-bearing rock spontaneous combustion incubation period, as well as thermal imaging shooting of a burning waste dump are presented. Open-pit coal mining is accompanied by the loss of part of the coal going to the rock dumps. Due to mixing with over-burden, the proportion of coal in the output can vary from 0 to 1.0. Calculations have shown that the coal content in the dump mass will significantly affect the propensity to spontaneous combustion and the duration of coal-containing rock spontaneous combustion incubation period. Calculations have shown that the duration of the studied coal seam incubation period varies from 84 to 248 days depending on the content of coal in the rock mass. Precipitation leads to an increase in the humidity of coal-bearing rocks, which slows down the process of spontaneous combustion and also leads to an increase in the duration of spontaneous combustion incubation period. The development of several coal seams with different physical and chemical

properties also contributes to a change in the propensity to spontaneous combustion of coal-containing dump rocks. Taking into account the wide change in the properties of coals in rock dumps, as well as changes in their content in the rock dump, we should expect the appearance of many foci of self-ignition. Measurements have shown that a lot of endogenous fires are actually forming on the dump. To detect such foci, it is necessary to use thermal imagers.

Ключевые слова: ПОРОДНЫЙ ОТВАЛ, ИНКУБАЦИОННЫЙ ПЕРИОД САМОВОЗГОРАНИЯ, ЭНДОГЕННЫЙ ПОЖАР, УГЛЕСОДЕРЖАЩИЕ ПОРОДЫ, ПРОЦЕСС САМОВОЗГОРАНИЯ, ДОБЫЧА УГЛЯ ОТКРЫТЫМИ ГОРНЫМИ РАБОТАМИ

Keywords: WASTE DUMP, SPONTANEOUS COMBUSTION INCUBATION PERIOD, ENDOGENOUS FIRE, COAL-BEARING ROCKS, SPONTANEOUS COMBUSTION PROCESS, OPEN PIT COAL MINING

Способность угля взаимодействовать с кислородом приводит к выделению тепла и может привести к развитию очагов самовозгорания [1,2]. Необходимым условием возникновения процесса самовозгорания является постоянный приток кислорода к активным центрам угля. Поэтому наиболее часто очаги самовозгорания появляются в скоплениях раздробленного угля. Пористая структура таких образований способствует поступлению кислорода. Для повышения температуры угля достаточно переноса кислорода по порам вглубь скопления за счет молекулярной диффузии [3]. Особенно опасны эндогенные пожары в шахтах, где образующиеся в очаге токсичные газы начинают распространяться по горным выработкам, в которых могут находиться шахтеры [2]. Выделение метана из угля [4,5] может существенно осложнить ситуацию в шахте, а очаги самовозгорания могут привести к воспламенению и взрывам газозадушенных смесей.

На земной поверхности очаги эндогенных пожаров возникают в штабелях складированного угля, а также в отработываемых открытым способом угольных пластах. Учитывая важность проблемы эндогенных пожаров, влияние различных факторов на процесс самовозгорания рассматривается в ряде работ [6-9]. Особенно активно процесс самовозгорания развивается в скоплениях угольной пыли, активно поглощающей кислород [10]. Очаги самовозгорания возникают и в породных отвалах, содержащих горючие элементы. Особенности развития эндогенных пожаров в породных отвалах рассмотрены в [11,12]. Влияние породных отвалов на окружающую среду приведено в [13].

Породные отвалы угледобывающих предприятий содержат как негорючие минеральные породы, так и уголь, добыча которого нерентабельна из-за высокой зольности или особенностей технологического процесса. Уголь и вмещающие негорючие породы перемешиваются при погрузке, транспортировке и выгрузке на отвал, а также последующего формирования отвала

бульдозерами. Концентрация угля в породном отвале будет неравномерна как по поверхности, так и в объеме пород, что может вызывать особенности возникновения очагов самовозгорания. Так, концентрация угля в породе может влиять на длительность развития процесса самовозгорания (длительность инкубационного периода самовозгорания), что приведет к появлению множества очагов на поверхности отвала.

Одним из основных параметров, определяющих возможность развития процесса самовозгорания и длительность инкубационного периода самовозгорания угля, является константа скорости сорбции кислорода углем (сорбционная активность угля). Этот параметр показывает, какой объем кислорода (мл) поглотила единица массы угля (г) в единицу времени (час). С увеличением этого параметра возрастает выделение тепла в угле при поступлении кислорода, поэтому быстрее произойдет его самовозгорание.

Во взаимодействии с кислородом в породном отвале участвуют углесодержащие породы, которые при разработке угольных пластов попадают в отвал, где могут перемешиваться с вскрышными породами. Согласно правилу аддитивности сорбционная активность смеси породы и угля по отношению к кислороду будет пропорциональна содержанию в ней угля. В этом случае константу скорости сорбции кислорода смеси угля и породы можно определить по формуле

$$U = U_1 x + U_2 (1-x) \quad (1)$$

где U_1 – константа скорости сорбции кислорода углем, мл/(г·ч); U_2 – константа скорости сорбции кислорода породой, мл/(г·ч); x – доля угля в скоплении породы отвала, доли ед.

Константу скорости сорбции кислорода определяют в лабораторных условиях, помещая пробу угля в герметично закрытый сосуд [14]. После выдержки (обычно 24 часа) в сосуде определяют убыль кислорода в воздухе, окружающем пробу угля, и рассчитывают активность угля. Вычисление константы скорости сорбции кислорода углем производят по формуле:

Таблица 1 – Изменение константы скорости сорбции кислорода и длительности инкубационного периода самовозгорания в зависимости от доли угля в породе
 Table 1 - Change in the rate constant of oxygen sorption and the duration of the spontaneous combustion incubation period, depending on the proportion of coal in the rock

X, доли ед.	1	0,8	0,6	0,4	0,2	0,1
U, см³/(г·ч)	0,0300	0,0240	0,0180	0,0120	0,0060	0,0030
T _{инк} , сутки	84	93	106	128	169	248

$$U = -\frac{V}{M\tau} \ln \frac{C_A(1-C_0)}{C_0(1-C_A)}, \quad (2)$$

где V – объем воздуха, находящийся в соприкосновении с углем, см³; M – масса пробы угля, г; τ – время контакта воздуха с углем, ч. C₀ – начальная концентрация кислорода в сосуде, доли ед.; C_τ – концентрация кислорода через время τ, доли ед.

Длительность инкубационного периода самовозгорания угля (в сутках), согласно «Инструкции по определению инкубационного периода самовозгорания угля», определяется по формуле [15]

$$\tau_{инк} = \frac{C(T_k - T_0) + 0.6jW + q_d X}{24\alpha U^{0,45} C_0 q_o}, \quad (3)$$

где C – теплоемкость угля, кал/(г·К); T_k – критическая температура самовозгорания угля, °C; T₀ – начальная температура угля, °C; j – теплота испарения воды, кал/г; W – начальная влажность угля, доли ед.; q_d – удельная теплота десорбции метана, кал/мл; X – природная газоносность угля, мл/г; U – константа скорости сорбции кислорода углем, мл/(г·ч); C₀ – концентрация кислорода на входе в угольное скопление, доли ед.; q_o – удельная теплота сорбции кислорода воздуха углем, кал/мл.

Для оценки сорбционной активности углесодержащей породы был использован уголь пласта IV Внутренний. Проведенными лабораторными исследованиями установлено, что среднее значение константы скорости сорбции кислорода углем этого пласта равно 0,0303 см³/(г·ч). При влажности угля пласта равной 1,0 % длительность инкубационного периода самовозгорания угля составляет 48 суток. При попадании в отвал доля угля в образующихся скоплениях может изменяться от 1,0 до 0, что снижает константу скорости сорбции скопления и увеличивает длительность инкубационного периода самовозгорания скопления. В табл. 1 приведены значения константы скорости сорбции кислорода пробами породного отвала и длительности инкубационного периода самовозгорания скопления влажностью 5% в зависимости от доли

угля в углесодержащей породе.

Из приведенных данных видно, что длительность инкубационного периода самовозгорания углесодержащих пород отвала может меняться в широких пределах и существенно возрастает со снижением содержания в них доли угля. Причем самовозгораться могут и породы с очень низким содержанием угля порядка 10 – 20%.

Породный отвал может регулярно подвергаться атмосферным осадкам, что приведет к изменению влажности углесодержащих пород в широких пределах в течение года. Поэтому необходимо оценить длительность инкубационного периода самовозгорания угля пород различной влажности. В расчетах использованы скопления пород влажностью 5, 10 и 20%, а результаты влияния влажности и доли угля на длительность инкубационного периода самовозгорания приведены на рис. 1.

Анализируя полученные результаты (см. рис. 1), можно сделать вывод, что увеличение влажности значительно замедляет развитие процесса самовозгорания. Длительность инкубационного периода самовозгорания достигает

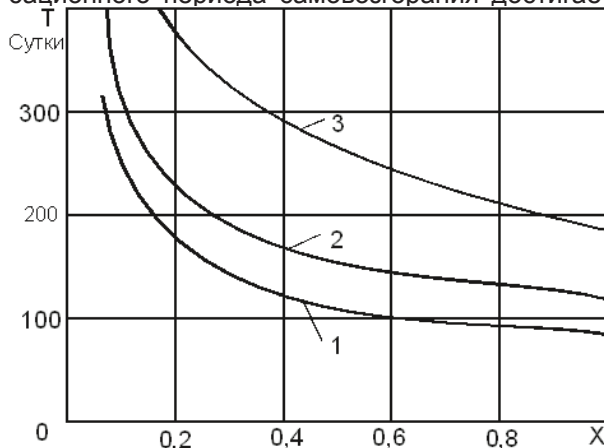


Рисунок 1. Изменение длительности инкубационного периода самовозгорания от доли угля в породе и ее влажности: 1 – влажность породы 5%; 2 – влажность 10%; 3 – влажность 20%
 Figure: 1. Changing of the spontaneous combustion incubation period duration depending on the proportion of coal in the rock and its moisture content: 1 - rock moisture 5%; 2 - moisture 10%; 3 - moisture 20%

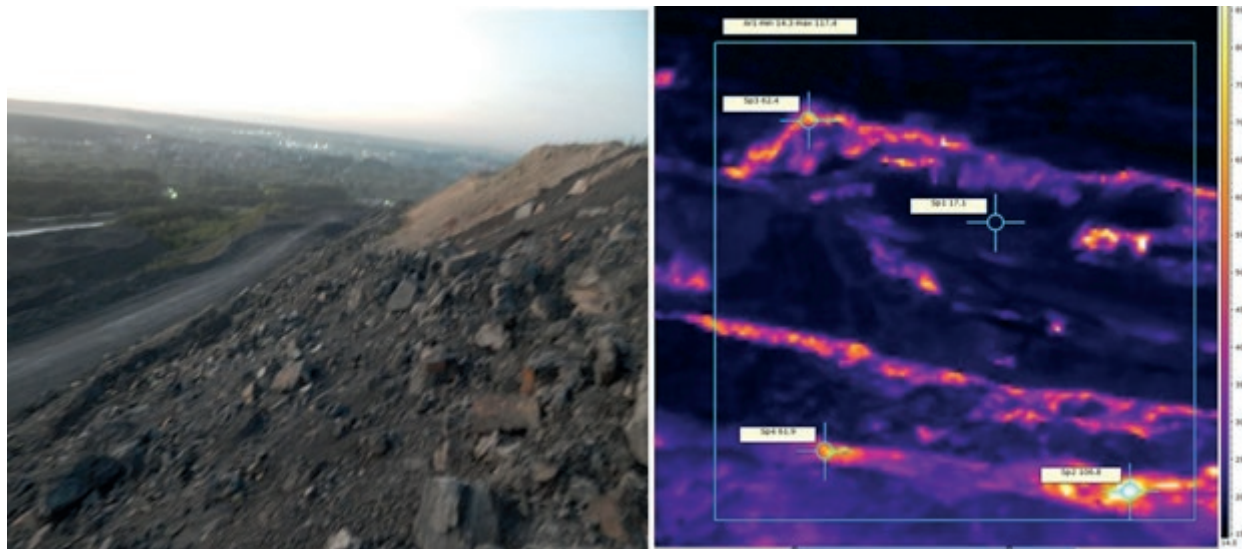


Рисунок 2. Фото и термограмма поверхности откоса породного отвала с очагами самовозгорания

Figure 2. Photo and thermogram of the rock dump slope surface with spontaneous combustion foci

нескольких сотен суток. Практика показывает, что сорбционная активность угля по отношению к кислороду воздуха сохраняется в отвалах десятки лет, поэтому очаги самовозгорания могут появляться в течение существования породного отвала при условии притока кислорода внутрь углесодержащих пород. Учитывая неравномерность содержания угля в породе по площади отвала, очаги самовозгорания могут возникать в различных местах породного отвала и в различные периоды существования отвала.

Расчеты проведены для одного пласта, обрабатываемого разрезом. На практике разрезы могут обрабатывать несколько пластов, имеющих различную сорбционную активность по отношению к кислороду. Поэтому для остальных угольных пластов, попадающих в отвал, длительность инкубационного периода самовозгорания может существенно отличаться. Учитывая различные свойства углей, находящихся в породном отвале, а также изменение концентрации угля в породной массе можно ожидать появления множества очагов самовозгорания. Причем эти очаги могут иметь различную температуру и стадии развития из-за изменения длительности инкубационного периода самовозгорания в широком диапазоне.

Проведенные исследования породных отвалов подтвердили возможность формирования множества очагов самовозгорания на поверхности углесодержащей массы. Визуально эти отдельные очаги трудно обнаружить, так как обычно на ранней стадии развития процесса самовозгорания прогретые зоны не излучают видимый свет. При использовании контактных термометров определение температуры поро-

ды, согласно требованиям [16], полагается проводить по сетке с расстоянием между точками замера около 20 м, что, как показал опыт исследований авторов, не позволяет фиксировать отдельные очаги меньших размеров. Для детальной фиксации очагов самовозгорания породных отвалов авторами предложено использовать тепловизоры (причем в последнее годы устанавливаемые на квадрокоптерах), позволяющие сканировать всю поверхность породного отвала, и выявлять участки с разными значениями температуры пород. Наличие множества очагов самовозгорания, имеющих различную температуру, показано на рис. 2, где представлена поверхность откоса породного отвала в видимом и инфракрасном диапазоне. Из приведенных результатов тепловизионной съемки видно, что разогретые породы могут располагаться как отдельными очагами, так и в виде полос. Видимо, породы, содержащие большое количество угля, размещали в отвал слоями с размещением между ними инертных пород. Но даже в слоях с горючим компонентом содержание угля неравномерно, что приводит к появлению зон с более высокой температурой.

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Различное содержание угля и углесодержащих пород в отвальной массе способствует широкому диапазону изменения длительности инкубационного периода самовозгорания и возможности появления новых очагов самовозгорания за время существования породного отвала.

2. Увеличение влажности углесодержащих пород существенно замедляет развитие процес-

са самовозгорания из-за потерь тепла на нагрев и испарение влаги. Поэтому периодическое увлажнение пород является профилактической мерой, позволяющей предотвратить развитие эндогенных пожаров.

3. Развитие процесса самовозгорания возможно даже в породе, содержащей только 10–20 % угля. С уменьшением влажности породы снижается и доля угля в породе, необходимая для

развития процесса самовозгорания.

4. Использование тепловизоров позволяет выявлять даже небольшие по размеру очаги самовозгорания на отвалах.

5. Прогретые породы в отвалах могут располагаться в виде отдельных очагов разного диаметра, а также в виде полос. Форма прогретой зоны определяется концентрацией углеродсодержащих пород в отвале.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скочинский, А.А. Рудничные пожары / А.А. Скочинский, В.М. Огиевский. – М.: Изд. «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2011. – 375 с.
2. Ушаков, К.З. Безопасность ведения горных работ и горноспасательное дело. Учебное пособие / К.З. Ушаков, Н.О. Каледина, Б.Ф. Киринов и др. – М.: Изд. Московского государственного горного университета, 2002. – 487 с.
3. Ютяев, Е.П. Развитие процесса самонагревания в скоплениях угля под действием молекулярной диффузии кислорода / Е. П. Ютяев, В. А. Портола, А. А. Мешков, И. Л. Харитонов, А. Н. Жданов // Уголь. – 2018. – № 10 (1111). – С. 42–46.
4. Шинкевич, М.В. Газовыделение из обрабатываемого пласта с учётом геомеханических процессов во вмещающем массиве // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – Отд. вып. № 6. – С. 278–285.
5. Козырева, Е.Н. Некоторые особенности управления метанообильностью высокопроизводительного выемочного участка / Е.Н. Козырева, М.В. Шинкевич, Н.Ю. Назаров // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011. – № 9. – С. 322–325.
6. Игишев, В.Г. Борьба с самовозгоранием угля в шахтах. – М.: Недра, 1987. – 176 с.
7. Lin Q. Analytical prediction of coal spontaneous combustion tendency: velocity range with possibility of self-ignition / Q. Lin, S. Wang, S. Song, Y. Liang, T. Ren // Fuel Processing Technology. – 2017. – 159. – P. 38–47.
8. Tarafadar M.N. Application of Wet Oxidation Processes for the Assessment of the Spontaneous Heating of Coal / M. N. Tarafadar, D. Guha // Fuel. – 68 (1989). – P. 315.
9. Nimaje D.S., Tripathy D.P. Thermal Studies on Spontaneous Heating of Coal / D.S. Nimaje, D. P. Tripathy // The Indian Mining & Engineering Journal. – 2010. – P. 10.
10. Портола, В.А. Опасность самовозгорания угольной пыли // Безопасность труда в промышленности. – 2015. – № 6. – С. 36–39.
11. Качурин, Н.М. Процессы теплообмена на породных отвалах шахт Кузбасса / Н.М. Качурин, С.А. Воробьев, Л.Л. Рыбак, Р.П. Сидоров // Известия Тульского государственного университета «Науки о Земле». – 2015. – № 2. – С. 48–56.
12. Портола, В.А. Оценка параметров очагов самовозгорания породных отвалов угольных карьеров и способов их тушения / В. А. Портола, Д. Е. Скударнов, С. И. Протасов, С. Н. Подображин // Безопасность труда в промышленности. – 2017. – № 11. – С. 42–47.
13. Левкин, Н.Д. Влияние породных отвалов угольных шахт на состояние окружающей среды / Н.Д. Левкин, Н.Е. Мухина // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2011. – № 5. – С. 277–279.
14. Веселовский, В.С. Самовозгорания промышленных материалов / В.С. Веселовский, Н.Д. Алексеева, Л.Н. Виноградова, Г.Л. Орлеанская, Е.А. Терпигосова. – М.: Наука, 1964. – 246 с.
15. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по определению инкубационного периода самовозгорания угля». Серия 05. Выпуск 38. – М.: ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2013. – 24 с.
16. Инструкция по предупреждению самовозгорания, тушению и разборке породных отвалов (приказ Ростехнадзора от 23.12.2011 № 738; зарегистрирован в Минюсте РФ 13.04.2012, рег. No 23828). Серия 05. Выпуск 27. – М.: ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2013. – 22 с.

REFERENCES

1. Skochinsky, A.A., & Ogievsky, V.M. (2011). Rudnichnyye pozhary [Mine fires]. Moscow: Gornoie delo [in Russian].
2. Ushakov, K.Z., Kaledina, N.O., Kirin, B.F. et al. (2002). Bezopasnost' vedeniya gornyx rabot i gornospasatel'noye delo. Uchebnoye posobiye [Mining safety and mine rescue. Tutorial]. Moscow: Moskovskiy gosudarstvennyy gornyy universitet [in Russian].
3. Yutiaev, Ye.P., Portola, V.A., Meshkov, A.A., Kharitonov, I.L. & Zhdanov, A.N. (2018). Razvitiye protsessa samonagrevaniya v skopleniyakh uglja pod deystviyem molekulyarnoy diffuzii kisloroda [Development of the self-heating process in coal accumulations under the influence of molecular oxygen diffusion]. Ugol – Coal, 10, 42–46 [in Russian].
4. Shinkevich, M.V. (2013). Gazovydeleniye iz otrabatyvayemogo plasta s uchotom geomekhanicheskikh protsessov vo vmeshchayushchem massive [Gas emission from the seam under extraction taking into account geomechanical processes in the enclosing massif]. Gornyy informatsionno-analiticheskii biulleten – Mining Informational Analytical Bulletin, 6, 278–285 [in Russian].
5. Kozyreva, Ye.N., Shinkevich, M.V., & Nazarov, N.Yu. (2011). Nekotoryye osobennosti upravleniya metanoobil'nost'yu vysokoproizvoditel'nogo vyemoch'nogo uchastka [Some features of methane inflow management at a high-performance extraction section]. Gornyy informatsionno-analiticheskii biulleten – Mining Informational Analytical Bulletin, 9, 322–325 [in Russian].
6. Igishev, V.G. (1987). Bor'ba s samovozgoraniyem uglja v shakhtakh [Fight against spontaneous combustion of coal

- in mines]. Moscow: Nedra [in Russian].
7. Lin Q. Analytical prediction of coal spontaneous combustion tendency: velocity range with possibility of self-ignition /Q.Lin, S.Wang, S.Song, Y.Liang, T.Ren // Fuel Processing Technology. –2017. – 159. – P. 38-47.
 8. Tarafadar M.N. Application of Wet Oxidation Processes for the Assessment of the Spontaneous Heating of Coal/ M. N. Tarafadar, D. Guha // Fuel. – 68 (1989). –P. 315.
 9. Nimaje D.S., Tripathy D.P. Thermal Studies on Spontaneous Heating of Coal / D.S.Nimaje, D. P. Tripathy//The Indian Mining & Engineering Journal.–2010. –P. 10 [in English].
 10. Portola, V.A. (2015). Opasnost' samovozgoraniya ugol'noy pyli [Coal dust spontaneous combustion danger]. Bezopasnost truda v promyshlennosti – Industrial Labor Safety, 6, 36-39 [in Russian].
 11. Kachurin, N.M., Vorobiev, S.A., Rybak, L.L., & Sidorov, R.P. (2015). Protsessy teplomassoobmena na porodnykh otvalakh shakht Kuzbassa [Heat and mass transfer processes at rock dumps of Kuzbass mines]. Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo univer-siteta «Nauki o Zemle» - Bulletin of the Tula State University "Earth Sciences", 2, 48-56 [in Russian].
 12. Portola, V.A., Skudarnov, D.Ye., Protasov, S.I., & Podobrazhin, S.N. (2017). Otsenka parametrov ochagov samovozgoraniya porodnykh otvalov ugol'nykh kar'yerov i sposobov ikh tusheniya [Coal open pit mine rock dump spontaneous combustion foci parameters estimation and methods of their extinguishing]. Bezopasnost truda v promyshlennosti – Industrial Labor Safety, 11, 42-47 [in Russian].
 13. Levkin, N.D., & Mukhina, N.Ye. (2011). Vliyaniye porodnykh otvalov ugol'nykh shakht na sostoyaniye okruzhayushchey sredy [Impact of coal mine waste dumps on the environment]. Aktual'nyye problemy gumanitarnykh i yestestvennykh nauk - Actual problems of humanitarian and natural sciences, 5, 277-279 [in Russian].
 14. Veselovsky, V.S., Alekseeva, H.D., Vinogradova, L.N., Orleanskaia, G.L., & Terpogosoza, Ye.A. (1964). Samovozgoraniya promyshlennykh materialov [Spontaneous combustion of industrial materials]. Moscow: Nauka [in Russian].
 15. Federal'nyye normy i pravila v oblasti promyshlennoy bezopasnosti «Instruktsiya po opredeleniyu inkubatsionnogo perioda samovozgoraniya uglya» [Federal norms and rules in the field of industrial safety "Instructions for determining the incubation period of spontaneous combustion of coal."] (2013). Moscow: ZAO «Nauchno-tehnicheskii tsentr issledovaniy problem promyshlennoy bezopasnosti» [in Russian].
 16. Instruktsiya po preduprezhdeniyu samovozgoraniya, tusheniyu i razborke porodnykh otvalov [Instructions for the waste dump spontaneous combustion prevention, extinguishing and disassembling]. Rostekhnadzor order No. 738 dated December 23, 2011; registered in the Ministry of Justice of the Russian Federation on April 13, 2012, reg. No23828. (2013). Moscow: ZAO «Nauchno-tehnicheskii tsentr issledovaniy problem promyshlennoy bezopasnosti» [in Russian].

СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ЗАПЫЛЕННОСТИ АТМОСФЕРЫ ДЛЯ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ НА БАЗЕ ВСТРОЕННОЙ ЦИФРОВОЙ ПЛАТФОРМЫ DUSTGAS



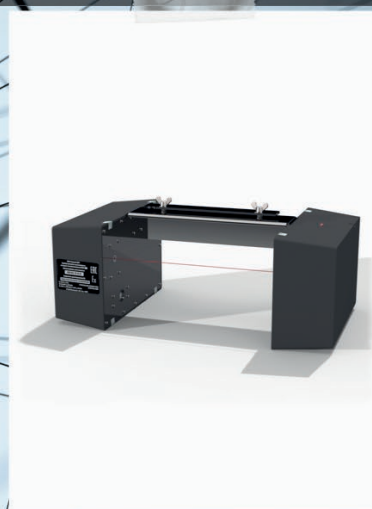
Стационарный датчик **ИЗСТ-01** для контроля рабочей зоны



Стационарный датчик **ИЗСТ-мини** для контроля пылящих грузов в полувагонах



Переносной прибор контроля запыленности **ПКА-01**



Система контроля пылеотложения, запыленности и дисперсного состава **СКИП**

ООО "Горный-ЦОТ" indsafe.ru



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

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



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

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



Д.А. Трубицына //
D.A. Trubitsyna

директор по развитию ГК "ВостЭКО" и "Горный-ЦОТ" Россия, 650002, г. Кемерово, Сосновый бульвар, 1
Director for development GK "VostEKO and Gorny COT" 1, Sosnoviy bulvar, Kemerovo, 650002, Russia

УДК 622.807

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ МОНИТОРИНГ ВЗРЫВООПАСНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ В ШАХТАХ: АКТУАЛЬНОСТЬ, ИСПЫТАНИЯ, ПЕРСПЕКТИВЫ

INDUSTRIAL MONITORING OF EXPLOSIVE AEROSOLS IN MINES: ACTUALITY, TESTS, PROSPECTS

Рассмотрен технически достигнутый уровень автоматизированных систем контроля технологии и промышленной безопасности в угольных шахтах, а также перспективы совершенствования подсистем мониторинга концентрации угольных аэрозолей. Приведен анализ исследований в испытательных центрах РФ и Евросоюза датчиков запыленности воздуха и основные технические новации по их результатам. Представлен современный уровень испытательных стендов и алгоритм испытаний оптических датчиков пылевого контроля. Алгоритм основан на серии испытаний средств пылевого контроля, а также систем обеспыливания и пылеулавливания. Представлены результаты испытаний оптических датчиков при изменениях концентрации пыли (минимальные – менее ПДК; средние 2÷6 ПДК; высокие 6÷20 ПДК), вариации дисперсного и вещественного состава аэрозолей. Уточнена величина абсолютной и относительной погрешности измерений для испытуемых датчиков и область их промышленного использования. В ходе испытаний применены цифровые дозаторы пыли, лазерные анализаторы дисперсного состава частиц, эталонные 9-канальные гравиметрические системы и пылемеры CIP-10 для определения изменения концентрации пыли в пределах плоскости измерений и по длине стенда. Исследовано влияние источников света с различной длиной волны, водного аэрозоля и дыма на формирование ложных выходных сигналов стационарных измерителей концентрации пыли. Представлены основные технические решения по совершенствованию серийных стационарных измерителей запыленности воздуха.

The technically achieved level of technology and industrial safety automated control systems in coal mines is considered, as well as the prospects for improving the subsystems for monitoring the concentration of coal aerosols. The analysis of studies in the test centers of the Russian Federation and the European Union of air dust sensors and the main technical innovations based on their results are presented. A modern level of test benches and an algorithm for testing optical dust control sensors are presented. The algorithm is based on a series of tests on dust control equipment as well as dust control and dust collection systems. The test results of optical sensors with changes in dust concentration (minimum - less than MPC; average 2 ÷ 6 MPC; high 6 ÷ 20 MPC), variations in the dispersed and material composition of aerosols. The value of the absolute and relative measurement error for the tested sensors and the area of their industrial use has been clarified. During the tests, digital dust meters, laser analyzers of the dispersed composition of particles, standard 9-channel gravimetric systems and CIP-10 dust meters were used to determine the change in dust

concentration within the measurement plane and along the length of the bench. The influence of light sources with different wavelengths, water aerosol and smoke on the formation of false output signals of stationary dust concentration meters was investigated. The main technical solutions for the improvement of air dust content serial stationary meters are presented.

Ключевые слова: АЭРОЗОЛЬ, ПЫЛЬ, ДАТЧИК, СТАЦИОНАРНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ, ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ КОНТРОЛЬ, КОНЦЕНТРАЦИЯ ПЫЛИ, ДИСПЕРСНЫЙ СОСТАВ, ЦИФРОВОЙ ДОЗАТОР ПЫЛИ, СТЕНДОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ, ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ, УРОВНИ ОСВЕЩЕННОСТИ, ДЛИНА СВЕТОВОЙ ВОЛНЫ

Key words: AEROSOL, DUST, SENSOR, STATIONARY METER, INDUSTRIAL CONTROL, DUST CONCENTRATION, DISPERSED COMPOSITION, DIGITAL DUST DISPENSER, BENCH TESTS, MEASUREMENT ERROR, LIGHT LEVELS, LIGHT WAVELENGTH

ВВЕДЕНИЕ

В новой редакции правил безопасности в угольных шахтах (ПБ) значительное внимание уделено вопросам производственного контроля уровней запыленности воздуха и пылевзрывобезопасности выработок посредством стационарных и переносных измерителей [1,2]. Основой развития систем мониторинга в угольной отрасли¹ являются комплексные системы мониторинга параметров технологии и безопасности производств (СКМБ) успешно реализуемые на предприятиях ведущих угледобывающих компаний.

Современные АСДУ-СКМБ комплексы строятся на основе интеграции подсистем контроля технологических процессов (подготовительные забои, выемочные участки, конвейерный транспорт и др.) с подсистемами мониторинга безопасности, к последним относятся системы контроля вентиляторных установок и всей системы проветривания шахты, системы пожарно-оросительного водоснабжения, аэрологического и газового контроля, а также контроль уровней запыленности и пылевзрывобезопасности (далее СПК - системы пылевого контроля) [3-6].

Современное горношахтное оборудование оснащается микропроцессорным управлением, с техническими возможностями их системной интеграции [5,6]. На предприятиях ведущих угледобывающих компаний эксплуатируются «интеллектуальные» машины, способные распознавать свое состояние, состояние окружающей среды, 3-D геометрические координаты, текущий контекст в технологическом процессе.

Для распознавания окружающих условий машины оборудованы датчиками, обеспечивающими определение изменяющихся геометрических параметров и геологических условий, в которых они перемещаются.

Распознавание состояния включает статус работоспособности (включено-выключено), контроль сбойных ситуаций или ошибок, а также

потребляемую мощность или нагрузку на электрические устройства. Комбайны и комплексы оснащаются широким спектром встроенных датчиков, контролирующих внешние условия (например, горное давление), состояние основных агрегатов, расход и давление воды в системе охлаждения и орошения, давления масла в гидравлических системах. Проходческие комбайны для распознавания окружающих условий на стреловидном исполнительном органе могут оснащаться сканерами, исследующими поверхность забоя. Определяются геометрические окружающие условия в трехмерном пространстве для задания направления машины. Кроме этого проводится автоматизация процессов резания – выбирается оптимальный профиль сечения, определяется наиболее короткая траектория движения режущей коронки. Установленные на машине датчики определяют положение стреловидного органа и отображают его на экране.

На шнековых выемочных комбайнах различных типов (SL-300/420 и SL-750 и др.) имеются решения по согласованию технологических процессов машины с окружающими условиями производственного участка: кроме датчиков местоположения комбайна в лаве контролируется контакт между угольным пластом и вмещающими породами. Для этого на машине со стороны забоя устанавливаются инфракрасные датчики. На комбайнах по концам машины устанавливаются радарные сканеры, которые регистрируют состояние и траекторию движения комбайна. Имеется интегрированный сенсорный контроль уровня заполнения всех рабочих жидкостей (вода, масло, эмульсия), а в системах охлаждения электродвигателей, орошения и пылеподавления датчиками фиксируется давление и расход воды.

Исходя из перечисленных «встроенных» технических решений открываются принципиально новые возможности совершенствования систем пылевого контроля на основе получения

¹ В общепромышленной терминологии - системы оперативно-диспетчерского управления (АСДУ).

следующей информации:

- состояние (on/off – включено/выключено) для основных источников пылеобразования (комбайны, ленточные конвейера, дробилки), данные по режимам резания для очистных и проходческих комбайнов;

- текущее местоположение перемещающихся источников пылеобразования (место нахождения комбайна в лаве) относительно расположения рабочих мест стационарных измерителей пылевых параметров;

- текущую высоту исполнительного органа проходческих комбайнов, высоту расположения режущих шнеков очистных комбайнов, как основных источников пылеобразования (высота источника пылеобразования оказывает существенную роль на формирование концентрации пыли в забое);

- состояние on/off, а также параметры работы оросительных систем пылеподавления (давление и расход воды);

- текущие параметры работы аспирационных систем обеспыливания (пылеотсосов «сухого» либо «мокрого» типа);

- текущие значения датчиков систем аэрогазового контроля, непосредственно взаимосвязанные с процессами переноса и осаждения пыли - скорость потока воздуха и перепад давлений;

- текущие показания датчиков концентрации витающей пыли в точках контроля и пересчет динамики концентрации по длине отдельных выработок либо в разветвленной вентиляционной сети специальным программным обеспечением с учетом поля скоростей воздуха, размещения систем пылеулавливания и т.д.

Исходя из наличия двух уровней пылевого контроля на шахтах (гигиенический и производственный), необходимо отметить, что мировой опыт применения систем стационарного пылевого контроля (основанных на инфракрасных измерительных головках [7,8]) в вопросах охраны труда дал однозначно отрицательный результат. Так применение системы FMA-TMS1 (HUND, Германия) в 90-х годах прошлого века ограничилось установкой в шахтах нескольких опытных образцов (рисунок 1) и в настоящее время данное оборудование не производится. Аналогичный опыт применения на шахтах Польши (опытная партия 20 шт.) имели датчики PŁ-2 (ЕМАГ, Польша). Указанные образцы датчиков измеряют концентрацию тонких или респираторных фракций пыли (менее 1 мкм либо 1-7 мкм). Для производственного контроля они в полной мере не применимы, а для контроля индивидуальной пылевой нагрузки персонала необходимо знать

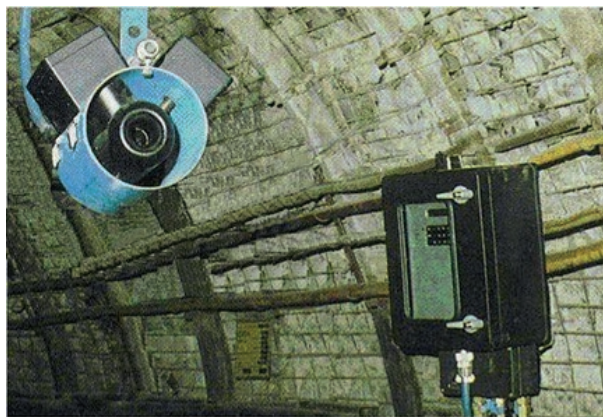


Рисунок 1 – Стационарный измеритель запыленности воздуха FMA-TMS1 (фото HUND, 90-е годы прошлого века)

Figure 1 - Stationary air dust meter FMA-TMS1 (photo HUND, 90s of the last century)

уровни запыленности в зоне дыхания работника, а не в месте размещения датчика.

В рамках данной публикации рассмотрены следующие вопросы производственного автоматизированного пылевого контроля:

- алгоритм испытаний оптических контроллеров уровней запыленности воздуха, новации и перспективы совершенствования датчиков [9-11];

- проблема передачи данных в системах СКМБ (организационный аспект), сводящаяся к потере определенной части разрядов данных при АЦП-ЦАП преобразованиях данных [11,15].

1. Датчики контроля уровней запыленности рудничной атмосферы: испытания, инновации и перспективы

В существующих системах СПК существует проблема создания датчиков контроля витающей угольной и угле-породной пыли. В рамках мирового горного дела промышленные образцы датчиков для производственного контроля уровней запыленности воздуха либо отсутствуют, либо имеют особенности конструкции, не учитывающей всего набора особых условий эксплуатации в шахтах. На рынке РФ до недавнего времени представлены 2 модели датчиков ИЗСТ-01 (Горный ЦОТ, Кемерово) и PŁ-3 (ЕМАГ, Катовице, Польша), при этом необходимо констатировать, что эксплуатация их на шахтах угольных шахтах отмечена рядом технических и организационно-технических проблем.

Как отмечено выше одним из первых датчиков пылевого контроля явился измеритель FMA-TMS1 (рисунок 1 – датчик и терминал). FMA-TMS1 проводил измерение концентрации частиц менее 1 мкм (другие размеры аэрозолей требовали дополнительной калибровки); вывод



Рисунок 2 – Датчик ИЗСТ-01 на испытаниях
Figure 2 - IZST-01 sensor during tests

измеренных значений проводился с интервалом 2 с. Исполнение FMA-TMS1 – взрывозащищенное исполнение EExibI; габариты: терминала – 600x300x250 мм, датчика – 250x270x270 мм; масса системы – около 28 кг.

Основные технические характеристики, предлагаемых в настоящее время датчиков приведены в таблицах 1 и 2, общий вид датчиков представлен на рисунках 2 и 3.

Стационарные измерители запыленности воздуха ИЗСТ-01 (ООО «Горный ЦОТ», г. Кемерово) поставлены на все угольные шахты всех регионов РФ.

Датчики ИЗСТ-01 (Рисунок 2) предназначены для измерения массовой концентрации витающей пыли в месте их установки. Метрологические характеристики ИЗСТ-01 были установлены на аэрозоле NaCl с размерами частиц около 2 мкм. Такие аэрозоли (NaCl) имеют принципиальные отличия от аэрозолей на основе угля и породы как по размерам и форме частиц, так и по их световой отражающей способности, что необходимо учитывать при настройке приборов.

Технические характеристики ИЗСТ-01

(данные производителя) приведены в таблице 1.

Стационарный оптический пылемер (датчик) PŁ-2 и его модификация PŁ-3 (приборы отличаются некоторыми электронными составляющими, их технические характеристики полностью совпадают) являются оптическими устройствами, использующим принцип измерения интенсивности света, отраженного в измерительной камере частицами пыли. Физическая основа измерений – эффект Тиндалля, состоящий в отражении разложении светового излучения постоянной длины волны на частицах аэрозоля (двухфазной среде воздух-частицы). Пылемер PŁ-2 (рисунок 3) проводит непрерывные измерения и регистрацию массовой концентрации респираторной пыли (эквивалентный диаметр частиц до 8 мкм) в диапазоне 0÷100 мг/м³ (тип прибора PŁ-2/100) или в диапазоне 0÷50 мг/м³ (тип прибора PŁ-2/50). В качестве источника света использован светодиод инфракрасного диапазона.

Интенсивность отраженного частицами пыли светового сигнала измеряется фотодетектором, работающим в том же диапазоне длины световой волны (таблица 2).

Таблица 1. Основные характеристики ИЗСТ-01
Table 1. Main characteristics of IZST-01

Температура окружающей среды, (°C)	+5 ÷ +35
Относительная влажность, (%)	20÷98 %
Атмосферное давление, (kPa)	84÷106,7
Напряжение питания, (V)	12
Потребляемый ток, не более, (mA)	250
Диапазон измерений массовой концентрации пыли, (мг/м ³)	0÷1500
Размеры , ДхШхВ (мм)	320x280x140
Масса, (kg)	1,5
Приведенная погрешность измерений в диапазоне 0÷100 мг/м ³ , %	20
Относительная погрешность измерений в диапазоне 100÷1500 мг/м ³ , %	20



Рисунок 3 – Оптический пылемер PŁ-2 и заводская идентификационная табличка
 Figure 3 - Optical dust meter PŁ-2 and factory identification plate

Таблица 2. Технические характеристики оптического пылемера PŁ-2 (PŁ-3)
 Table 2. Technical characteristics of optical dust meter PŁ-2 (PŁ-3)

Метод измерения	Оптический, отражение света частицами пыли респираторной фракции
Напряжение питания	9÷16 VDC
Потребляемый ток	до 9 mA при 12 VDC
Диапазон измерений	0÷100 mg/m ³ - PŁ-2/100 (пыль размерами до 10 мкм)
	0÷50 mg/m ³ - PŁ-2/50 (пыль размерами до 10 мкм)
Относительная погрешность	± 15% для диапазоне 0–100 mg/m ³
± 10% для диапазона 0–50 mg/m ³	± 10% для диапазона 0–50 mg/m ³
Выходной сигнал	0.4–2 VDC
Время реакции T50	Максимально 10 с
Время реакции T90	Максимально 20 с
Температура среды	0÷40оС
Влажность	0–100% без конденсации влаги
Тип корпуса	SRT/i
Степень защиты	IP-54
Размеры	168 x 180 x 95 mm
Масса	2.5 kg
Взрывозащитное исполнение	Ex I M1 Ex ia I
Сертификат соответствия	OBAC 07 ATEX 339X
Знак качества	CE

Датчики ИЗСТ-01 и PŁ-2 были испытаны в научных центрах РФ и Евросоюза [12-15] основные результаты испытаний приведены далее.

2. Методы и стендовая база испытаний датчиков контроля запыленности воздуха

В научном центре ДМТ (Эссен, Германия) для испытания приборов контроля запылен-

ности воздуха используется проточный стенд с регулируемой и точно измеряемой скоростью воздушного потока, программируемой системой подачи пыли и встроенной многоточечной гравиметрической системой контроля запыленности воздуха [12,13,14]. Общая схема стенда приведена на рисунке 4.

Испытания проводились в воздуховоде

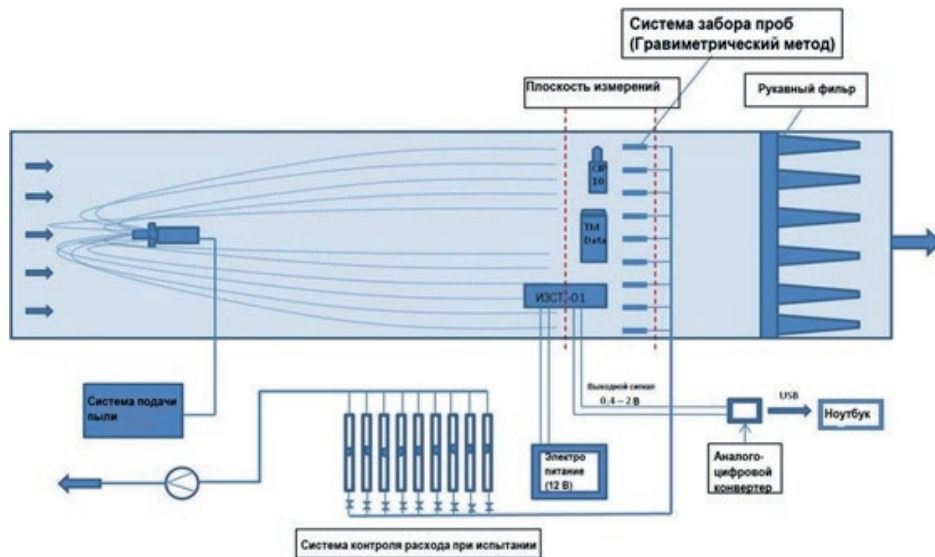


Рисунок 4 – Схема испытательного стенда ДМТ
Figure 4 - Diagram of the DMT test bench

размером 700x700 мм, который является частью испытательного стенда ДМТ, соответствующего стандарту DIN EN 779. Воздух подается при помощи вентилятора. На входе испытательного стенда установлена откалиброванная распыляющая форсунка для определения и контроля воздушного потока (рисунок 5). В «плоскости измерений» (представлена на рисунке 4) размещается испытуемый датчик, переносные эталонные приборы и система отбора проб с 9-ю зондами для последующего определения концентрации пыли эталонным гравиметрическим способом. Пункт подачи пыли находится на расстоянии примерно 2,80 метра от плоскости

измерений. Подача пыли осуществлялась в направлении, противоположном потоку воздуха. В большинстве испытаний использован программируемый дифференциальный весовой дозатор пыли DDB с подачей пыли 100 г/ч ÷ 5,0 кг/ч (рисунок 6).

Дифференциальный весовой дозатор (DDB) может использоваться в качестве системы подачи пыли с расходом от 100 г/ч до 5,0 кг/ч, что для условий стенда позволяет создать и стабильно поддерживать в течение всего эксперимента заданную концентрацию пыли в диапазоне от 50 мг/м³ до 1750 мг/м³. Отклонения от заданной величины концентрации пыли не пре-



Рисунок 5 – Сертифицированное устройство определения скорости потока воздуха на входе испытательного стенда (слева) и стенд DBT по стандарту DIN EN 779
Figure 5 - Certified device for determining the air flow rate at the inlet of the test bench (left) and the DBT bench according to DIN EN 779



Рисунок 6 – Дифференциальный весовой дозатор DDB с цифровым блоком управления
Figure 6 - Differential weight batcher DDB with digital control unit

вышают 2,5 %. Для создания в стенде концентрации пыли от 1 мг/м³ до 50 мг/м³ использован генератор сухого аэрозоля типа PALAS.

На первом этапе испытаний («холостой прогон» - при полностью отключенной системе подачи пыли, $C_p = 0$ мг/м³) ИЗСТ-01 (версия выпуска до 2015 года) в дневной период регистрировал ложную запыленность в пределах от 40 до 180 мг/м³ [12,13,14]. В сумерках выходной сигнал снизился до 10 мг/м³. Для исключения фактора освещенности в последующих испытаниях приборы ИЗСТ-01 были затемнены, выходной сигнал соответствовал величине 0,4 v или 0 мг/м³.

Испытания фактических метрологических показателей ИЗСТ-01 проводились на тестовой пыли (1-200 мкм) по DN 70.

На основании проведенных испытаний [12,13,14] отработан ряд принципиальных этапов испытаний, основные из которых :

- исследование скорости реакции прибора и фактического минимального предела измерений концентрации пыли. Проводится для 12 циклов ступенчатого роста-уменьшения концентрации пыли в последовательности C_p 0 – 50 – 0 – 100 – 0 – 250 – 0 – 100 – 0 – 50 – 0 мг/м³ при длительности каждого цикла 300с (рисунок 7);
- определение порога чувствительности и фактического верхнего уровня измеряемой концентрации пыли C_p , и установление линейности в соотношении выходного сигнала (вольты) и концентрации пыли (мг/м³) путем ступенчатого увеличения C_p от 0 мг/м³ до 1750 мг/м³ - 8 циклов (рисунок 8);
- проверка устойчивости показаний датчи-

ков при различных скоростях воздушного потока (36 циклов скорости воздуха 1; 1,5 и 2 м/с);

- краткосрочные и длительные испытания (от 2 до 6 часов - смена) с периодическими изменениями концентрации пыли для подтверждения повторяемости показаний (9 циклов);

- изучение влияния вариации дисперсного и вещественного состава пыли, а также сланцевой пылевзрывозащиты на устойчивость показаний датчиков (25 циклов исследований) [12,13,14].

Характерные данные испытаний приведены на рисунках 7 и 8. Сравнение результатов измерений ИЗСТ-01 [12,13,14] с фактической концентрацией пыли C_{VKM} , определенной при помощи гравиметрического метода с использованием VMK, позволяет заключить, что калибровка (принятое соотношение между напряжением на выходе и данными о концентрации на дисплее) для исследованной версии ИЗСТ-01 (выпуск 2013 года) требовала доработки. Позитивным явился результат, что прибор пропорционально реагировал на повышение концентрации пыли в стенде (рисунок 8), однако его показания существенно ниже фактических. Концентрации пыли 50 мг/м³ и менее (рисунок 7, рисунок 8) прибором не различались (порог чувствительности) при применявшихся системах калибровки и поверки [12,13,14].

Результаты приведенных исследований позволили провести доработку ИЗСТ-01.

Основные инновационные решения по результатам испытаний 2013-2018 годов сводятся к установлению фильтра на приемном оптическом

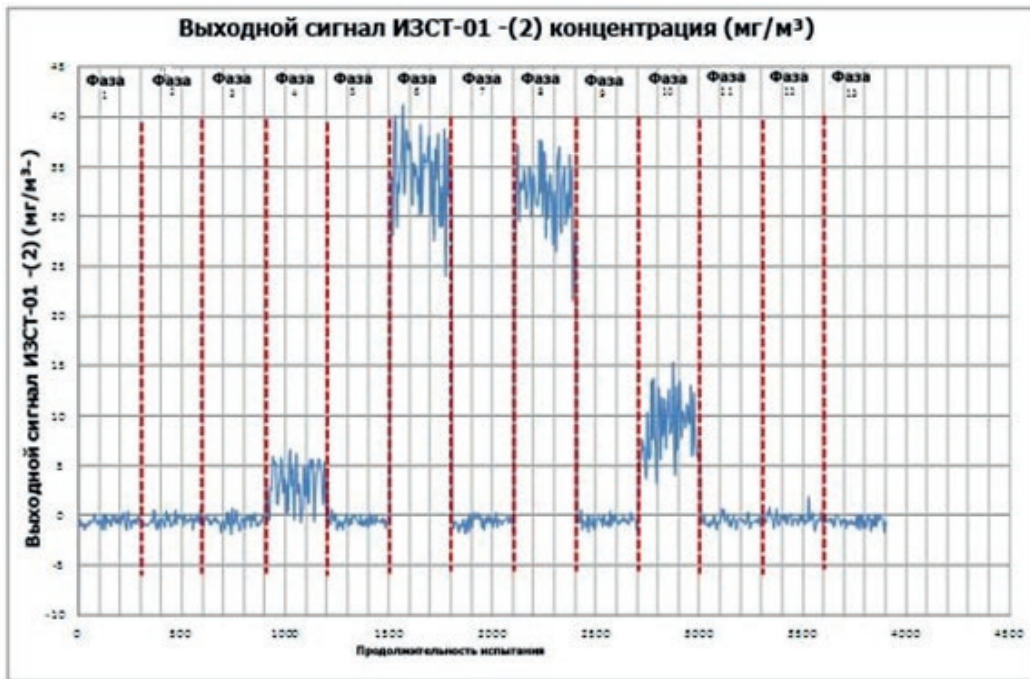


Рисунок 7 – Выходной сигнал (концентрация пыли – показания на дисплее) ИЗСТ-01 в ходе циклической 0 – 50 – 0 – 100 – 0 – 250 – 0 – 100 – 0 – 50 – 0 мг/м³ подачи пыли
 Figure 7 - Output signal (dust concentration - readings on the display) IZST-01 during cyclic 0 - 50 - 0 - 100 - 0 - 250 - 0 - 100 - 0 - 50 - 0 mg / m³ dust supply

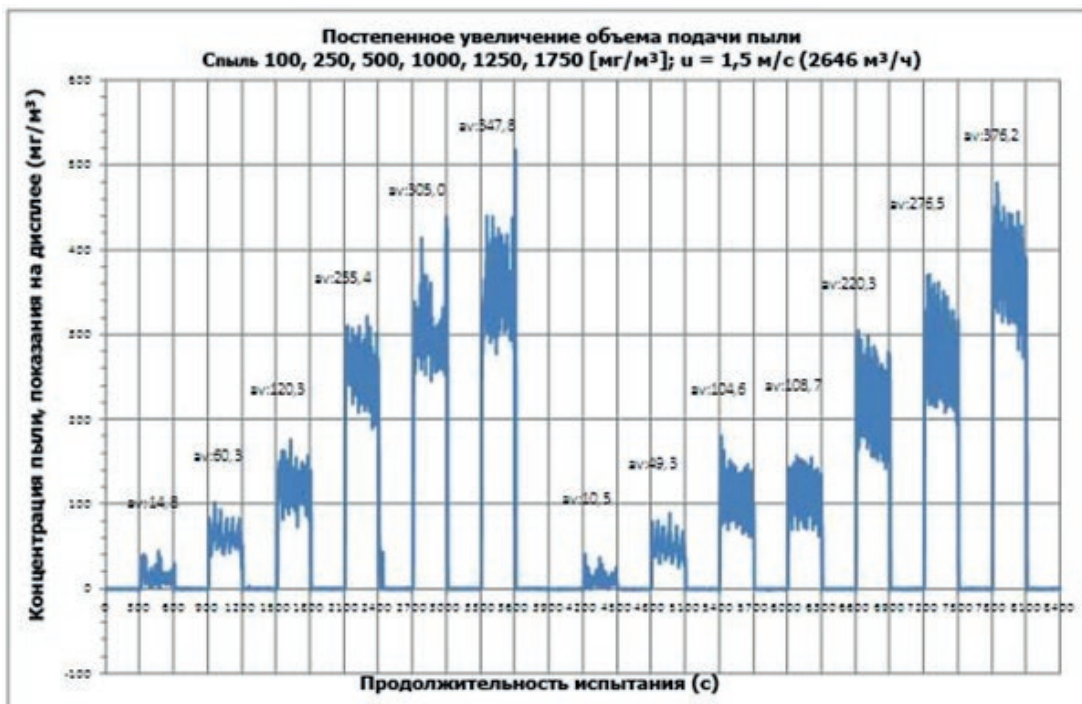


Рисунок 8 – Диаграмма выходного сигнала ИЗСТ-01 при последовательном увеличении концентрации пыли
 Figure 8 - Diagram of the IZST-01 output signal with a sequential increase in dust concentration

блоке и совершенствовании систем настройки ИЗСТ.

ВЫВОДЫ

Заключение по стационарному измерителю запыленности воздуха ИЗСТ-01:

1. В области пожарной безопасности институтом ФГБУ ВНИИПО исследована реакция ИЗСТ-01 на наличие дымных фракций аэрозо-

лей. Отмечен средний уровень реакции ИЗСТ-01 на появление дыма в выработках (показания до 103 мг/м³, квази-запыленности), что возможно дополнительно использовать в системах СКМБ как дублирующего канала контроля экзогенных пожаров [12,13].

2. Исследования метрологических характеристик стационарного измерителя запыленно-

сти воздуха ИЗСТ-01 на стендовой базе 3-х независимых научных центров выявили отклонения от требований ГОСТ Р 55175-2012 «Атмосфера рудничная. Методы контроля запыленности». Данный факт учтён производителем ИЗСТ-01 при разработке последующих версий датчиков.

3. Инфракрасный чувствительный модуль (приемник отраженного света) ИЗСТ-01 реагирует не только на световые волны ИК диапазона (770÷1100 нм), но и на свет из видимого диапазона (380÷760 нм). Показания ранних версий ИЗСТ-01 (до 2015 года) C ($\text{мг}/\text{м}^3$) выражаются линейной зависимостью от освещенности E (люкс) в виде функции $C = 0,236 \cdot E - 11,783$. Производителем ИЗСТ-01 на основе цикла испытаний, приведенных в данной статье, проведена доработка прибора, установлены фильтры на оптический приемник сигнала, снижающие или устраняющие зависимость ИЗСТ-01 от изменения освещенности выработок [12, 13, 14].

4. Датчик ИЗСТ-01 имеет выраженную реакцию на появление в составе аэрозоля или на стенках горных выработок сланцевой пыли. После осланцевания горных выработок интенсивность отражения света инертной пылью белого цвета возрастает, чувствительный модуль ИЗСТ-01 отмечает фоновый уровень ложной запыленности в диапазоне 29,5÷58,8 $\text{мг}/\text{м}^3$. При подаче последовательно сланцевой и угольной пыли с фиксированной (постоянной) концентрацией около 160 $\text{мг}/\text{м}^3$ уровень выходного сигнала ИЗСТ-01 для сланцевой пыли в 2,3 раза выше, чем при той же концентрации угольной пыли. Производителем приборов отработан цикл рекомендаций для работников шахт по устранению указанных особенностей.

5. На калибровочную функцию прибора ИЗСТ-01 (соотношение между выходным напряжением и концентрацией пыли) существенное

влияние оказывает ряд факторов, основными из которых являются дисперсный и вещественный состав аэрозоля, что необходимо учитывать в программных составляющих подсистем мониторинга пыли СКМБ.

Заключение по стационарному измерителю запыленности датчику РЛ-2:

1. Датчик РЛ-2 имеет явно выраженную реакцию на дым (дымные аэрозольные фракции с размерами частиц менее 0,1 мкм). Реакция датчика на дым значительно превосходит реакцию основных газовых датчиков, распознающих концентрацию пожарных газов и температуры рудничной атмосферы того-же производителя (ЕМАГ, Польша), РЛ-2 может быть рекомендован в качестве вспомогательного пожарного извещателя для выработок шахт и рудников.

2. Стационарный оптический пылемер (датчик) РЛ-2 проводит непрерывные измерения и регистрацию массовой концентрации респираторной пыли или для частиц с размерами менее 8 мкм , в диапазоне концентраций 0÷100 $\text{мг}/\text{м}^3$ (тип прибора РЛ-2/100) или в диапазоне 0÷50 $\text{мг}/\text{м}^3$ (тип прибора РЛ-2/50), что достаточно для выполнения требований европейских норм, но не позволяет определять общую массу частиц 1-74 мкм по требованиям норм РФ.

3. Инфракрасный чувствительный модуль (приемник отраженного света) РЛ-2 реагирует только на световые волны ИК диапазона (770÷1100 нм), наличие источников света из видимого диапазона (380÷760 нм) не приводит к появлению фоновых значений выходного сигнала датчика.

4. Рекомендуется применение пылемера РЛ-2 на исходящей струе в конвейерных выработках шахт после проведения определенного цикла испытаний [12, 13, 14].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила безопасности в угольных шахтах: М.: Ростехнадзор (Приказ Ростехнадзора № 550 от 19.11.2013), зарегистрированы в Министерстве юстиции Российской Федерации 31.12.2013 N 30961.
2. Инструкция по борьбе с пылью в угольных шахтах. Введена в действие приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 14.10. 2014 г. №462.
3. Клименко А.П. Методы и приборы для измерения концентрации пыли. М.: Химия, 1978. 208 с.
4. Барабаш У., Вайс Х., Котке Ф. Автоматизация горных машин на предприятиях концерна RAG Deutsche Steinkohle // Глюкауф. 2010. № 1(2). С.14–20.
5. Крумменауэр Э., Баструкк М. Оптимизация производительности и безопасности в угольном очистном забое при помощи очистных комбайнов со шнековым исполнительным органом // Уголь. 2008. № 7. С.19–21.
6. Принципы построения многофункциональных систем безопасности угольных шахт, опыт и перспективы их использования в Кузбассе. /Бабенко А.Г., Лапин С.Э., Вильгельм А.В., Оржеховский С.М. Безопасность труда в промышленности, 2011 №1. С.16-22.
7. Hesse.F Uber Einflusse auf den Umrechnungsfaktor zwischen tyndalometrischen Feinstaub-Messwerten. 1992. – 120 р.
8. Thiemann. M Messtechnische Ermittlung von Staubquellen und Beurteilung der Wirkung technischer Staubbekämpfungsmassnahmen im Steinkohlenbergbau. 1991. – 109 р.
9. Устройство для измерения концентрации пыли. Трубицин А.А., Трубицина Н.В., Романченко С.Б. и др. Патент

- № 61883, Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам (Роспатент), от 10.03.2007.-4с.
10. Романченко С.Б. Оптические пылемеры с инфракрасными измерительными головками. //Горный информационно-аналитический бюллетень. Аэрология: Сборник научных трудов.- М.: «Мир горной книги». -2007.-№ОВ12.- С 265-273.
 11. Трубицин А.А. и др. Формирование системы автоматизированного контроля пылевзрывобезопасности горных выработок угольных шахт// Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. - 2016. №4. С.6-14.
 12. Исследования в области пожарной безопасности и метрологических характеристик стационарных измерителей концентрации пожаровзрывоопасных и вредных угольных аэрозолей: отчет о НИР (Заключение) / Климкин В.И. и др. – Балашиха : ФГБУ Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны, 2013.- 92 с.
 13. Разработать концепцию (программу) внедрения системы учета индивидуальной пылевой нагрузки работников вредных производств шахты с целью минимизации регрессных исков : отчет о НИР / Ермаков А.Ю. и др. – Прокопьевск : институт СибНИИУглеобогащение, 2013.- 173 с.
 14. Романченко С.Б. и др. Комплексное обеспыливание. Комплексное обеспыливание. / Романченко С.Б., ...Тимченко А.Н. и др. -М.: Горное дело, 2016.-288 с.
 15. Романченко С.Б., Костеренко В.Н., Тимченко А.Н. Сравнительные испытания стационарных и переносных измерителей концентрации пыли. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) Mining Informational and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal). 2015. № 11 (специальный выпуск 60-2). 648 с. М.: Издательство «Горная книга». С.392-401.

REFERENCES

1. Pravila bezopasnosti v ugol'nykh shakhtakh: (Prikaz Rostekhnadzora № 550 ot 19.11.2013) [Safety rules in coal mines (Rostekhnadzor Order No. 550 dated 19.11.2013)] M.: Rostekhnadzor [in Russian].
2. Instruktsiya po bor'be s pyl'yu v ugol'nykh shakhtakh [Instructions for dealing with dust in coal mines]. Put into effect by order of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision dated 14.10. 2014 No. 462 [in Russian].
3. Klimenko, A.P. (1978). Metody i pribory dlya izmereniya kontsentratsii pyli [Methods and instruments for measuring dust concentration]. Moscow: Khimia [in Russian].
4. Barabash, U., Vais, Kh., & Kotke, F. (2010). Avtomatizatsiya gornyykh mashin na predpriyatiyakh kontserna RAG Deutsche Steinkohle [Automation of mining machines at the enterprises of the RAG Deutsche Steinkohle concern]. Glukauf, 1(2), 14-20
5. Krummenauer, E., & Bastrukk, M. (2008). Optimizatsiya proizvoditel'nosti i bezopasnosti v ugol'nom ochistnom zaboye pri pomoshchi ochistnykh kombaynov so shnekovym ispolnitel'nyim organum [Optimizing performance and safety at a coal extraction face with an auger shearer]. Ugol – Coal, 7, 19-21 [in Russian].
6. Babenko, A.G., Lapin, S.E., Vilgelm, A.V., & Orzhekhovskiy, S.M. (2011). Printsipy postroyeniya mnogofunktsional'nykh sistem bezopasnosti ugol'nykh shakht, opyt i perspektivy ikh ispol'zovaniya v Kuzbasse [Principles of building multifunctional safety systems for coal mines, experience and prospects of their use in Kuzbass]. Bezopasnost truda v promyshlennosti – Industrial Labor Safety, 1, 16-22 [in Russian].
7. Hesse.F Uber Einflusse auf den Umrechnungsfaktor zwischen tyndalometrischen Feinstaub-Messwerten. 1992. – 120 p.[in German].
8. Thiemann. M Messtechnische Ermittlung von Staubquellen und Beurteilung der Wirkung technischer Staubbekämpfungsmassnahmen im Steinkohlenbergbau. 1991. – 109 p. [in German].
9. Patent No. 61883. Ustroystvo dlya izmereniya kontsentratsii pyli [Dust concentration measuring device]. Trubitsyn A.A., Trubitsyna N.V., Romanchenko S.B. and others. Federal Service for Intellectual Property, Patents and Trademarks (Rospatent), dated 10.03.2007.-4с. [in Russian].
10. Romanchenko, S.B. (2007). Opticheskiye pylemery s infrakrasnymi izmeritel'nymi golovkami [Optical dust meters with infrared measuring heads]. Gorny informatsionno-analiticheskii biulleten – Mining Informational Analytical Bulletin, 12, 265-273 [in Russian].
11. Trubitsyn, A.A. et al. (2016). Formirovaniye sistemy avtomatizirovannogo kontrolya pylevzryvobezopasnosti gornyykh vyrabotok ugol'nykh shakht [Formation of an automated control system for dust and explosion safety in coal mine workings]. Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugolnoi promyshlennosti – Herald of Safety in Mining Industry Scientific Center, 4, 6-14 [in Russian].
12. Klimkin, V.I. et al. (2013). Issledovaniya v oblasti pozharoy bezopasnosti i metrologicheskikh kharakteristik statsionarnyykh izmeriteley kontsentratsii pozharovzryvoopasnykh i vrednykh ugol'nykh aerorozoley: otchet o NIR (Zaklyucheniye) [Research in the field of fire safety and metrological characteristics of stationary meters for the concentration of fire and explosion hazardous and harmful coal aerosols: research report (Conclusion)]. Balashokha: FGBU All-Russian Research Institute of Fire Protection [in Russian].
13. Yermakov, A.Yu. et al. (2013). Razrabotka' kontseptsiiyu (programmu) vnedreniya sistemy ucheta individual'noy pylevoy nagruzki rabotnikov vrednykh proizvodstv shakhty s tsel'yu minimizatsii regressnykh iskov [To develop a concept (program) for the implementation of a system for accounting the workers' individual dust load in hazardous mine operations in order to minimize regression claims]. Prokopievsk: Institut SibNIUgleobogasheniye [in Russian].
14. Romanchenko, S.B., Timchenko, A.N., et al. (2016). Kompleksnoye obespylivaniye [Complex dust control]. Moscow: Gornoie delo [in Russian].
15. Romanchenko, S.B., Kosterenko, V.N. & Timchenko, A.N. (2015). Sravnitel'nyye ispytaniya statsionarnyykh i perennykh izmeriteley kontsentratsii pyli [Comparative tests of stationary and portable dust concentration meters]. Gorny informatsionno-analiticheskii biulleten – Mining Informational Analytical Bulletin, 11 [in Russian].



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

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



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

кандидат техн. наук, доцент кафедры «Безопасность жизнедеятельности», ФГБОУ ВПО «КемГУ», г. Кемерово. Россия, 650056 г. Кемерово, Бульвар Строителей, д. 47.
candidate of technical sciences, associate professor of "Life Safety" chair, FGBOU VPO "KemGU", Kemerovo. Russia, 650056 Kemerovo, Stroitelei Boulevard, d. 47.

УДК 614.849

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ НЕГАТИВНЫХ СИТУАЦИЙ, СВЯЗАННЫХ С ПОЖАРАМИ НА УГОЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

NEGATIVE SITUATIONS ASSOCIATED WITH FIRE AT COAL ENTERPRISES ASSESSMENT AND FORECAST METHODOLOGY

В статье обоснована необходимость применения предложенной методики оценки и прогнозирования возможного возникновения негативных ситуаций при пожарах на угледобывающих и углеперерабатывающих предприятиях. Методика основана на расчётах существующих рисков и рангов опасностей с учётом величин их достоверности. Данная процедура позволяет выработать профилактические решения на основе фактических и предполагаемых рисков возникновения негативных ситуаций. Изложен уровень разработанности рассматриваемой темы в Российской Федерации и за рубежом. Описаны теоретические основы формирования статистического анализа, определения риска возникновения негативных ситуаций, построения линий тренда и расчет величины достоверности аппроксимации.

Вместе с тем в статье приведено математическое описание дифференциальных уравнений предлагаемой методики, позволяющей внедрить ее на реально существующем объекте. Так, описана апробация рассматриваемой методики на угольно развитом субъекте Российской Федерации - Кузбассе.

The article substantiates the need to apply the proposed methodology for assessing and forecasting the possible occurrence of negative situations during fires at coal mining and coal processing enterprises. The methodology is based on calculations of existing risks and hazard grades, taking into account the values of their reliability. This procedure allows you to develop preventive solutions based on the actual and perceived risks of negative situations. The topic under consideration level of development in the Russian Federation and abroad is stated. The theoretical foundations of statistical analysis formation, negative situation occurrence risk determination, construction of trend lines and the approximation reliability value calculation are described. At the same time, the article provides a mathematical description of the differential equations of the proposed methodology, which allows it to be implemented on a real-life object. Thus, the testing of the method under consideration is described at the coal-developed constituent entity of the Russian Federation - Kuzbass.

Ключевые слова: ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ, УГОЛЬНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ, НЕГАТИВНЫЕ СИТУАЦИИ, РИСКИ, РАНГ ОПАСНОСТИ, ДОСТОВЕРНОСТЬ РИСКА, ЛИНИЯ ТРЕНДА, ПРОФИЛАКТИКА ОПАСНОСТЕЙ, ПРОГНОЗИРОВАНИЕ, МЕТОДИКА ОЦЕНКИ.

KEY WORDS: FIRE SAFETY, COAL INDUSTRY, NEGATIVE SITUATIONS, RISKS, HAZARD RANK, RISK SIGNIFICANCE, TREND LINE, HAZARD PREVENTION, FORECASTING, ASSESSMENT METHODOLOGY.

Введение
Российская Федерация относится к одной из самых развитых промышленных стран мира. Несмотря на производственный спад в 90-е годы прошлого века, в настоящее время происходит процесс восстановления промышленных предприятий. Особое

развитие получила сырьевая отрасль страны, к которой относится угледобыча и углепереработка. Угольная промышленность является одной из самых развитых производств со значительной экономической прибылью.

Несмотря на успехи развивающейся отрасли есть ряд проблем, связанных с пожарной

и промышленной безопасностью предприятий, ухудшающейся экологической обстановкой, прилегающей к организациям территорий, экономией собственниками объектов на обеспечение безопасной эксплуатации и консервации шахт, разрезов и обогатительных фабрик.

Данные проблемы сопровождаются негативными факторами, отрицательно влияющими на жизнь и здоровье людей, таких как: пожары, взрывы, обвалы, затопления и т.д. Из-за значительного количества опасных факторов необходима разработка универсальной методики порядка выработки решений по предупреждению негативных ситуаций. Методика должна быть актуальной для различных областей производственного цикла угледобывающей и углеперерабатывающей промышленности.

Перед разработкой методики рассмотрим классические подходы к оценкам рисков возникновения опасных и негативных ситуаций для человека.

1. Порядок формирования анализов на основе статистических показателей

Для формирования анализа возникновения неблагоприятных событий, таких как: пожары, гибель работников на угольном предприятии – необходимо оперирование статистическими показателями. Статистический анализ является количественной мерой возникновения той или иной ситуации. Данный порядок формирования анализа получил широкое применение, так как возможно рассмотрение значительного количества показателей, выраженных в виде цифр, с которыми можно проводить математические исследования. Статистический анализ подходит для угольных предприятий. Возможно проведение исследований количественных показателей, таких как: пожары, взрывы, гибель, ущерб, зоны разрушения, материальные потери и т.д.

Также выполнение анализа на основе статистических показателей позволит провести расчёт рисков.

2. Порядок расчета риска возникновения негативной ситуации

Из общих понятий под риском понимается сочетание вероятности и последствий наступления неблагоприятных событий [1]. Если риск рассматривать как количественную величину, то при единице риск принимает максимальное значение, при ноле – минимальное. Также в понятие риска входит предполагаемое событие, определяемое различными методами [2, 3]. С учётом данных понятий расчетная величина ри-

ска достаточно удобна для оценки прогнозирования возникновения того или иного события.

Используя количественное значение рисков, возможно измерение потенциальных опасностей и их сравнение при различных ситуациях. Фактически под риском понимается количественная характеристика опасности, определяемая частотой её реализации.

Расчётной величиной риска возникновения негативной ситуации ($R_{\text{нег.}}$) является отношение возникновения рассматриваемых неблагоприятных событий ($N_{\text{нег.}}$) к их общему количеству ($N_{\text{общ.}}$), что представлено в следующем виде:

$$R_{\text{нег.}} = \frac{N_{\text{нег.}}}{N_{\text{общ.}}} \quad (1)$$

Количественные данные принимаются из анализа статистических показателей.

Расчет значений рисков возникновения негативных ситуаций позволяет ранжировать значения, то есть построить иерархию опасностей. Количество рангов определено в зависимости от количества рассматриваемых неблагоприятных событий.

К примеру, рассмотрим 3 неблагоприятных событий, характерных для шахт: взрыв, пожар, обвал. В течение года произошёл 1 взрыв, 3 пожара и 2 обвала. Всего 6 событий.

Из данного условия:

$$\begin{aligned} R_{\text{нег. сит.}}^{\text{взрыв}} &= \frac{1}{6} = 0,17 \\ R_{\text{нег. сит.}}^{\text{пожар}} &= \frac{3}{6} = 0,5 \\ R_{\text{нег. сит.}}^{\text{обвал}} &= \frac{2}{6} = 0,33 \end{aligned} \quad (2)$$

Из полученных показателей можно построить следующие ранги от наибольшего до наименьшего риска:

$$\begin{aligned} R_{\text{нег. сит.}}^{\text{пожар}} &= 0,5 - 1\text{-й ранг;} \\ R_{\text{нег. сит.}}^{\text{обвал}} &= 0,33 - 2\text{-й ранг;} \\ R_{\text{нег. сит.}}^{\text{взрыв}} &= 0,17 - 3\text{-й ранг.} \end{aligned} \quad (3)$$

Ранжирование позволяет наглядно показать ситуации, возникающие с наибольшей вероятностью. Возможно определение первоочередных предупредительных мер.

Вышеизложенные расчётные величины рисков возникновения негативной ситуации можно представить в виде дифференциальных уравнений, на значения которых влияют различные параметры. Так, дифференциальное уравнение, описывающее риск наступления негативного социального события $R_{\text{нег.соц.}}$, примет вид:

$$N_{\text{работн.}} \cdot \frac{dR_{\text{нег.соц.}}}{dt} = N_{\text{гиб.}} + N_{\text{травм.}} - N_{\text{эвак.}} - N_{\text{спас.}} \quad (4)$$

где, $N_{\text{работн.}}$ – количество работников рассматриваемого объекта, чел.;

$N_{\text{гиб.}}$ – количество погибших на пожаре, чел.;

$N_{\text{травм.}}$ – количество травмированных, чел.;

$N_{\text{эвак.}}$ – количество эвакуируемых самостоятельно, в том числе с помощью средств спасения, чел.;

$N_{\text{спас.}}$ – количество спасенных работников спасателями, чел.;

τ – рассматриваемый временной промежуток, год (месяц, неделя и т.д.).

По аналогии предлагаемое дифференциальное уравнение рисков наступления негативных экономических последствий $R_{\text{нег.экон.}}$ примет вид:

$$N_{\text{объект}} \cdot \frac{dR_{\text{нег.эконом}}}{dt} = N_{\text{разр.}} + N_{\text{постр.}} - N_{\text{уцелевш.}} - N_{\text{спас.объектов}} \quad (5)$$

где, $N_{\text{объект}}$ – количество объектов (зданий и сооружений) на рассматриваемой территории предприятия, шт.;

$N_{\text{разр.}}$ – количество сгоревших зданий при пожаре, шт.;

$N_{\text{постр.}}$ – количество пострадавших зданий при пожаре, шт.;

$N_{\text{уцелевш.}}$ – количество уцелевших зданий при срабатывании систем противопожарной защиты, шт.;

$N_{\text{спас.объектов}}$ – количество спасенных объектов силами пожарной охраны, шт.

В вышеприведенных дифференциальных уравнениях риски изменяются во времени в зависимости от социально-экономических потерь при постоянном первоначальном количестве работников и объектов угольного предприятия.

3. Построение линий тренда и определение величины достоверности аппроксимации

Проведя анализ по пожарам, возможно построение динамики изменения рисков негативных ситуаций во времени. Данная динамика описывается графиками.

Построив линию аппроксимации (сглаживания), то есть применив метод по замене рассматриваемых объектов, в нашем случае расчётных величин пожарных рисков другими, более близкими к исходным значениям, возможен вывод функций. Из существующих линий аппроксимации (тренда): линейных, логарифмических, полиномиальных, степенных, экспоненциальных – выберем полиномиальные шестой степени. Это обусловлено тем, что анализируется значительный набор данных, которые имеют нестабильные величины. Вместе с тем при описании линии тренда полиномиальным способом выведена максимальная величина достоверности аппроксимации (коэффициент

детерминации, R^2), которая в ряде случаев приближена к максимальному значению - единице.

Достоверность аппроксимации является величиной точности влияния рассматриваемых параметров на риски возникновения негативных ситуаций. Согласно классическим подходам доступности применения вышеизложенного следует отметить, что линии тренда позволяют графически отображать тенденции изменения данных и прогнозировать их дальнейшие перемены [4]. Продлив линию тренда, можно предсказать будущие показатели. Также построение линии тренда возможно на всех двухмерных диаграммах. Отрицательным является то, что построение линий тренда невозможно на трехмерных диаграммах, кольцевых, круговых, лепестковых и пузырьковых. В рассматриваемой области это и не требуется, вследствие чего применение линии аппроксимации в анализе по пожарам найдёт свою актуальность.

4. Определение предполагаемых рисков

Как указано ранее, на графиках возникновения негативных ситуаций, установленных из проведенных анализов, определены математические зависимости, которые позволят рассчитать предполагаемые риски. Предполагаемые риски необходимы для выработки решений по их профилактике. Решения позволят реализовать мероприятия по пожарной безопасности, в результате чего возможно снижение негативных последствий, связанных с гибелью и травмированием работников предприятий угледобывающих и углеперерабатывающих предприятий, а также связанных с обеспечением устойчивости зданий и угольных объектов при пожарах.

При реализации противопожарных мероприятий пожарный риск не должен быть выше допустимых значений, установленных техническим регламентом о требованиях пожарной безопасности [5].

В соответствии с Конституцией Российской Федерации каждый имеет право на безопасные условия труда, из чего следует необходимость выполнения безусловного обеспечения безопасности работников [6].

С учётом конституционных условий требуется разработка противопожарных мероприятий, обеспечивающих безопасность каждого работника предприятия, для чего необходимо определить все существующие возможные негативные ситуации.

Для повышения пожарной безопасности объектов и работников требуются дополнительные финансовые затраты, на которые зачастую

собственники угольных предприятий не готовы.

5. Предлагаемая методика оценки и прогнозирования возникновения негативных ситуаций

В настоящее время на территории Российской Федерации получили развитие вероятностные критерии оценок соответствия объектов защиты установленным требованиям, в том числе пожарной безопасности. В соответствии с законодательствами о техническом регулировании и о стандартизации необходимо применение всех существующих ресурсов для выработки исчерпывающих решений по пожарной безопасности на объектах защиты [7, 8]. Требуется обеспечить взаимодополняемость вероятностных и детерминированных критериев.

Вероятностные критерии основаны на расчётах рисков возникновения негативных ситуаций. Детерминированные критерии основаны на статистических показателях.

Применив современные информационные технологии, возможно сопряжение вероятностных и детерминированных критериев. Так, из графиков построения негативных ситуаций возможно построение функций, их описывающих. По данным функциям впоследствии возможно

определение предлагаемых рисков с расчетом величины достоверности установленной зависимости.

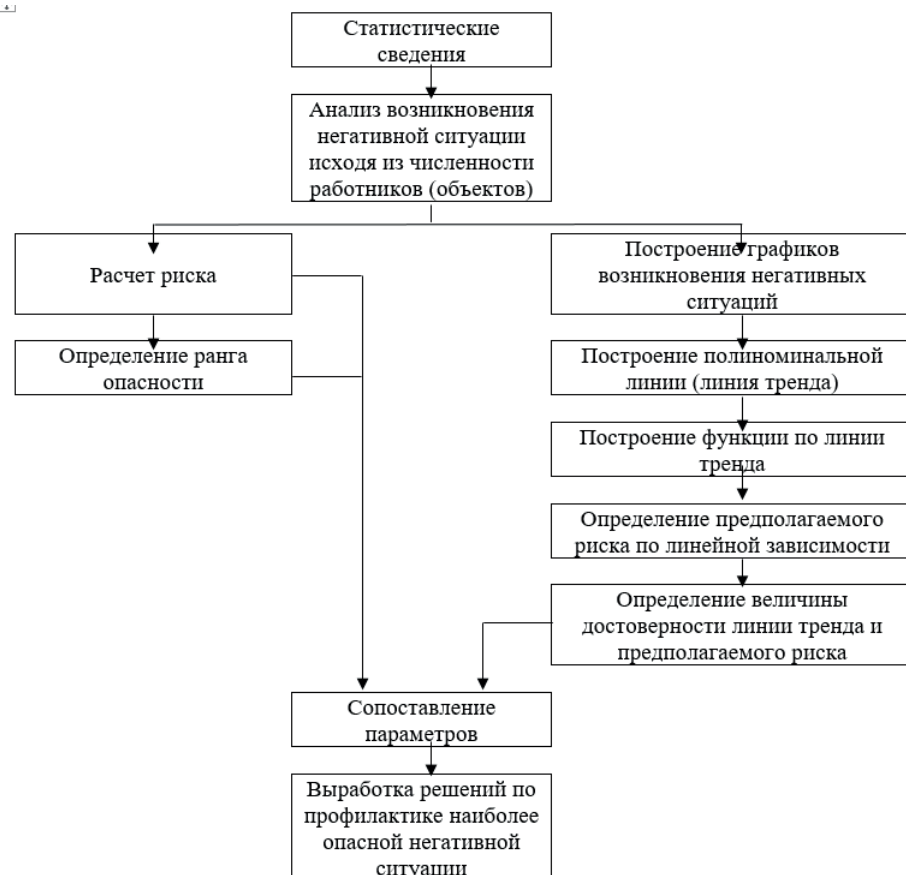
Сопоставление величины предполагаемого риска, рассчитанного по детерминированным критериям, с фактическими рисками позволяет принять решения взаимодополняющие друг друга. То есть данные решения позволяют выработать мероприятия актуальные как для существующей ситуации, так и для обстоятельств возможно возникших в будущем.

Вышеизложенное представим в виде следующей блок – схемы 1.

На данной блок-схеме представлены следующие основные позиции: статистические показатели, вероятностные критерии, детерминированные критерии, сопоставление критериев и выработка решений.

Анализ статистических показателей и вероятностных критериев, а также построение графиков, линий тренда, функций и предполагаемых рисков описаны ранее.

Вместе с тем необходимо не забывать о предупреждении негативных ситуаций, связанных с социально-экономическими потребностями и потерями, возникающими на угледобывающих и углеперерабатывающих предприятиях.



Блок-схема 1. Оценка и прогнозирование негативной ситуации
Block diagram 1 - Assessment and forecasting of a negative situation

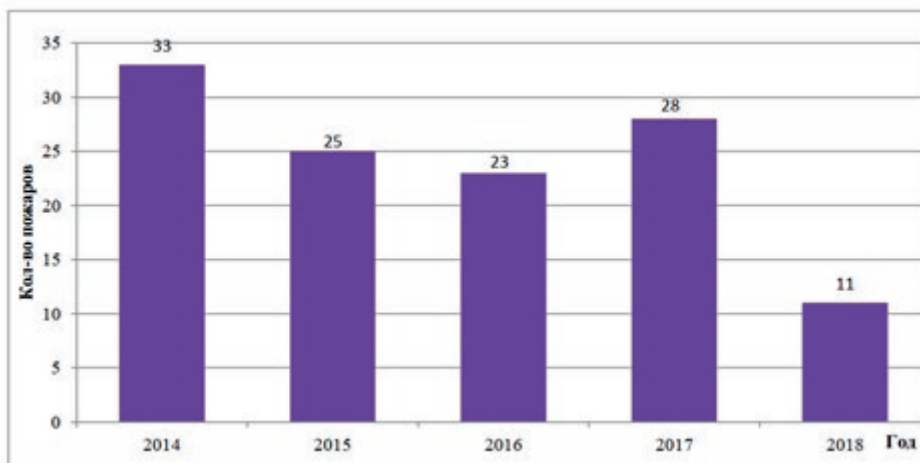


График 1. Количество пожаров, произошедших на объектах обогащения и переработки полезных ископаемых
 Graph 1 - The number of fires that occurred at the mineral washing and processing facilities

Выработка решений по профилактике наиболее опасных негативных ситуаций основывается не только на обязательных и добровольных для исполнения требованиях, но и на дополнительных управленческих, адресных решениях, принимаемых руководителями угольных предприятий.

6. Предупреждение возникновения опасных ситуаций

Предупреждение возникновения опасных ситуаций основывается на выработке решений по профилактике наиболее опасных негативных ситуаций. Данные ситуации определяются на основе вероятностных критериев, то есть по наиболее вероятным событиям.

Профилактические мероприятия должны

быть основаны на реализации мер, актуальных для обеспечения безопасности работников угольных предприятий. Данные меры необязательно должны соответствовать требованиям в области пожарной или промышленной безопасности. Основная задача - обеспечение безопасности работников и посетителей предприятий, а также населения, проживающего вблизи угольных объектов.

7. Негативные пожарные ситуации за рубежом

Рассмотрим зарубежный опыт по стабилизации обстановки с пожарами и их последствиями.

В России ежегодно гибнет на пожарах от 8 до 9 тысяч человек [9]. Проблема гибели лю-

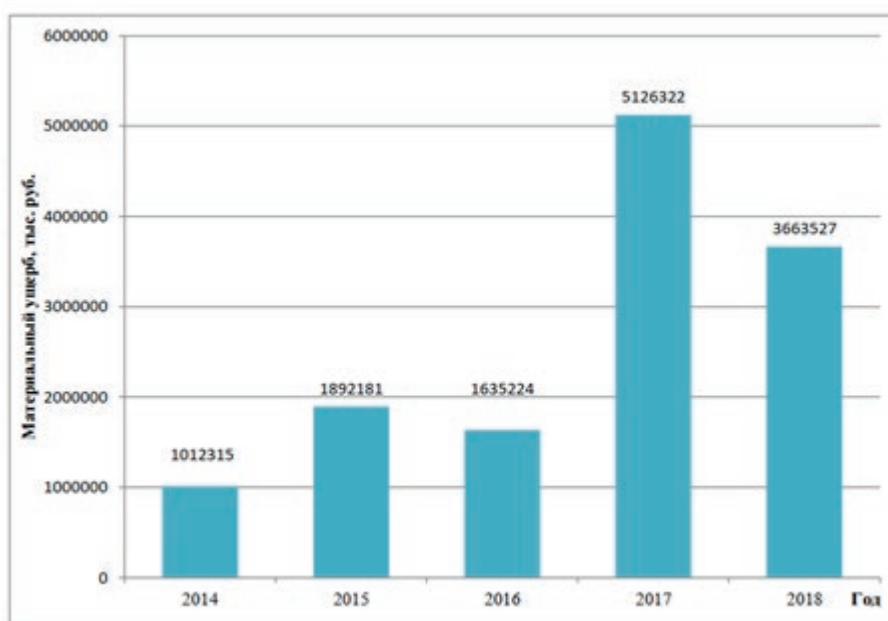


График 2. Прямой материальный ущерб от пожаров, тысяч руб.
 Graph 2 - Direct material damage from fires, thousand rubles

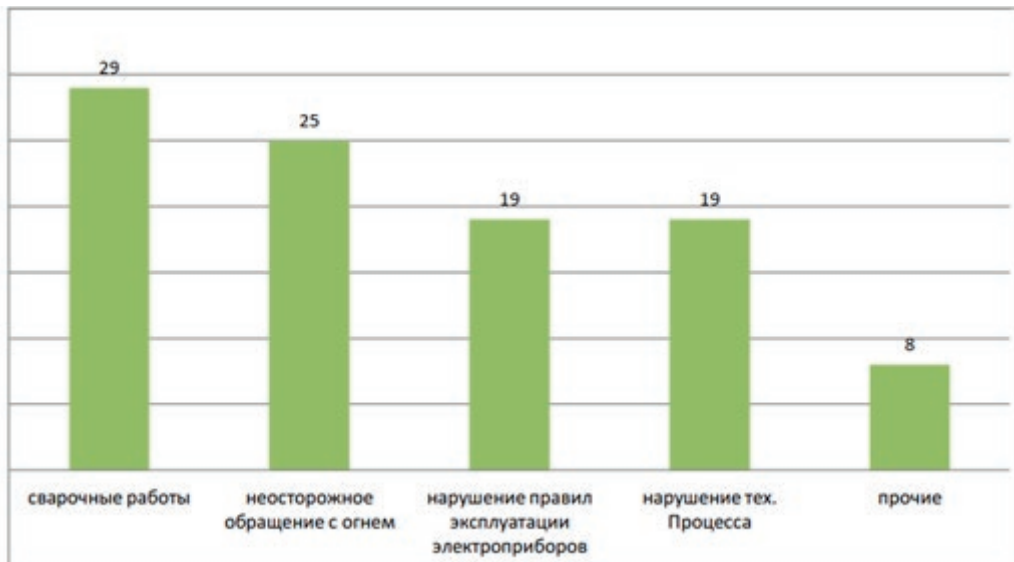


График 3. Основные причины пожаров на объектах обогащения и переработки полезных ископаемых
Graph 3 - Main causes of fires at the facilities of mineral washing and processing

дей на пожарах актуальна, в том числе для зарубежных стран [10, 11]. К примеру, в Соединенных Штатах Америки в настоящее время гибнет людей почти в 3 раза меньше, чем в Российской Федерации, но так было не всегда. Согласно докладу национальной комиссии по предупреждению и борьбе с пожарами в Америке с 1973 года ежегодно гибель на пожарах достигала порядка 12 тысяч человек [12, 13]. В результате рассмотрения проблемы было принято решение о создании федерального агентства по борьбе с пожарами [14]. В 1974-м году принят Федеральный закон о предупреждении и борьбе с пожарами [15]. Также создана национальная администрация и национальная академия по предупреждению и борьбе с пожарами [16].

Созданными органами решен ряд про-

блем, которые актуальны и для России:

- безразличие населения к проблеме;
- недостаточность проведенных исследований и разработок;
- низкая надёжность данных (статических сведений);
- недостаточное внимание противопожарным системам проектировщиками и собственниками объектов;
- состояние противопожарных норм (значительное их количество с низкоэффективными мероприятиями);
- расходование 95 % средств на тушение пожаров и только 5 % на предупреждение.

В результате решения данных проблем количество погибших на пожарах в Соединённых Штатах Америки уменьшилась почти в четыре

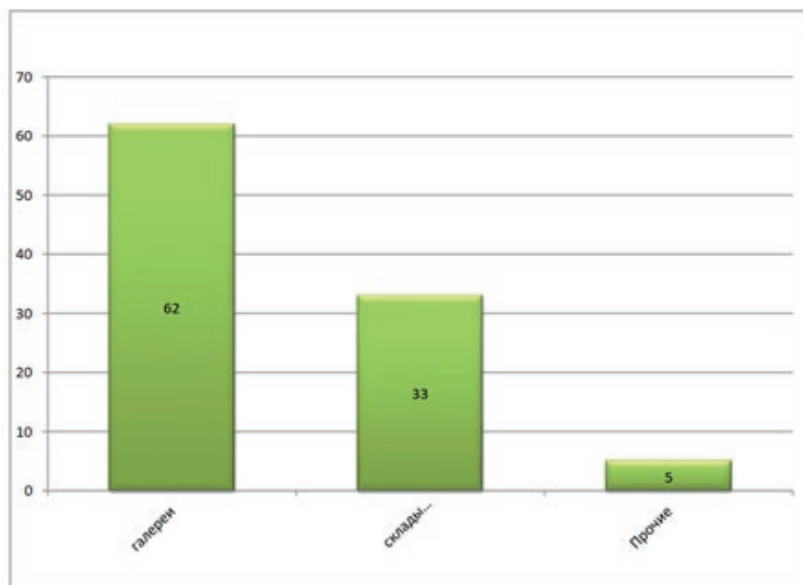


График 4. Распределение пожаров и загораний по местам возникновения
Graph 4 - Distribution of fires and ignitions by places of occurrence

раза.

Согласно сведениям американской пожарной администрации в 2018-м году более 379 тысяч пожаров произошло в жилье, 103 тысячи пожаров в нежилых зданиях и сооружениях. 50,7 % пожаров в жилье произошло при приготовлении пищи, 9,4 % при эксплуатации отопительных систем и приборов, 7,5 % при неосторожном обращении с огнём и 6,8% в результате неисправностей систем электрооборудования [17].

Данные статистические показатели указывают на личную заинтересованность американцев по обеспечению пожарной безопасности своего жилья и высокую надёжность (исправность) печного и электрического оборудования.

8. Апробация предлагаемой методики на существующем угольном регионе - Кузбассе

Рассмотрим практическую значимость предлагаемой методики оценки и прогнозирования негативных ситуаций, связанных с пожарами.

В настоящее время угольные предприятия (шахты, разрезы, ЦОФ, ГОФ, ОФ), функционируют с общим режимом работы и непрерывным процессом производства добычи, распределения, переработки и обогащения угля.

Статистика показывает, что на объектах переработки и обогащения полезных ископаемых в год происходит в среднем 140 аварий, которые приносят значительные материальные потери.

Объекты переработки и обогащения полезных ископаемых представляют собой значительную пожарную опасность, из-за сложности тушения пожаров на них (большая площадь, горячая загрузка, возможность взрыва и т.п.), что является подтверждением необходимости предупреждения пожаров на объектах данной категории.

Так, только в 2018 году на рассматриваемых объектах произошло 11 пожаров и загораний со значительным материальным ущербом (графики 1, 2) [18]. Основные причины данных пожаров следующие:

- неосторожное обращение с огнем;
- нарушение правил устройства и эксплуатации электрооборудования и электроприборов.

Статистические сведения на объектах добычи и обогащения полезных ископаемых по местам возникновения пожаров распределяются следующим образом:

- в галереях произошло 62 %;
- на складах готовой продукции 33 %;
- на подстанциях 5 %.

В свою очередь 25% пожаров допущено в складах топлива и топливоподачи, в галереях 43%, при загораниях в электрических машинах (генераторы, гидрогенераторы, синхронные компенсаторы) 16 %, кабельных сооружениях 9%, в прочих сооружениях 7%.

Основной причиной возникновения пожаров является человеческий фактор (77%). При проведении сварочных и огневых работ произошло 29% пожаров, при неосторожном обращении с огнем 25%, 19% пожаров произошло в результате нарушений правил эксплуатации электрооборудования, 19% из-за нарушений в технологических процессах, 8% - прочие причины (график 3).

На объектах обогащения и переработки полезных ископаемых расположено значительное количество различных взрывоопасных, пожароопасных и горючих материалов, жидкостей и газов.

Основным местом хранения горючей нагрузки являются склады готовой продукции и галереи. Поэтому в галереях возникает 62% пожаров, на складах готовой продукции 33% загораний (график 4).

Уголь, угольная пыль и метан увеличивают риск возгорания, который возрастает из-за заклинивания конвейеров или от короткого замыкания электрооборудования.

Проведем анализ аварийности угольных предприятий в России без учета загораний, связанных с отсутствием материального ущерба (таблицы 1, 2).

По данным аварийности на шахтах России с 2008-го по 2017-й годы видно, что из существующих аварий (пожары, взрывы, вспышки, обрушения и прочие) ежегодно более 50% занимают пожары.

Рассмотрев долю поверхностных и подземных пожаров, определено, что в последние годы основная масса, более 50%, пожаров на шахтах России происходит на поверхности.

Количественные показатели свидетельствуют о необходимости рассмотрения негативных ситуаций, связанных с пожарами для поверхностного комплекса угледобывающих и углеперерабатывающих предприятий [19].

В связи с тем, что статистические данные по пожарам на угольных объектах ограничены и заключаются в общих показателях, по которым возможно определить актуальность рассмотрения пожаробезопасности поверхностного комплекса, необходимо развитие государственного статистического учёта пожаров в угольной промышленности [20].

Ежегодные отчеты о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору размещаются на официальном сайте Ростехнадзора со значительным запаздыванием до 2-х летнего периода и не раскрывают подробные статистические сведения по пожарам на угольных предприятиях России [21]. В данных отчетах приведены аварии, в том числе пожары на предприятиях угольной промышленности исключительно со смертельным исходом. Так, в последнем ежегодном отчете о деятельности Ростехнадзора за 2018 год указано, что из 5 аварий со смертельным исходом, произошедших на угольных предприятиях, 4 аварии произошло в результате возникновения пожаров и 1 по причине угольного обрушения [22].

С учётом невозможности проведения анализа из-за отсутствия статистических данных апробируем предлагаемую методику на реально существующем субъекте Российской Федерации – Кузбассе, лидирующего в России по угледобыче и переработке угля.

Согласно статистическим сведениям, применяемым при разработке программ профилактики нарушений, на территории Кузбасса в 2019 году проживало 2674256 человек ($N_{нас.}$). За 2019 год на пожарах погибло 189 человек ($N_{гиб.}$). В зимний период времени, с октября по март, погибло 125 человек ($N_{гиб.период}$), из них 91 человек в муниципальных районах и округах (проживает 564937 человек).

Из 189 погибших 176 в жилье ($N_{гиб.объект}$), 74

человека погибло в жилых комнатах ($N_{гиб.место}$). 64 пенсионера ($N_{гиб.занят.}$), 120 мужчин ($N_{гиб.пол}$). Наибольшая гибель людей в возрасте от 41 года до 60 лет составляет 60 человек ($R_{возраст}$). Максимальное количество погибших произошло по причине неосторожного обращения с огнем, в том числе при курении - 99 человек ($R_{причина}$) [23].

Для определения величины достоверности, к примеру, рассмотрим риск наступления неблагоприятного события, связанного с гибелью населения при пожарах, проживающего в муниципальных районах и округах ($R_{прож.}$). Данный риск является отношением гибели людей при наступлении рассматриваемого события ($N_{гиб.}$, чел.) к количеству проживающего населения ($N_{нас.}$, чел.), что можно представить в виде следующей математической зависимости:

$$R_{прож.} = \frac{N_{гиб.}}{N_{нас.}} = \frac{91}{564937} = 1,6 \cdot 10^{-4} \quad (6)$$

Согласно данной зависимости построим график изменения риска гибели населения в муниципальных районах и округах Кемеровской области – Кузбасса с 2010 по 2019 годы с последующим построением полиномиальной функции и определением величины ее достоверности (график 5).

По аналогии рассчитаем риск гибели людей при пожаре в зависимости от временного периода ($R_{период}$). Данный риск является отношением погибших в рассматриваемый период ($N_{гиб.период}$, чел) к количеству погибших в течение года ($N_{гиб.год}$, чел).

$$R_{период} = \frac{N_{гиб.период}}{N_{гиб.год}} = \frac{125}{189} = 0,66 \quad (7)$$

Таблица 1. Аварийность на шахтах России в 2005-2017 гг.
Table 1 - Accident rate of mines in Russia in 2005-2017

Год	Виды аварий и инцидентов					
	Всего аварий	Пожары	Взрывы, вспышки газа и пыли	Внезапные выбросы, горные удары	Обрушения	Прочие подземные аварии
2005	81	35	6	2	18	20
2006	75	32	5	1	20	17
2007	83	32	9	0	20	22
2008	49	29	2	0	9	9
2009	50	14	5	1	18	12
2010	52	26	5	0	13	8
2011	38	20	3	2	8	5
2012	29	15	4	1	4	5
2013	37	21	3	0	9	4
2014	28	17	4	0	4	3
2015	27	18	1	0	6	2
2016	20	12	1	0	4	3
2017	34	17	1	1	7	8

Рассмотрим риск гибели людей при пожаре на объекте, в котором оказался погибший ($R_{\text{объект}}$). Данный риск является отношением количества погибших на пожаре в рассматриваемом объекте ($N_{\text{гиб.объект}}$, чел.) к количеству погибших в течение года ($N_{\text{гиб.год}}$, чел.).

$$R_{\text{объект}} = \frac{N_{\text{гиб.объект}}}{N_{\text{гиб.год}}} = \frac{176}{189} = 0,93 \quad (8)$$

Риском гибели людей при пожаре в зависимости от места нахождения погибшего на объекте ($R_{\text{место}}$) является отношение количества погибших на пожаре в рассматриваемом месте или помещений ($N_{\text{гиб.место}}$, чел.) к количеству погибших в течение года ($N_{\text{гиб.год}}$, чел.).

$$R_{\text{место}} = \frac{N_{\text{гиб.место}}}{N_{\text{гиб.год}}} = \frac{74}{189} = 0,39 \quad (9)$$

Риском гибели людей при пожаре в зависимости от рода занятий населения ($R_{\text{занят.}}$) явля-

ется отношением количества погибших рассматриваемого занятого населения ($N_{\text{гиб.занят.}}$, чел.) к количеству погибших в течение года ($N_{\text{гиб.год}}$, чел.).

$$R_{\text{занят.}} = \frac{N_{\text{гиб.занят.}}}{N_{\text{гиб.год}}} = \frac{64}{189} = 0,34 \quad (10)$$

Далее рассчитаем риски для групп населения по полу, возрасту и причинам гибели.

$$R_{\text{пол}} = \frac{N_{\text{гиб.пол}}}{N_{\text{гиб.год}}} = \frac{120}{189} = 0,63$$

$$R_{\text{возраст}} = \frac{N_{\text{гиб.возраст}}}{N_{\text{гиб.год}}} = \frac{60}{189} = 0,32 \quad (11)$$

$$R_{\text{причина}} = \frac{N_{\text{гиб.причина}}}{N_{\text{гиб.год}}} = \frac{99}{189} = 0,52$$

Определим средний риск всех рассматриваемых неблагоприятных событий (R_{Σ}).

$$R_{\Sigma} = \frac{\sum R_i}{\sum R} = \frac{3,79}{8} = 0,47 \quad (12)$$

где $\sum R$ – количество рассматриваемых неблаго-

Таблица 2. Пожары на шахтах России в 2005-2017 гг.
Table 2 - Fires in the mines of Russia in 2005-2017

Год	Вид пожара						
	Всего пожаров	Пожары подземные эндогенные		Пожары подземные экзогенные		Пожары на поверхности	
		Всего	Доля от всех пожаров, %	Всего	Доля от всех пожаров, %	Всего	Доля от всех пожаров, %
2005	35	3	8,6	18	51,4	14	40
2006	32	5	15,7	13	40,6	14	43,7
2007	32	5	15,7	12	37,5	15	46,8
2008	29	4	13,8	8	27,6	17	58,6
2009	14	2	14,3	5	35,7	7	50,0
2010	26	5	19,2	14	53,8	7	27,0
2011	20	9	45,0	2	10,0	9	45,0
2012	15	3	20,0	6	40,0	6	40,0
2013	21	6	28,6	11	52,4	4	19,0
2014	17	4	23,5	5	29,4	8	47,1
2015	18	7	38,9	7	38,9	4	22,2
2016	12	0	0,0	5	41,6	7	58,4
2017	17	2	11,8	5	29,4	10	58,8

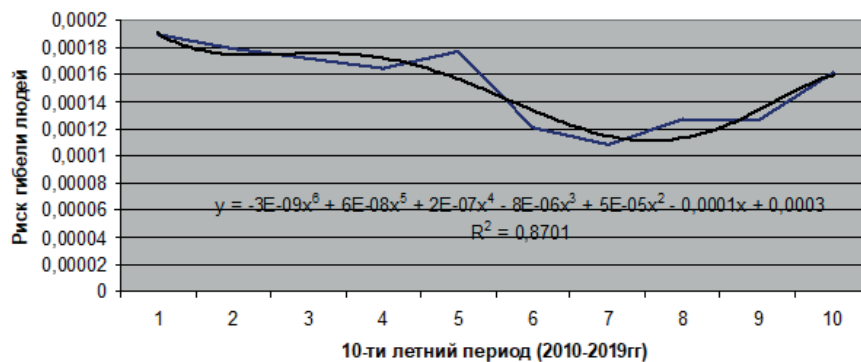


График 5. Вероятность гибели людей в муниципальных районах и округах Кузбасса
Graph 5 - Probability of death in municipal districts and areas of Kuzbass

Таблица 3. Ранжирование расчетных значений рисков гибели людей на пожарах в Кемеровской области – Кузбассе
 Table 3 - Calculated value ranking of people death risks in fires in the Kemerovo region – Kuzbass

Риск гибели людей по наиболее неблагоприятным событиям	2010		2011		2012		2013		2014		2015		2016		2017		2018		2019		2020		Доверительность, R2
	Риск	Ранг опасности	Риск	Ранг опасности	Риск	Ранг опасности	Риск	Ранг опасности	Риск	Ранг опасности	Риск	Ранг опасности	Риск	Ранг опасности	Риск	Ранг опасности	Риск	Ранг опасности	Риск (предположительно)	Ранг опасности (предположительно)			
R _{прож.} (мун. р-н, округ)	2,0·10 ⁻⁴	7	1,8·10 ⁻⁴	8	1,7·10 ⁻⁴	8	1,6·10 ⁻⁴	8	1,8·10 ⁻⁴	7	1,2·10 ⁻⁴	7	1,1·10 ⁻⁴	8	1,3·10 ⁻⁴	8	1,3·10 ⁻⁴	8	1,6·10 ⁻⁴	8	1,2·10 ⁻⁴	8	0,87
R _{период (зима)}	0,71	2	0,68	3	0,69	4	0,65	4	0,67	3	0,72	2	0,66	3	0,72	2	0,74	1	0,66	2	0,70	1	0,61
R _{объект (частное жилье)}	0,76	1	0,70	2	0,76	1	0,77	1	0,82	1	0,72	2	0,77	1	0,80	1	0,63	2	0,93	1	0,68	2	0,82
R _{место (жилая комната)}	0,64	4	0,58	5	0,56	5	0,55	5	0,56	4	0,51	4	0,52	5	0,45	5	0,40	5	0,39	5	0,33	5	0,99
R _{занят. (пенсия)}	0,33	6	0,32	7	0,30	7	0,31	7	0,32	6	0,33	6	0,35	7	0,41	6	0,29	7	0,34	6	0,34	3	0,61
R _{пол (мужчина)}	0,66	3	0,72	1	0,70	3	0,72	2	0,68	2	0,67	3	0,69	2	0,68	4	0,54	3	0,63	3	0,59	7	0,90
R _{возраст (41-60 лет)}	0,46	5	0,46	6	0,44	6	0,42	6	0,41	5	0,48	5	0,37	6	0,40	7	0,31	6	0,32	7	0,29	7	0,83
R _{причина (НУСО, в том числе курение)}	0,64	4	0,67	4	0,71	2	0,69	3	0,68	2	0,73	1	0		0,70	3	0,53	4	0,52	4	0,55	4	0,82
RΣ	0,53		0,52		0,52		0,52		0,52		0,52		0,50		0,52		0,43		0,47		0,43		0,83

приятных событий.

Проведем аналогичные расчеты рисков гибели людей при пожарах с выводом величин достоверностей, по рассматриваемым неблагоприятным событиям, возникшим за последние 10 лет. Полученные значения приведем в следующей табличной форме 3.

По проведенному анализу причин и условий гибели людей от пожаров в Кемеровской области – Кузбассе – определены неблагоприятные события. По данным событиям рассчитаны риски, для которых установлено ранжирование.

Ранжирование расчётных значений рисков гибели людей позволяет разработать дополнительные противопожарные мероприятия с возможностью перераспределения социально-экономических ресурсов, учитывая риски возникновения негативных ситуаций ($R_{\text{нег.}}$) и величин их достоверности (R^2).

Заключение

Предлагаемая методика оценки и прогнозирования возникновения негативных ситуаций, связанных с пожарами на угледобывающих и углеперерабатывающих предприятиях, позволила разработать дифференциальные уравнения. С помощью уровней опасности описываются в виде социальных и экономических рисков.

Так как предлагаемая методика оценки основана на относительных показателях (количе-

ство работников предприятия, количество объектов защиты), появляется возможность расчёта рисков и построение полиномиальных уравнений с определением величины достоверности аппроксимации. Данная величина достоверности определяет степень вероятности наступления негативных событий в будущем.

Методика имеет высокую практическую значимость, так как у собственников угольных предприятий и ответственных за пожарную безопасность появилась возможность перераспределения ресурсов на реализацию мероприятий с учётом рисков возникновения негативных ситуаций. Возможна оценка возникновения негативных событий и принятие мер по их предупреждению с учётом социально – экономической целесообразности.

Методика отвечает современным требованиям, разработанным с учётом управления пожарными рисками и конституционных положений Российской Федерации, в части того, что каждый имеет право распоряжаться своим имуществом, в том числе и рисковать им [6, 7].

Впоследствии при развитии данной методики исследователи смогут модернизировать дифференциальные уравнения, дополняя их параметрами, влияющими на социально-экономические риски, возникающие при негативных ситуациях, связанных с пожарами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гнеденко Б.В. Курс теории вероятности. – М., – 2007. – 42 с.
2. Дж. Себер. Линейный регрессионный анализ. – М.: Мир, 1980. – 456 с.
3. Ершов Э.Б. Распространение коэффициента детерминации на общий случай линейной регрессии, оцениваемой с помощью различных версий метода наименьших квадратов (рус., англ.) // ЦЭМИ РАН Экономика и математические методы. – Москва: ЦЭМИ РАН, 2002. – Т. 38, вып. 3. – С. 107-120.
4. Лоран, П. Ж. Аппроксимация и оптимизация. – М.: Мир, 1975. – С. 496.
5. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности Российская Федерация [Электронный ресурс]: Федеральный закон РФ от 22.07.2008 № 123 (ред. от 27.12.2018). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_78699/ (дата обращения: 05.11.2020).
6. Конституция Российской Федерации [Электронный ресурс]: URL: <https://base.garant.ru/10103000/> (дата обращения: 05.11.2020).
7. О техническом регулировании [Электронный ресурс]: Федеральный закон РФ от 27.12.2002 № 184-ФЗ (ред. от 28.11.2018). URL: <https://base.garant.ru/12129354/> (дата обращения: 05.11.2020).
8. О стандартизации в Российской Федерации [Электронный ресурс]: Федеральный закон РФ от 29.06.2015 № 162-ФЗ (ред. от 03.07.2016). URL: <https://base.garant.ru/71108018/> (дата обращения: 05.11.2020).
9. Сайт технической поддержки [Электронный ресурс]. URL: <https://sites.google.com/site/pojstat/statistika-pozarov-illustraciah/statsbornik> (дата обращения: 05.11.2020).
10. World Fire Statistics. International association of fire and rescue services №22 – 2017.
11. Moshashaei P., Alizadeh S.S. Fire Risk Assessment: A Systematic Review of the Methodology and Functional Areas// Iranian Journal of Health, Safety & Environment. – 2016. – Vol. 4. – № 1. – P. 654-669.
12. «National fire prevention and control administration». Omeka.net. Retrieved 25 June 2016.
13. «America Burning: The Report of The National Commission on Fire Prevention and Control» (PDF). U.S. Fire Administration. Federal Emergency Management Agency. May 4, 1973. pp. 1-2. OCLC 23601256.
14. United States (1973). America Burning. U.S. Government Printing Office. Retrieved 25 June 2016.
15. Ford, Gerald R. (October 29, 1974). «Statement on Signing the Federal Fire Prevention and Control Act of 1974 - October 29, 1974». Internet Archive. Washington, D.C.: National Archives and Records Service. pp. 494-495.
16. «U.S. Fire Administration Organization». U.S. Fire Administration. Federal Emergency Management Agency. Archived from the original 2014-07-14. Retrieved 2014-06-08.
17. U.S. fire statistics [Электронный ресурс]: URL: <https://www.usfa.fema.gov/data/statistics/> (дата обращения: 05.11.2020).

18. Сведения о пожарах и их последствиях за 2014-2018 года [Электронный ресурс] // ФГБУ ВНИИПО МЧС России [Офиц. Сайт]. - URL: http://www.vniipo.ru/ufiles/ufiles/Reestry/Sbornik-2018_pogary.pdf. (дата обращения: 05.11.2020).
19. Портола В.А., Игишев В.Г., Син С.А., Овчинников А.Е. Анализ аварийности и пожароопасности угольных шахт // Вестник Пожарная и промышленная безопасность. №4-2018. – С. 36-42.
20. Об утверждении Порядка учета пожаров и их последствий [Электронный ресурс]: Приказ МЧС России от 21.11.2008 № 714 (ред. от 08.10.2018). URL: <https://base.garant.ru/194531/> (дата обращения: 05.11.2020).
21. Ежегодные отчеты о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору [Электронный ресурс]: URL: http://gosnadzor.gov.ru/public/annual_reports/ (дата обращения: 05.11.2020).
22. Отчет о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2018 году [Электронный ресурс]: URL: http://gosnadzor.gov.ru/public/annual_reports/Годовой%20отчет%20за%202018%20год.pdf (дата обращения: 05.11.2020).
23. Программа по профилактике нарушений на 2020 год [Электронный ресурс]: URL: <https://42.mchs.gov.ru/deyatelnost/profilakticheskaya-rabota-i-nadzornaya-deyatelnost/9-programma-po-profilaktike-narusheniy-obyazatelnyh-trebovaniy/programma-po-profilaktike-narusheniy-na-2020-god> (дата обращения: 05.11.2020).

REFERENCES

1. Gnedenko, B.V. (2007). Kurs teorii veroiatnosti [Probability theory course]. Moscow [in Russian].
2. Seber, D. (1980). Lineynyy regressionnyy analiz [Linear regression analysis]. Moscow: Mir [in Russian].
3. Yershov, E.B. (2002). Rasprostraneniye koeffitsiyenta determinatsii na obshchiy sluchay lineynoy regressii, otsenivayemoy s pomoshch'yu razlichnykh versiy metoda naimen'shikh kvadratov [Application of determination coefficient to the general case of linear regression, estimated using different versions of the least squares method]. *Ekonomika i matematicheskiye metody - Economics and Mathematical Methods*, V. 38, 3, 107-120. Moscow: CEMI RAS [in Russian].
4. Loran, P.Zh. (1975). Approksimatsiya i optimizatsiya [Approximation and optimization]. Moscow: Mir [in Russian].
5. Tekhnicheskiy reglament o trebovaniyakh pozharnoy bezopasnosti Rossiyskaya Federatsiya [Technical regulations on fire safety requirements Russian Federation]. Retrieved from: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_78699/ [in Russian].
6. Konstitutsiya Rossiyskoy Federatsii [Constitution of the Russian Federation]. Retrieved from: <https://base.garant.ru/10103000/> [in Russian].
7. O tekhnicheskom regulirovaniy : Federal'nyy zakon RF ot 27.12.2002 № 184-FZ (red. ot 28.11.2018) [On technical regulation : Federal Law of the Russian Federation of December 27, 2002 No. 184-FZ (as amended on November 28, 2018)]. Retrieved from: <https://base.garant.ru/12129354/> [in Russian].
8. O standartizatsii v Rossiyskoy Federatsii: Federal'nyy zakon RF ot 29.06.2015 № 162-FZ (red. ot 03.07.2016) [On standardization in the Russian Federation: Federal Law of the Russian Federation of June 29, 2015 No. 162-FZ (as amended on 07/03/2016)]. Retrieved from: <https://base.garant.ru/71108018/> [in Russian].
9. Sayt tekhnicheskoy podderzhki [Technical support website]. Retrieved from: <https://sites.google.com/site/pojstat/statistika-pozarov-v-illustraciakh/statsbornik> [in Russian].
10. World Fire Statistics. International association of fire and rescue services №22 – 2017 [in English].
11. Moshashaei P., Alizadeh S.S. Fire Risk Assessment: A Systematic Review of the Methodology and Functional Areas// *Iranian Journal of Health, Safety & Environment*. – 2016. – Vol. 4. – № 1. – P. 654-669 [in English].
12. «National fire prevention and control administration». Omeka.net. Retrieved 25 June 2016 [in English].
13. «America Burning: The Report of The National Commission on Fire Prevention and Control» (PDF). U.S. Fire Administration. Federal Emergency Management Agency. May 4, 1973. pp. 1-2. OCLC 23601256 [in English].
14. United States (1973). *America Burning*. U.S. Government Printing Office. Retrieved 25 June 2016 [in English].
15. Ford, Gerald R. (October 29, 1974). «Statement on Signing the Federal Fire Prevention and Control Act of 1974 - October 29, 1974». Internet Archive. Washington, D.C.: National Archives and Records Service. pp. 494-495 [in English].
16. «U.S. Fire Administration Organization». U.S. Fire Administration. Federal Emergency Management Agency. Archived from the original 2014-07-14. Retrieved 2014-06-08 [in English].
17. U.S. fire statistics. Retrieved from: <https://www.usfa.fema.gov/data/statistics/> [in English].
18. Svedeniya o pozharakh i ikh posledstviyakh za 2014-2018 goda [Information on fires and their consequences for 2014-2018]. FGBU VNIPO. Retrieved from: http://www.vniipo.ru/ufiles/ufiles/Reestry/Sbornik-2018_pogary.pdf. [in Russian].
19. Portola, V.A., Igishev, V.G., Sin, S.A & Ovchinnikov, A.Ye. (2018). Analiz avariynosti i pozharoопасности ugol'nykh shakht [Analysis of accident rate and fire hazard of coal mines]. *Vestnik Pozharnaya i promyshlennaya bezopasnost' - Fire and industrial safety bulletin*, 4, 36-42 [in Russian].
20. Ob utverzhenii Poryadka ucheta pozharov i ikh posledstviy: Prikaz MCHS Rossii ot 21.11.2008 № 714 (red. ot 08.10.2018) [On the approval of the Procedure for fires and their consequences accounting: Order of the Ministry of Emergency Situations of Russia dated November 21, 2008 No. 714 (as amended on October 8, 2018)]. Retrieved from: <https://base.garant.ru/194531/> [in Russian].
21. Yezhegodnyye otchety o deyatelnosti Federal'noy sluzhby po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru [Annual reports on the activities of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision]. Retrieved from: http://gosnadzor.gov.ru/public/annual_reports/ [in Russian].
22. Otchet o deyatelnosti Federal'noy sluzhby po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru v 2018 godu [Report on the activities of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision in 2018]. Retrieved from: http://gosnadzor.gov.ru/public/annual_reports/ [in Russian].
23. Programma po profilaktike narusheniy na 2020 god [Violation Prevention Program 2020]. Retrieved from: <https://42.mchs.gov.ru/deyatelnost/profilakticheskaya-rabota-i-nadzornaya-deyatelnost/9-programma-po-profilaktike-narusheniy-obyazatelnyh-trebovaniy/programma-po-profilaktike-narusheniy-na-2020-god> [in Russian].



А.С. Голик // A.S.Golik

доктор техн. наук, профессор, академик АГН, МАНЭБ, президент Регионального Сибирского отделения МАНЭБ
 doctor of technical sciences, professor, academician of AGN, MANEB, President Of the regional Siberian branch of MANEB



В.Б. Попов // V.B. Popov

доктор техн. наук, профессор, академик АГН, МАНЭБ, президент Регионального Сибирского отделения МАНЭБ
 doctor of technical sciences, professor, academician of AGN, MANEB, President Of the regional Siberian branch of MANEB



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

канд. техн. наук, академик МАНЭБ, генеральный директор ООО "НИИ Горного Дела", 650002, Россия, г. Кемерово, Сосновый бульвар, 1
 candidate of technical sciences, academician of MANEB, general director of LLC "Research Institute of Mining", 650002, Russia, Kemerovo, Sosnovy Boulevard, 1



**В.В. Кинзаков//
 V.V. Kinzakov**

член корреспондент МАНЭБ
 corresponding member of MANEB

УДК 622.831.322

ОЦЕНКА НЕГАТИВНОГО ВЛИЯНИЯ ВЕДЕНИЯ ПОИСКОВЫХ РАБОТ И РАЗРАБОТКИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ НА ЭКОЛОГИЮ ДОЛИНЫ РЕКИ УСА И ЕЕ ПРИТОКОВ

ASSESSMENT OF THE NEGATIVE IMPACT OF PROSPECTING AND MINING ON THE ECOLOGY OF THE USA RIVER VALLEY AND ITS TRIBUTARIES

Статья посвящена проведению анализа и оценки экологической ситуации от проведения изыскательских и добычных работ на участке недр «Кибрас», расположенного в южной части хребта Кузнецкий Алатау на территории Междуреченского городского округа Кемеровской области - Кузбасса. Подобная оценка негативных последствий хозяйственной деятельности на состояние фауны и флоры и, в частности, водные биологические ресурсы и среду их обитания, включая водоохранные и рыбоохранные зоны, должна быть в проектных работах в разделах ООС у пользователей, осуществляющих: - забор воды из поверхностных водных объектов; - сброс сточных вод в поверхностные водные объекты; - проведение любых работ в прибрежной и водоохраной зоне, а также на водосборной площади (добычные работы, работы по строительству мостов, дамб, трубопроводов и т.д., работы по расчистке русел рек и их водоохраных зон).

The article is devoted to the analysis and assessment of the environmental situation from exploration and mining operations at the "Kibras" subsurface area located in the southern part of the Kuznetsky Alatau ridge on the territory of the Mezhdurechensk city district of the Kemerovo region - Kuzbass. This assessment of the negative effects of economic activities on the state of fauna and flora and, in particular, of aquatic biological resources and their habitats, including water protection and conservation areas should be in the project works in sections of OOS users responsible for: - water intake from surface water bodies; - discharge of wastewater into surface water bodies; - carrying out any work in the coastal and water protection zone, as well as in the catchment area (mining operations, construction of bridges, dams, pipelines, etc., work on clearing riverbeds and their water protection zones).

Ключевые слова: ЭКОЛОГИЯ, ФЛОРА, ФАУНА, ОБЪЕКТ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ, УЧАСТОК НЕДР, ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ, РАЗВЕДОЧНЫЕ И ДОБЫЧНЫЕ РАБОТЫ, ОЦЕНКА ПОСЛЕДСТВИЙ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ.

Key words: ECOLOGY, FLORA, FAUNA, OBJECT OF ECONOMIC ACTIVITY, HYDROLOGICAL SITUATION, SUBSURFACE AREA, MINERALS, EXPLORATION AND MINING OPERATIONS, ASSESSMENT OF THE CONSEQUENCES OF ECONOMIC ACTIVITY.

Кемеровская область – Кузбасс является одним из богатейших регионов Российской Федерации по запасам полезных ископаемых, главным образом, угля, железной руды, а также марганца, золота и других ценных для хозяйственной деятельности страны минералов. История геологических исследований бассейна, насчитывает более 100 лет. Началом этой деятельности можно считать 1896г., когда геологами-исследователями Зайцевым А.М. и Реутовым В.С. была составлена первая геологическая карта, охватывающая площадь этой территории. В дальнейшем поисково-разведочные работы в бассейне ведутся с небольшими перерывами вплоть до настоящего времени. Однако процесс освоения месторождений и их разработки сопровождается кардинальным ухудшением экологического состояния окружающей среды. Принятие своевременных и эффективных мер по минимизации наносимого природе ущерба возможно только на основе оценки негативно воздействующих на флору и фауну факторов и ведении надлежащего контроля.

Авторами на примере освоения участка недр «Кибрас», расположенного в южной части хребта Кузнецкий Алатау в границах Междуреченского городского округа, на основании проведенного анализа и систематизации результатов, выполненных на данный момент исследований, разработаны рекомендации по оценке ущерба, наносимого водным биологическим ресурсам и среде их обитания данного участка. Их основные положения можно распространить на решение других задач в общей проблеме обеспечения экологической безопасности.

Участок недр «Кибрас» охватывает долины рек Уса (от устья ручья Березовский вниз по течению на протяжении 4 км), белая Уса (от устья вверх по течению до границы заповедника Кузнецкий Алатау), Нижний Кибрас от устья до ее истоков. Главной причиной столь пристального к нему внимания, явилось, в первую очередь, открытие Усинского месторождения марганца, которое по запасам руд является самым крупным на территории России. Детально разведано месторождение было в 1950-1955 годах.

В результате разведочных работ были подсчитаны и утверждены ГКЗ балансовые запасы, которые составили 98516 тыс. т. С прошлого века велась работа по добыче золота, а, примерно, в 1948-1950гг. Усинской партией конторы «Запсибзолоторазведка» были открыты новые золотоносные россыпи по ручьям. Шатай и Надежному (Тихонькому). Таким образом, на участ-

ке открылись перспективы по дальнейшему его освоению для ведения разработок марганца и продолжению добычи золота. Однако наряду с внесением весомого вклада в повышение промышленно-хозяйственного потенциала страны эта деятельность обусловит неблагоприятную экологическую ситуацию.

Возникла необходимость в разработке изложенных ниже основных положений по оценке возможного экологического ущерба от работы горнодобывающих структур на указанной площади.

В 2010г. были начаты подготовительные работы по разработке Усинского марганцевого месторождения, расположенного в правобережье р. Уса в 2,5 км выше устья Белая Уса, включающие поиск и оценку запасов полезных ископаемых посредством бурения скважин, отбора и разделки керновых проб.

Для выполнения геологического задания в полном объеме, предусматривается выполнение комплекса сопутствующих бурению работ (топографических, опробовательских, лабораторных и др.).

Согласно постановлению Правительства РФ от 29.04.2013 № 380 «Об утверждении Положения о мерах по сохранению имеющих место экологических условий...» при территориальном планировании, градостроительном зонировании, планировке территории, архитектурно-строительном проектировании, строительстве, реконструкции, капитальном ремонте объектов капитального строительства, внедрении новых технологических процессов и осуществлении иной деятельности должны предусматриваться меры по сохранению экологии разрабатываемой площади земной поверхности.

Пунктом 2 Постановления указано, что к мерам по ее сохранению в числе прочих относится проведение оценки воздействия планируемой деятельности на окружающую среду.

В зависимости от факторов воздействия условно его можно разделить на 2 вида:

- прямое воздействие на экологическую обстановку;
- косвенное (опосредованное) воздействие.

Одним из основных показателей благополучия экологической обстановки для таких природных объектов как участок недр «Кибрас» является сохранение водных биологических ресурсов, в связи с чем в настоящей работе основное внимание уделено именно этому вопросу - разработке предложений и рекомендаций по оценке воздействия на водные биоресурсы

(ВБР) и среду их обитания планируемой производственной деятельности.

Согласно ФЗ от 20.12.2004 № 166 «О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов», к ВБР относятся рыбы, водные беспозвоночные, водные млекопитающие, водоросли, другие водные животные и растения, находящиеся в состоянии естественной свободы.

Прямым воздействием на них является непосредственное соприкосновение с производственными факторами, вследствие чего возможна их гибель. В частности, к таким видам работ могут быть отнесены: разработка грунта в русле или пойме водного объекта, устройство отсыпных монтажных площадок в русле, забор воды из акватории водного объекта и др. При косвенном виде воздействия на ВБР происходит изменение свойств среды обитания ВБР.

К косвенным видам воздействия на водные биоресурсы относятся: изменение гидрологических или гидрохимических свойств водного объекта, нарушение водосборной площади, изменение объема воды, свойств донных грунтов, др. В большинстве случаев при косвенном воздействии происходит изменение состава и численности ВБР, но не исключается вероятность проявления случаев их гибели.

Неуправляемое хозяйствование в руслах и на пойме рек (добыча песчано-гравийных смесей, подрезка берегов и склонов, вырубка и сплав леса, работа золотодобывающих драг и прочее) активизировало процессы заиливания русла рек, их обмеление, уменьшение количества водных биоресурсов.

В соответствии с действующим законодательством, при проектировании и осуществлении работ по освоению территорий для промышленного использования должны разрабатываться и реализовываться мероприятия по максимальному предотвращению негативного воздействия на окружающую среду, водные биологические ресурсы, условия их обитания и воспроизводства.

Если эти мероприятия не позволяют избежать отрицательного влияния на экологические условия и полностью обеспечить сохранение и воспроизводство биоресурсов, производится оценка остаточного ущерба и разработка целевых компенсационных мер по сохранению и восстановлению запасов животных и растений.

Для проведения расчетов причиняемого ущерба разработаны с учетом требований действующих законодательных и нормативных документов [3] изложенные ниже рекомендации и предложения.

Источниками получения исходных данных о состоянии водных биоресурсов могут быть использованы научные публикации, фондовые материалы рыбохозяйственных организаций, результаты государственного мониторинга водных биоресурсов и среды их обитания, производственного экологического контроля, инженерных изысканий и других специальных исследований.

В случае недостаточности исходных данных о состоянии водных биологических ресурсов, их отдельных показателей малоизученного водного объекта требуемая информация заимствуется из ведущейся и архивно-производственной документации находящегося в эксплуатации аналогичного по определяющим факторам объекта.

Размер вреда определяется как гибель (потеря) определенного вида водных биологических ресурсов. Для последующего восстановления ущерба в качестве компенсирующего вида водных биологических ресурсов зачастую используются представители ихтиофауны. Поэтому расчет ущерба обычно выполняется как расчет потерь кормовой базы.

Определение потерь водных биоресурсов в результате сокращения (перераспределения) естественного стока с деформированной поверхности водосборного бассейна водного объекта (водных объектов) (N) рассчитывается по формуле:

$$N = P_{\text{во}} \times Q \quad (1)$$

где $P_{\text{во}}$ – удельная биопродуктивность объема водной массы, принята равной 0,15 кг/ тыс.м³;

Q – общее сокращение объема водного стока в процессе техногенного морфогенеза, являющееся суммой объемов безвозвратного водопотребления на технологические процессы, хозяйственно-бытовые нужды и пр. (Q_1) и сокращения объема стока с деформированной поверхности (Q_2), тыс. м³.

Потери водного стока на деформированной поверхности (Q_2) рассчитываются по формуле:

$$Q_2 = W \times K \times \theta \quad (2)$$

где W – объем стока с нарушаемой поверхности, тыс. м³;

K – коэффициент глубины временного воздействия ($K=0,3$) [2];

θ – величина повышающего коэффициента, учитывающего длительность негативного воздействия намечаемой деятельности и восстановления исходных характеристик водосборного бассейна, влияющих на водный сток с поверхности водосборного бассейна и биопродуктивность водных объектов в его пределах (определяется

согласно пункту 51 [3]).

Коэффициент θ определяется по формуле:

$$\theta = T + \sum K_{\sigma(t=i)} \quad (3)$$

где T – показатель длительности негативного воздействия, в долях года, принятого за единицу (тсут./365);

$K_{\sigma(t=i)}$ – коэффициент длительности восстановления теряемых водных биоресурсов.

Как правило, рост количественных показателей популяций (численности, биомассы) описывается логистическим уравнением. Кривая, соответствующая этому уравнению, имеет S-образный вид. Прямая линия, проходящая через начальную и конечную точки S-образной кривой, пересекает ее в середине. Следовательно, коэффициент на время восстановления потерь биоресурсов равен 0,5. Восстановительный период – 0,5i.

$K_{\sigma(t=i)} = 0,5i$. При этом i – время восстановления теряемых водных биоресурсов (в зоне производства работ), в годах.

Для определения объема стока (W) используется формула:

$$W = \frac{M \times F \times 31,536 \times 10^6}{10^3 \times 10^3} = M \times F \times 31,536 \quad (4)$$

где M – модуль стока, л/с*км²;

$31,536 \times 10^6$ – число секунд в году;

F – площадь нарушаемой поверхности водосборного бассейна, км²;

В качестве примера выполнен расчёт потерь водных биоресурсов в бассейне реки Уса.

Модуль поверхностного стока рек берущих свое начало с западных склонов Кузнецкого Алатау, к которым относится бассейн реки Уса на территории Междуреченского городского округа Кемеровской области составляет до 40 л/с*км² [2, 4].

Площадь нарушаемой поверхности водосборного бассейна при производстве поисковых работ – 29,7964 га (0,297964 км²).

Коэффициент глубины временного воздействия равен 0,3 [2];

Период негативного воздействия при проведении поисковых и заверочных работ 24 месяцев (732 дня) 4 (четыре) полевых сезона.

Период естественного лесовозобновления для восстановления водоохраных свойств почвы после прекращения негативного воздействия составляет 4 года [5].

Значение повышающего коэффициента, учитывающего длительность негативного воздействия, в результате сокращения (перераспределения) естественного стока с деформированной поверхности водосборного бассейна

водного объекта составит 4.

Следовательно:

$$\theta = 732/365 + 4 \times 0,5 = 4.$$

$$W = 40 \times 0,297964 \times 31,536 = 375,8637 \text{ тыс.м}^3. \quad (5)$$

$$Q_2 = 375,8637 \text{ тыс.м}^3 \times 0,3 \times 4 = 451,0364 \text{ тыс. м}^3;$$

$$N = 451,0364 \text{ тыс. м}^3 \times 0,15 \text{ кг/тыс. м}^3 = 67,655 \text{ кг}.$$

Таким образом, потери ихтиомассы в результате сокращения (перераспределения) естественного стока с деформированной поверхности водосборного бассейна реки Уса и ее правых и левых притоков составят 67,655 кг.

На основании оценки объемов ущерба, наносимого водным биоресурсам в натуральном выражении (как показателя снижения биопродуктивности водного объекта хозяйственного значения), установленных коэффициентов промышленного возврата и средней массы производителей (в случае искусственного воспроизводства) с учетом эффективности направленных на восстановление экоусловий мелиоративных работ определяются направления и натуральные показатели компенсационных мероприятий.

Определение потерь водных биоресурсов от гибели зообентоса при производстве работ в пойме рек Уса и Белая Уса производится по формуле:

$$N = B \cdot P/B \cdot S \cdot K_E \cdot \frac{K_3}{100} \cdot d \cdot \theta \cdot 10^{-3} \quad (6)$$

где N – величина вреда, кг;

B – биомасса кормовых организмов, г/м²;

S – площадь повреждения, м²;

P/B – коэффициент для перевода биомассы кормовых организмов в продукцию кормовых организмов;

K_E – коэффициент эффективности использования пищи на рост;

$K_E = 1/K_2$, где K_2 – кормовой коэффициент;

K_3 – коэффициент использования кормовой базы, %;

d – степень воздействия, или доля количества гибнущих организмов от общего их количества, в данном случае отношение величины теряемой биомассы к величине исходной биомассы (в долях единицы);

θ – величина повышающего коэффициента, учитывающего длительность негативного воздействия намечаемой деятельности и восстановления исходных характеристик водосборного бассейна, влияющих на водный сток с поверхности водосборного бассейна и рыбопродуктивность водных объектов в его пределах (определяется согласно пункту 51 настоящей Методики). 10^{-3} – множитель для перевода граммов в килограммы.

При расчетах использовались следующие показатели:

- площадь поймы реки Уса, подвергшейся воздействию 8113 м²;
- площадь поймы реки Уса, подвергшейся воздействию 273 м²;
- биомасса зообентоса равная 6,16 г/м²;
- 50% - выедаемость бентосных организмов рыбами;
- сезонный P/B -коэффициент, равный 5 – для зообентоса;
- кормовой коэффициент для перевода продукции бентоса в рыбопродукцию –6;
- величина повышающего коэффициента для реки Уса $\theta = 20/365 + 3 \times 0,5 = 1,555$;
- величина повышающего коэффициента

для реки Белая Уса $\theta = 0,65/365 + 3 \times 0,5 = 1,502$;

- степень воздействия, или доля количества гибнущих организмов от общего их количества, в данном случае отношение величины теряемой биомассы к величине исходной биомассы (в долях единицы) в данном случае d равен 1.

Итого потери ихтиофауны (N) от гибели зообентосав пойме реки Уса составят 33,028 кг. Итого потери ихтиофауны (N) от гибели зообентоса в пойме реки Белая Уса составят 1,074 кг.

Общая сумма наносимого ущерба водным биоресурсам составляет 101,757 кг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон "О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов" от 20.12.2004 N 166-ФЗ (последняя редакция). — Текст : электронный // КонсультантПЛЮС : [сайт]. — URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_50799/ (дата обращения: 18.12.2020).
2. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 15. Алтай и Западная Сибирь. Вып. 2. Средняя Обь. Л.: Гидрометеоиздат, 1972. 415 с.
3. Методика исчисления размера вреда, причиненного биологическим ресурсам», утверждена Приказом Федерального агентства по рыболовству от 25 ноября 2011 №1166. — Текст : электронный // Российская газета : [сайт]. — URL: <https://rg.ru/2012/03/06/vred-bioresursy-site-dok.html> (дата обращения: 18.12.2020).
4. Вершинина, И. П. Характеристика годового стока рек Кузбасса / И. П. Вершинина. — Текст : непосредственный // Вестник Томского государственного университета. — 2008. — № 316.
5. Поромов, А. А. Определение потерь водных биоресурсов в результате перераспределения естественного стока с деформированной поверхности водного бассейна / А. А. Поромов, В. Б. Воронков, А. В. Хатунцов. — Текст: непосредственный // Рыбное хозяйство. — 2015. — № 6. .

REFERENCES

1. Federal'nyj zakon RF ot 20.12.2004 g., № 166-FZ «O rybolovstve i sohranении vodnyh biologicheskikh resursov» [Federal Law of the Russian Federation of 20.12.2004, No. 166-FZ "On Fishing and Conservation of Aquatic Biological Resources"]. (2014). Consultant Plus. http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_50799/ .[In Russian].
2. N.a. (1972). *Resursy poverhnostnyh vod SSSR. T. 15. Altaj i Zapadnaya Sibir'. Vyp. 2. Srednyaya Ob'* [Surface water resources of the USSR. T. 15. Altai and Western Siberia. Issue 2. Middle Ob]. Leningrad - Gidrometeoizda. [In Russian].
3. Russian newspaper. (2012, March 6). Prikaz Federal'nogo agentstva po rybolovstvu ot 25 noyabrya 2011 g. N 1166 g. Moskva "Ob utverzhdenii Metodiki ischisleniya razmera vreda, prichinennogo vodnym biologicheskimi resursami" [Order of the Federal Agency for Fisheries of November 25, 2011 N 1166 Moscow "On approval of the Methodology for calculating the amount of harm caused to aquatic biological resources"]. <https://rg.ru/2012/03/06/vred-bioresursy-site-dok.html> [In Russian].
4. Verшинina, I.P. (2008). Harakteristika godovogo stoka rek Kuzbassa [Characteristics of the annual flow of the rivers of Kuzbass]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta*, 316. [In Russian].
5. Poromov, A. A., Voronkov, V. B., & Hatuncov, A. V. (2015). Opredelenie poter' vodnyh bioresursov v rezul'tate pereraspredeleniya estestvennogo stoka s deformirovannoj poverhnosti vodnogo bassejna [Determination of losses of aquatic biological resources as a result of redistribution of natural runoff from a deformed surface of a water basin]. *Rybnoe hozyajstvo - Fish farming*, 6. [In Russian].



СИСТЕМА
ПГО

СОЗДАНИЕ
ВОДО-
ВОЗДУШНОГО
ТУМАНА

ЭФФЕКТИВНАЯ
БОРЬБА С
ПЫЛЬЮ

СНИЖЕНИЕ РАСХОДА
ВОДЫ ДО 12 РАЗ

СНИЖЕНИЕ
ЗАПЫЛЕННОСТИ НА 80 %
АВТОМАТИЗИРОВАНА



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



ВостЭКО и
Горный-ЦОТ



НАО НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
ПРОМЫШЛЕННОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ

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



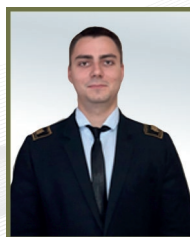
**А.П. Каргополова //
A.P. Kargopolova**
kargopolovaap@suek.ru
Руководитель Центра подготовки и развития персонала АО «СУЭК-Кузбасс», 652507, Ленинск-Кузнецкий, улица Васильева, 1
Head of the personnel training and development Center «SUEK-Kuzbass JSC», 652507, Leninsk-Kuznetsky, Vasilyeva street, 1



**М. Л. Рудаков //
M.L. Rudakov**
Rudakov_ML@pers.spmi.ru
д-р техн. наук, профессор, Заведующий кафедрой Безопасности производств «Санкт-Петербургский горный университет» 199106, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия д.2
doctor of technical Sciences, Professor, Head of the Department of industrial Safety "Saint Petersburg mining University" 199106, Saint Petersburg, Vasilievsky island, 21 line 2



А.Н. Никулин //A.N. Nikulin
nikulin_an@pers.spmi.ru
доцент кафедры безопасности производств «Санкт-Петербургский горный университет» 199106, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия д.2
associate Professor of the Department of industrial safety "Saint Petersburg mining University" 199106, Saint Petersburg, Vasilievsky island, 21 line 2



Н.Е. Дюка // N. E. Duka
duka.nikita996@mail.ru
аспирант 1-го года обучения «Санкт-Петербургский горный университет» 199106, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия д.2
post-graduate student of the 1st year of study "Saint Petersburg mining University" 199106, Saint Petersburg, Vasilievsky island, 21 line 2

УДК 622

АНАЛИЗ ШУМА, КАК ВРЕДНОГО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ФАКТОРА ПРИ ДОБЫЧЕ УГЛЯ ПОДЗЕМНЫМ СПОСОБОМ ANALYSIS OF NOISE AS AN OCCUPATIONAL HAZARD WHILE UNDERGROUND COAL MINING

В обзорной статье проведен краткий анализ условий труда по шумовому фактору на рабочих местах при подземной добыче угля, а также профессиональных заболеваний органов слуха у работников на примере угольных шахт АО «СУЭК-Кузбасс». Выделены основные профессии, подверженные заболеваниям органа слуха на данных предприятиях, а также обозначен стаж работы, при достижении которого риск потери слуха увеличивается. Определено, что несмотря на внедрение нового оборудования для добычи угля и использование средств индивидуальной защиты, количество выявляемых случаев профессиональных заболеваний органов слуха у горняков остается недопустимо высоким. Проведен аналитический обзор основных направлений отечественных и зарубежных исследований в области защиты от шума при ведении подземных горных работ. По результатам проведенного обзора было установлено, что на сегодняшний день не разработаны системы автоматического мониторинга шума при добыче угля, которая ведется подземным способом. Были определены перспективные направления дальнейших исследований в данной области, а именно продолжить работы по разработке системы мониторинга шума на рабочих местах при ведении подземной добычи угля. Подчеркивается важность вопроса повышения компетентности работников в области защиты от шума и создания специализированных учебных программ по охране труда.

The review article provides a brief analysis of working conditions on the noise factor in the workplace during underground coal mining, as well as occupational diseases of the hearing organs of workers on the example of coal mines of JSC "SUEK-Kuzbass". the main professions that are susceptible to diseases of the hearing organ in these enterprises are identified, and the length of service is indicated, when the risk of hearing loss increases. It is determined that despite the introduction of new equipment for coal mining and the use of personal protective equipment, the number of detected cases of occupational diseases of the hearing

organs in miners remains unacceptably high. an analytical review of the main directions of domestic and foreign research in the field of noise protection in the conduct of underground mining operations is carried out. According to the results of the review, it was found that to date, no automatic noise monitoring systems have been developed for coal mining, which is carried out underground. Promising areas for further research in this area were identified, namely, to continue work on the development of a system for monitoring noise at workplaces during underground coal mining. the importance of improving the competence of employees in the field of noise protection and the creation of specialized training programs on labor protection is emphasized.

Ключевые слова: УГОЛЬНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ, ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ШУМ, НЕЙРОСЕНСОРНАЯ ТУГОУХОСТЬ, МОНИТОРИНГ ШУМА, СРЕДСТВА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ
Key words: COAL INDUSTRY, INDUSTRIAL NOISE, SENSORINEURAL HEARING LOSS, NOISE MONITORING, PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT

Введение

Увеличение интенсивности производственных процессов в угольной промышленности может приводить к росту воздействия опасных и вредных производственных факторов (ОВПФ) на работников, приводящему к несчастным случаям на производстве и профессиональным заболеваниям.

Согласно данным Минтруда России за 2019 год, более 38% работников, занятых в горной промышленности, подвергаются негативному влиянию опасных и вредных производственных факторов [1]. Данное воздействие напрямую зависит от горно-геологических условий, работы оборудования высокой производительности и сложности добычных и проходческих работ.

Производственный шум сопровождает любую технологическую операцию и является одним из самых распространённых вредных производственных факторов. Воздействие повышенного уровня шума на работника может привести к возникновению профессиональных заболеваний органов слуха. По данным Роспотребнадзора за 2019 год [2] более чем у 19% работников угольной промышленности выявлена шумовая болезнь. Специфика ведения работ в угольных шахтах обуславливает присутствие источников как постоянного шума (вентиляторы местного и главного проветривания, водоотливные установки, конвейеры и компрессорное оборудование), так и источников непостоянного шума (проходческое и очистное оборудование, различные виды шахтного транспорта, ручной инструмент).

Целью данной статьи, носящей обзорный характер, является анализ шумовой обстановки на рабочих местах при подземной добыче угля, а также обзор наиболее значимых научных исследований в области защиты от шума при ведении подземных горных работ.

Анализ условий труда по шумовому фактору при добыче угля подземным способом

По данным исследований [3, 4] повышенная шумовая нагрузка наблюдается для таких рабочих, как водитель горного транспорта и инженер, обслуживающий вентиляционный комплекс, проходчики и горнорабочий очистного забоя. Согласно данным производственного контроля средний эквивалентный уровень (СЭУ) шума на данных рабочих местах может достигать $102 \pm 4,1$ и $99 \pm 4,9$ дБА. При сравнении с установленным нормативом (80 дБА) видно, что превышения составляют $22 \pm 4,1$ и $19 \pm 4,9$ дБА соответственно.

Риск возникновения профессионального заболевания органов слуха особенно велик для работников угольной промышленности, относящихся к возрастной группе от 45 до 64 лет. Например, в исследовании А.М. Олещенко [5], посвященном анализу заболеваний органов слуха у рабочих на карьерах Кузбасса, было установлено, что наиболее подвержены заболеваниям, а именно нейросенсорной тугоухости, машинисты транспортировочной техники при стаже работы 25 лет. Следует отметить, что высокий риск развития вибрационной болезни при стаже работы 25 лет также отмечался у водителей бульдозеров и машинистов экскаваторов ЭШ. На рисунке 1 приведена статистика снижения слуха у работников «АО «СУЭК-Кузбасс» при работе в условиях превышения предельно-допустимых уровней шума.

Проведенный анализ данных о зарегистрированных профессиональных заболеваниях на угольных шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» за 2011-2017 гг. показал, что более 23% случаев это заболевания органов слуха (таблица 1).

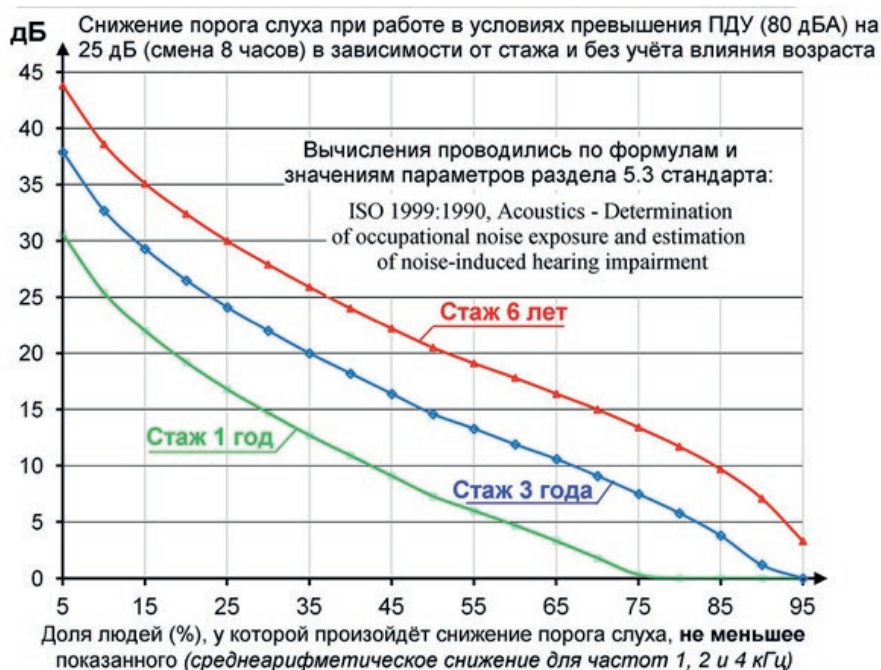
Следует отметить, что такое заболевание как нейросенсорная тугоухость, как правило, сопровождается вибрационной болезнью и заболеваниями опорно-двигательного аппарата.

Наиболее подвержены риску профессиональных заболеваний работники рабочих профессий. По данным за 2017 год по АО «СУЭК-Кузбасс» хроническая нейросенсорная ту-

Таблица 1 - Структура профессиональной заболеваемости на угольных шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» за 2011-2017 гг.

Table 1 - Structure of occupational morbidity in coal mines of JSC "SUEK-Kuzbass" for 2011-2017

Формы заболеваний	Количество выявленных профессиональных заболеваний	% от всех случаев
Нейросенсорная тугоухость	81	23,6
Вибрационная болезнь	93	27,2
Пояснично-крестцовая радикулитопатия	92	26,8
Пылевой необструктивный бронхит	64	18,6
Вегетосенсорная полинейропатия	13	3,8
Всего за 7 лет	343	100

Рисунок 1. Статистика снижения слуха при работе в условиях превышения ПДУ
Figure 1. Statistics of hearing loss when working in conditions exceeding the MPC.

гоухость наиболее часто диагностировалась у проходчиков, машинистов горных выемочных машин (МГВМ) и машинистов электровозов. При выборочном анализе профессий, для которых характерны выявленные диагнозы хронической нейросенсорной тугоухости (табл. 2) отмечается следующее:

1. Во всех случаях класс условий труда по шуму составлял 3.1, 3.2, т.е. вредные условия труда однозначно являются причиной профессионального заболевания;

2. Возрастная группа заболевших работников (от 51 до 67 лет) в целом имеет корреляцию с продолжительностью общего трудового стажа, что же касается стажа работы по профессии, который варьируется от 6,5 лет до 38 лет, то такой корреляции установить не удалось.

В целом приведенные данные подтверждают результаты исследования [5] относительно возрастной «группы риска» по выявлению профессиональных заболеваний органов слуха. Как правило, это работники возрастной категории 50 – 65 лет с общим трудовым стажем более 25 лет.

На рисунке 2 изображена динамика профессиональных заболеваний органа слуха в структурных подразделениях АО «СУЭК-Кузбасс» за 2012-2017гг. Можно отметить парадоксальный факт, что несмотря на проводимое техническое перевооружение и обеспечение работников современными средствами индивидуальной защиты, данных заболеваний не становится меньше, а для некоторых шахт даже наблюдается рост их количества.

В целом, в разрезе структурных подразде-

лений АО «СУЭК-Кузбасс», можно отметить шахты с высоким уровнем риска развития профессиональных заболеваний органов слуха (рисунок 3). Так, в Шахтоуправлении им. В.Д. Ялевского за период 2012 – 2017 года доля установленных диагнозов «хроническая нейросенсорная тугоухость» составляла 27% от общего числа установленных диагнозов профессиональных заболеваний; на шахте им. С.М. Кирова – данная доля составила 23%.

Стоит отметить, что в целях оценки рисков воздействия повышенного уровня звука и разработки мероприятий по профилактике профессиональных заболеваний органов слуха работников АО «СУЭК-Кузбасс», в 2016 году была реализована, совместно с Департаментом труда и занятости населения Кемеровской области, программ «Год слуха» для работников АО «СУЭК-Кузбасс».

Так, на угольных шахтах были выявлено 6745 рабочих мест с вредным фактором в виде шума, а также ошибки в подборе СИЗ слуха. В результате проведенных мероприятия удалось составить подробные технологические карты рабочих мест, благодаря которым стало возможным занести требования к СИЗ слуху в Систему поразмерного учета «СИЗ СУЭК», были также проведены массовые обучения персонала.

В частности, для снижения риска возникновения профессиональных заболеваний органа слуха на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» используются противושумные одноразовые вкладыши без шнурка, противושумные одноразовые вкладыши со шнурком, противושумные многоразовые вкладыши в контейнере, противושумные наушники, противושумные наушники, используемые совместно с каской.

Аналитический обзор научных исследований в области защиты от шума при ведении подземных горных работ

Вопросами охраны труда при ведении подземных горных работ, а также способами контроля и минимизации вредного воздействия производственного шума на орган слуха горнорабочего занимались как отечественные, так и зарубежные ученые. Так, большой вклад в развитие системы гигиенической оценки шума на горных предприятиях был внесен Д.Н. Девятловским. [6] Он описал возможные изменения в органе слуха у горнорабочих при постоянном воздействии сильного шума. Вопросы сочетанного воздействия шума и других физических факторов на здоровье работника затронуты в исследовании А.В. Васильева. [7] В его работах также от-

мечено, что необходимо комплексно подходить к оценке воздействия вредного воздействия шума и применять средства индивидуальной защиты согласно установленным положениям на предприятии. Им даны рекомендации в какой степени правильная и добросовестная система мониторинга шума может повлиять и облегчить расчет гарантий и компенсаций для работников.

В работах А.В. Борисовой [8,9] рассматривается возможность отслеживания ОВПФ на рабочем месте в автономном режиме. Предлагается использование измерительных систем, которые будут представлять собой единую проводную систему регистрации данных факторов. Планируется, что представленная система будет работать без участия сотрудников и передавать накопленную информацию в единый информационный центр для последующего анализа. К недостаткам данного решения следует отнести необходимость установки большого количества измерительных приборов и датчиков; отсутствие единых требований к размещаемому оборудованию и, как правило, данное оборудование не является (в строгом понимании) средствами измерения и не может применяться в сложных горно-геологических условиях.

В трудах С.П. Левашова рассматривается возможность контроля вредных факторов в рабочей зоне без участия специалистов [10]. Подобная модель оценки условий рабочей среды реализуется путем применения информационно-измерительных систем, представляющих собой целую проводную сеть различных датчиков, которые регистрируют значения показателей ОВПФ. Данное решение позволяет осуществлять сбор информации о воздействующих ОВПФ в режиме реального времени. К преимуществам такой системы можно отнести создание единой информационной базы, которая в дальнейшем подвергается обработке с целью выбора мероприятий по улучшению условий труда. Недостатками являются необходимость внедрения в сеть большого количества специальных датчиков и приборов (стационарных), необходимых для измерения ОВПФ; отсутствие единых требований к размещаемому оборудованию.

И.И. Тесленко в своих работах предлагает создать на предприятиях отдельное подразделение, которое должно будет заниматься инструментальными измерениями ОВПФ несколько раз за смену. В случае невозможности создания такого подразделения предполагается привлечение сторонних организаций. [11] Однако, формой реализации мониторинга за безопасностью на предприятии все также остаются визуальный

Таблица 2 – Примеры профессий работников с установленным диагнозом «хроническая нейросенсорная тугоухость»

Table 2-Examples of professions of employees with the established diagnosis of "chronic sensorineural hearing loss"

Профессия работника	Год рождения	Итоговый класс условий труда/ класс условий труда по шуму	Возраст работника	Общий стаж	Стаж работы по профессии	Год установления диагноза
проходчик	1956	3.3 / 3.2	64	34	32	2008
проходчик	1957	3.3 / 3.2	63	33,4	31	2009
МГВМ	1962	3.3 / 3.2	58	29,8	29,3	2016
проходчик	1953	3.3 / 3.2	67	39,5	37	2004
МГВМ	1960	3.1 / 3.1	60	36,2	6,5	2013
машинист электровоза	1953	3.1 / 3.1	56	41,8	38,3	2013
ГРОЗ	1962	3.3 / 3.2	58	29	11	2004
машинист электровоза	1956	3.1 / 3.1	64	36,1	10,5	2007
МГВМ	1969	3.3 / 3.2	51	24,5	18,6	2016
электрослесарь	1959	3.1 / 3.1	61	36,1	6,5	2013

и инструментальный метод, который невозможно осуществлять в течении всего рабочего времени.

В трудах Е.Н. Чемезова был проведен анализ причин травматизма и аварий на угольных шахтах РФ. Как итог был сделан вывод о необходимости создания систем контроля и мониторинга опасных и вредных факторов и обеспечение неотвратимости наказания за нарушения требований правил безопасности [12]. Е.Г. Булдакова и Е.Б. Гридина также затрагивали тему внедрения комплексной системы управления охраной труда, позволяющей сократить количество травм и заболеваний в условиях угольной шахты [13].

В научных трудах А.Н. Никулина описывается возможность постоянного мониторинга использования средств индивидуальной защиты головы. [14,15] Особое внимание уделяется постоянному измерению среднего эквивалентного уровня шума. Однако, для постоянного контроля применения противозумных наушников необходимы дополнительные исследования и внедрение специального программного обеспечения.

А.В. Васильев и Д.В. Аношкин предложили систему, которая направлена на непрерывное измерение уровня шума и вибрации в различных рабочих зонах. Так, промышленная зона разбивается на отдельные участки, на территории которой устанавливаются специальные датчики (шумомеры и датчики движения). Причем пред-

полагается монтировать данные измерительных устройств в пол и на путях перемещения. Также рабочим выдаются специальные маркеры-маяки, которые фиксируют их положение в пространстве. Зафиксированные данные накапливаются в базе данных, после чего их можно использовать для анализа условий труда [16].

Следует отметить работы Ю.В. Шувалова, С.Д. Бурлакова и Н.А. Туча. В их работах особое внимание уделяется оценке воздействия негативного влияния на горнорабочих и предложены инновационные системы индивидуальной защиты от шума в условиях Крайнего Севера [17].

В своих исследованиях Н. Лилик, Д. Книжевич, В. Милисавлевич и В. Костич [18] предложили, что для того, чтобы иметь шахту с эффективной системой управления шумом, необходимо провести оценку на начальных этапах строительства шахты. Кроме того, в их работе предлагается принять следующие меры на этапе проектирования шахты: картирование шума шахты должно выполняться с использованием эффективного и точного программного обеспечения для компьютерного моделирования; оценка уровня шума для каждого механизма должна выполняться с использованием доступных международных стандартов для оценки и количественного определения ожидаемого шума, который будет исходить от каждого агрегата и всей шахты; оценка уровня шума должна выполняться в сочетании с техническими данными



Рисунок 2. Динамика установленных диагнозов «хроническая нейросенсорная тугоухость» по структурным подразделениям АО «СУЭК Кузбасс» за 2012.2017 гг.
Figure 2. dynamics of established diagnoses of "chronic sensorineural hearing loss" by structural divisions of jsc "suek kuzbass" for 2012.2017.

производителя и фактическими измерениями. Контроль шума в источнике и распространения шума на примере шахт в Турции показывает, что меры контроля шума и административные меры всегда должны рассматриваться как первая линия защиты, когда речь идет о борьбе с шумовой нагрузкой. Исследователями отмечено, что необходимо подбирать процессы и оборудование с более низкими уровнями звукового давления, так как, по их мнению, обеспечить постоянный мониторинг шума невозможно.

М. К. Мадахана, О.Т. Ньяндро и Н. Ф. Морое [19] в своих статьях предлагают осуществлять контроль шума в источнике за счет конструкции и установки на технике шумомеров (например, встраивать шумомеры в различные станки и движущие машины, которые могут применяться на угольных шахтах, что должно помочь в определении уровня шума в текущий момент времени и в корректировке необходимых мероприятий). Также ими рассмотрено приме-

нение шумопоглощающих барьеров на примере угольной шахты Южной Африки. Однако, данное решение возможно применять для достаточно малого количества шахт, что связано со спецификой разработки и сложными горно-геологическими условиями.

В одной из своих работ отмеченные авторы также предложили новую систему, которая будет контролировать накопленный уровень воздействия шума на горнорабочего. В основу данной программы легло исследование шумовой нагрузки в угольных шахтах на протяжении 44 лет. Были выявлены классификации производственных процессов при подземной разработке и рекомендованное время пребывания на различных рабочих местах. В зависимости от классификации, которая основана на базовом уровне нагрузки на орган слуха горняков и будущем изменении порогового значения, даются рекомендации для подходящих горных задач, на которые можно назначить работника [20].



Рисунок 3. Общее количество установленных диагнозов «хроническая нейросенсорная тугоухость» по структурным подразделениям АО «СУЭК Кузбасс» за 2012.2017 гг.
Figure 3. total number of established diagnoses of "chronic sensorineural hearing loss" by structural divisions of jsc "suek kuzbass" for 2012.2017.

В статье К. Сун, А. С. Азман и Х.И. Камарго отмечено, что более 29% горнорабочих на угольных шахтах США имеют проблемы с органом слуха. Всего за период с 2000 по 2014 год было выявлено 15110 нарушений на шахтах, связанных с шумом. Они предлагают усилить инженерный контроль уровней шума и обеспечивать операторов портативными шумомерами. [21,22] Подобные замечания и наблюдения были сделаны авторами Ш. М. Лоусон, Э. Мастерсон. Ими была исследована распространённость потери слуха среди рабочих США, подвергающихся воздействию шума в горнодобывающей и нефтегазодобывающей отраслях за период с 2006 по 2015 года [23].

Н. Ф. Морое, К. Кхоза-Чангаз и М.К. Мада-хана в одной из своих работ предложили модель мониторинга шума на основе обратной связи. Предполагается ежедневное медицинское обследование рабочего и передача полученных данных администрации или диспетчеру, если наблюдаются отклонения в органе слуха, то предлагается применение двух сценариев:

1) если отклонения незначительны, то необходимо применять обычные средства индивидуальной защиты (СИЗ);

2) если отклонения более значительные, то необходимо применение более эффективных и надежных СИЗ [24].

Следует отметить, что вплоть до настоящего времени практически не получил освещения в литературе вопрос разработки специализированных учебных программ по охране труда для стажированных работников, работающих в условиях повышенного уровня шума в угольных шахтах.

Заслуживает внимания и тот факт, что на сегодняшний день (по результатам проведенного патентного поиска) не разработаны системы автоматического мониторинга шума при ведении подземных работ в угольных шахтах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Доклад о состоянии охраны труда в Российской Федерации, Министерство труда РФ, 2019. [Электронный ресурс] URL: <https://eisot.rosmintrud.ru/monitoring-uslovij-i-okhrany-truda>.
2. «Государственный доклад о санитарно-эпидемиологическом благополучии населения», Роспотребнадзор, 2019. [Электронный ресурс] URL: <https://www.rosпотребнадзор.ru/documents/details.php>.
3. «Состояние промышленной безопасности в Российской Федерации. Угольная промышленность», Ростехнадзор, 2019. [Электронный ресурс] URL: <http://www.gosnadzor.ru/industrial/coal/>.
4. Головкова Н.П., Чеботарёв А.Г. Каледина Н.О., Хелковский-Сергеев Н.А. Оценка условий труда, профессионального риска, состояние профессиональной заболеваемости и производственного травматизма рабочих угольной промышленности // Сб. статей Отдельный выпуск Горного информационно-аналитического бюллетеня. – М., Издательство «Горная книга». – 2011, №7. – с. 9-40.
5. Сувидова Т.А., Олещенко А.М. Гигиенические аспекты профессиональной заболеваемости в Кемеровской области / Т.А. Сувидова, А.М. Олещенко // Медицина в Кузбассе, 2018, С. 44-49.
6. Девятловский Д.Н. Влияние шумового воздействия на здоровье человека. / Д.Н. Девятловский // Актуальные проблемы лесного комплекса, Лесосибирск, 2010. С.2-6.
7. Васильев А.В. Проблемы оценки сочетанного влияния шума и других физических факторов на здоровье чело-

Выводы:

1. Несмотря на внедрение нового оборудования для добычи угля подземным способом, обеспечение работников современными средствами индивидуальной защиты от шума, количество выявляемых случаев профессиональных заболеваний органов слуха у горняков остается недопустимо высоким.

2. По мнению авторов, для снижения риска возникновения профессиональных заболеваний органов слуха необходимо продолжить работы по разработке системы мониторинга шума на рабочих местах при ведении подземных горных работ по добыче угля. За основу предполагается взять результаты специальной оценки условий труда, и уточненную на основании данных результатов детальную программу производственного контроля.

3. Особое внимание следует уделять вопросам повышения компетентности работников в области защиты от шума. Представляется, что разработка специализированных учебных программ по охране труда для стажированных работников (для которых велик риск профессиональных заболеваний органов слуха) должна в обязательном порядке включать вопросы применения СИЗ. Также, по мнению авторов, необходимо усиление административно-общественного контроля за правильностью применения работниками средств защиты от шума, особенно в тех структурных подразделениях угледобывающих организаций, в которых выявляется наибольшее количество диагнозов профессиональных заболеваний органов слуха. Следует также акцентировать внимание на установке технических требований по уровню шума на этапе проектирования и закупки оборудования и более детально разрабатывать программу внутрисменных режимов труда и отдыха.

- века. / А. В. Васильев // Известия Самарского научного центра Российской академии наук Т. 14. №6. -2012. С. 158-165.
8. Борисова, А.В. Алгоритм процесса выбора средств измерений для проведения инструментального контроля вредных производственных факторов / А.В. Борисова // Инженерный вестник Дона. – 2015. – No1. [Электронный ресурс] URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/2783>.
 9. Борисова А.В. Совершенствование систем мониторинга опасных и вредных производственных факторов в условиях предприятий машиностроения: дис. канд. тех. Наук. Донской гос. тех. университет, Ростов-на-Дону, 2015. С. 180.
 10. Левашов, С. П. Мониторинг и анализ профессиональных рисков в России и за рубежом: монография / С. П. Левашов; под ред. И. И. Манило. – Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2013. - 345 с.
 11. Тесленко И.И. Методика организации мониторинга за процессом обеспечения безопасности жизнедеятельности на предприятии. / Москва: «Вестник Евразийской науки». 2013. С.196-202.
 12. Чemezov Е.Н. Принципы обеспечения безопасности горных работ при добыче угля // Записки Горного института. 2019. Т.240. С.649-653. DOI:10.31897/PMI.2019.6.649.
 13. Булгакова Е.Г., Гридина Е.Б. Анализ производственного травматизма и этапов создания эффективной системы управления промышленной безопасностью на примере ОАО «ВОРКУТАУГОЛЬ» //Записки Горного института. 2014. Т.207. С. 95-98.
 14. Nikulin A. N., Romanov A.. Control over the use of personal protective equipment by employees, head protection // A.N. Nikulin, A. Romanov // Ecology, Environment and Conservation, № 23(1), 2017. С 384 - 389.
 15. Nikulin A. N., Ikonnikov D. A., Dolzhiikov I. S. Increasing labour safety on coal mines / A.N. Nikulin, D.A. Ikonnikov, I.S. Dolzhiikov // International Journal of Emerging Trends in Engineering Research, № 7, Т 12, 2019. С. 842 - 848.
 16. Аношкин Д.В., Васильев А.В. Непрерывный мониторинг производственного шума и вибрации в рамках автоматизированной системы управления охраной труда / Д. В. Аношкин, А. В. Васильев // Безопасность труда в промышленности. - 2011. - № 12. - С. 69-72.
 17. Шувалов Ю.В., Бурлаков С.Д., Туча Н.А. Оценка воздействия и защита горнорабочих от негативного влияния окружающей среды. // Записки Горного института. 2005. Т.164. С. 128-133.
 18. Lilic N., Cvjetic A., Knezevic D., Milisavljevic V. Dust and Noise Environmental Impact Assessment and Control in Serbian Mining Practice // N. Lilic, A. Cvjetic, D. Knezevic, V. Milisavljevic // Minerals, № 8(2), 2018. С. 2 - 15.
 19. Madahana, M.C., Nyandoro, O.T., Moroe, N.F. Engineering noise control for mines: Lessons from the world // M. C. Madahana, O. T. Nyandoro, N. F. Moroe // South African Journal of Communication Disorders, 67(2), 2020, С. 684.
 20. Milka C. I., Madahana M., John E. D., Nyandoro O. T. Smart automated noise policy monitoring and feedback control system for mining application // C. I. Milka, M. Madahana, E. D. John, Nyandoro O. T // J. S. Afr. Inst. Min. Metall. vol.119 n.7 Johannesburg Jul. 2019.
 21. Sun K., Azman A. S., Camargo H. E., Patrick G. D. Risk assessment of recordable occupational hearing loss in the mining industry // K. Sun, A. S. Azman, H. E. Camargo, G. D. Patrick // International Journal of Audiology, 2019.
 22. Sun K., Azman A. S. Evaluating hearing loss risks in the mining industry through MSHA citations // K. Sun, A. S. Azman // Journal of Occupational and Environmental Hygiene, 2017. С. 215 – 243.
 23. Lawson S. M., Masterson E. A., Azman A. S. Prevalence of hearing loss among noise-exposed workers within the Mining and Oil and Gas Extraction sectors 2006-2015 // S. M. Lawson, E. A. Masterson, A. S. Azman // Am J Ind Med. 2019 Oct;62(10): С. 826-837.
 24. Moroe, N.F., Khoza-Shangase K., Madahana M., Nyandoro O. Feedback-based noise management matrix in action // N.F. Moroe, K. Khoza-Shangase, M. Madahana, O. Nyandoro // South African Journal of Communication Disorders, 67(2), 2020, С. 678.

REFERENCES

1. Doklad o sostoyanii okhrany truda v Rossiyskoy Federatsii, 2019 [Report on the state of labor protection in the Russian Federation, 2019]. (2020). Ministry of Labor of the Russian Federation. <https://eisot.rosmintrud.ru/monitoring-usloviy-i-okhrany-truda>. [In Russian].
2. Gosudarstvennyy doklad o sanitarno-epidemiologicheskom blagopoluchii naseleniya [State report on the sanitary and epidemiological welfare of the population]. (2019). Rospotrebnadzor. <https://www.rospotrebnadzor.ru/documents/details.php>.
3. Sostoyanie promyshlennoj bezopasnosti v Rossijskoj Federacii. Ugol'naya promyshlennost' [The state of industrial safety in the Russian Federation. Coal industry]. (2019). Rostekhnadzor. <http://www.gosnadzor.ru/industrial/coal/> [In Russian].
4. Golovkova N.P., Chebotaryov A.G. Kaledina N.O., & Helkovskij-Sergeev N.A. (2011). Ocenka uslovij truda, professional'nogo riska, sostoyanie professional'noj zaboлеваemosti i proizvodstvennogo travmatizma rabochih ugol'noj promyshlennosti [Assessment of working conditions, occupational risk, the state of occupational morbidity and industrial injuries of workers in the coal industry]. Moscow - *Izdatel'stvo «Gornaya kniga»*, 7, 9-40. [In Russian].
5. Suvidova T.A., & Oleshchenko A.M. (2018). Gigienicheskie aspekty professional'noj zaboлеваemosti v Kemerovskoj oblasti [Hygienic aspects of occupational morbidity in the Kemerovo region]. *Medicina v Kuzbasse*, 44-49. [In Russian].
6. Devyatlovskij, D.N. (2010). *Vliyanie shumovogo vozdejstviya na zdorov'e cheloveka [Impact of noise exposure on human health]*. Lesosibirsk, 2-6. [In Russian].
7. Vasil'ev A.V. (2012). Problemy ocenki sochetannogo vliyaniya shuma i drugih fizicheskikh faktorov na zdorov'e cheloveka [Problems of assessing the combined effect of noise and other physical factors on human health]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk*, V14.(6), 158-165. [In Russian].
8. Borisova, A.V. (2015). Algoritm processa vybora sredstv izmerenij dlya provedeniya instrumental'nogo kontrolya vrednyh proizvodstvennyh faktorov [Algorithm of the process of choosing measuring instruments for instrumental control of harmful production factors]. *Inzhenernyj vestnik Dona*, 1. <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/2783>. [In Russian].

9. Borisova, A. V. (2013). Sovershenstvovanie sistem monitoringa opasnyh i vrednyh proizvodstvennyh faktorov v usloviyah predpriyatij mashinostroeniya [Improvement of monitoring systems for hazardous and harmful production factors in the conditions of mechanical engineering enterprises]. Donskoj gos. tekhn. universitet, Rostov-na-Donu. [In Russian].
10. Levashov, S. P. (2013). Monitoring i analiz professional'nyh riskov v Rossii i za rubezhom: monografiya [Monitoring and analysis of occupational risks in Russia and abroad: monograph]. Kurgan: Izd-vo Kurganskogo gos. un-ta. [In Russian].
11. Teslenko I.I. (2013). Metodika organizacii monitoringa za processom obespecheniya bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti na predpriyatii [Methodology for organizing monitoring of the process of ensuring the safety of life at the enterprise]. Moskva - Vestnik Evrazijskoj nauki, 196-202. [In Russian].
12. Chemezov, E. N. (2019). Industrial safety principles in coal mining. Journal of Mining Institute, 240(6), 649–653. <https://doi.org/10.31897/pmi.2019.6.649>.
13. Bulgakova E.G., & Gridina E.B. (2014). Analiz proizvodstvennogo travmatizma i etapov sozdaniya effektivnoj sistemy upravleniya promyshlennoj bezopasnost'yu na primere OAO «VORKUTAUGOL'» [Analysis of industrial injuries and stages of creating an effective industrial safety management system on the example of OJSC "VORKUTAUGOL"]. Zapiski Gornogo instituta, V207, 95-98. [In Russian].
14. Nikulin A. N., & Romanov A. (2017). Control over the use of personal protective equipment by employees, head protection. *Ecology, Environment and Conservation*, 23(1), 384 - 389.
15. Nikulin A. N., Ikonnikov D. A., & Dolzhikov I. S. (2019). Increasing labour safety on coal mines. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, 7 (V12), 842 - 848.
16. Anoshkin D.V., & Vasil'ev A.V. (2011). Nepreryvnyj monitoring proizvodstvennogo shuma i vibracii v ramkah avtomatizirovannoj sistemy upravleniya ohranoj truda [Continuous monitoring of occupational noise and vibration as part of an automated health and safety management system]. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*, 12, 69-72.
17. Shuvalov Yu.V., Burlakov S.D., Tucha N.A. Ocenka vozdeystviya i zashchita gornorabochih ot negativnogo vliyaniya okruzhayushchej sredy. // Zapiski Gornogo instituta. 2005. T.164. S. 128-133. [In Russian].
18. Lilic N., Cvjetic A., Knezevic D., & Milisavljevic V. (2018). Dust and Noise Environmental Impact Assessment and Control in Serbian Mining Practice. *Minerals*, 8(2), 2 - 15.
19. Madahana, M.C., Nyandoro, O.T., & Moroe, N.F. (2020). Engineering noise control for mines: Lessons from the world. *South African Journal of Communication Disorders*, 67(2), 684.
20. Milka C. I., Madahana M., John E. D., & Nyandoro O. T. (2019). Smart automated noise policy monitoring and feedback control system for mining application. *S. Afr. Inst. Min. Metall.* V119(7).
21. Sun K., & Azman A. S., Camargo H. E., & Patrick G. D. (2019). Risk assessment of recordable occupational hearing loss in the mining industry. *International Journal of Audiology*.
22. Sun K., & Azman A. S. (2017). Evaluating hearing loss risks in the mining industry through MSHA citations. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 215 – 243.
23. Lawson S. M., Masterson E. A., & Azman A. S. (2019). Prevalence of hearing loss among noise-exposed workers within the Mining and Oil and Gas Extraction sectors 2006-2015. *Am J Ind Med*, 62(10), 826-837.
24. Moroe, N.F., Khoza-Shangase K., Madahana M., & Nyandoro O. (2020). Feedback-based noise management matrix in action. *South African Journal of Communication Disorders*, 67(2), S. 678.



ООО "Горный-ЦОТ"
indsafe.ru

ИЗСТ-01

ИЗМЕРИТЕЛЬ ЗАПЫЛЕННОСТИ СТАЦИОНАРНЫЙ



А.С. Ярош // A.S.Yaroch
rosniigdbuh@mail.ru

канд. техн. наук, академик МАНЭБ, генеральный директор ООО "НИИ Горного Дела", 650002, Россия, г. Кемерово, Сосновый бульвар, 1
candidate of technical sciences, academician of MANEB, general director of LLC "Research Institute of Mining", 650002, Russia, Kemerovo, Sosnovy Boulevard, 1



В.Б. Попов // V.B.Popov

доктор техн. наук, профессор, академик АГН, МАНЭБ, президент Регионального Сибирского отделения МАНЭБ
doctor of technical sciences, professor, academician of AGN, MANEB, President Of the regional Siberian branch of MANEB



А.С. Голік // A.S.Golik

доктор техн. наук, профессор, академик АГН, МАНЭБ, президент Регионального Сибирского отделения МАНЭБ
doctor of technical sciences, professor, academician of AGN, MANEB, President Of the regional Siberian branch of MANEB

УДК 346:622.33

ОПЕРАТИВНЫЙ КОНТРОЛЬ ВОЗДУХОПРОНИЦАЕМОСТИ ШАХТНЫХ ИЗОЛИРУЮЩИХ ПЕРЕМЫЧЕК MINE INSULATING BARRIERS' AIR PERMEABILITY OPERATIONAL CONTROL

В статье обоснована необходимость разработки и внедрения на угольных шахтах способа оперативного контроля аэродинамического состояния находящихся в эксплуатации изоляционных перемычек. Применяющимися в настоящее время способами выполнения требований действующих нормативов [1, 2, 3] по организации указанного мониторинга вызывает значительные трудности. Проведение непосредственных замеров весьма трудоемко, и выполнять их нужно в больших объемах, так как количество подлежащих обследованию перемычек исчисляется по каждой шахте несколькими десятками, а во многих случаях сотнями. Поэтому обеспечение требуемой периодичности контроля аэродинамического состояния изоляционных перемычек в угольных шахтах вызывает организационные и технические проблемы.

Авторами разработан и предлагается способ оперативной оценки степени герметичности изоляционных сооружений, основанный на выявленной корреляционной связи их воздухопроницаемости, депрессии и воздействующего аэродинамического напора. С использованием разработанной методики представляется возможным производить оценку аэродинамического состояния обследуемой перемычки только по данным замеров депрессии и воздействующего на перемычку аэродинамического напора. Проведение замеров указанных параметров никакой трудности не представляет и требует малых затрат времени.

Способ рекомендуется применять для оценки состояния перемычек, изолирующих выработанные пространства, имеющие связь с земной поверхностью, отработанными выемочными полями, сближенными пластами, горизонтами, а также не полностью погашенными выработками.

The article substantiates the need for the development and implementation of a method for operational control of the insulating barrier aerodynamic state in operation at coal mines. With the currently used methods, the fulfillment of the current standard requirements [1, 2, 3] for the organization of this monitoring causes significant difficulties. Carrying out direct measurements is very laborious and they need to be performed in large volumes, since the number of barriers to be inspected is calculated for each mine by several tens, and in many cases by hundreds. Therefore, ensuring the required frequency of monitoring the aerodynamic state of insulating barriers in coal mines causes organizational and technical problems.

The authors have developed and proposed a method for the rapid assessment of the insulating structures' tightness degree, based on the revealed correlation between their air permeability, depression and the impacting aerodynamic pressure. With the use of the developed technique, it is possible to assess the aerodynamic state of the investigated barrier only from the data of the depression and the aerodynamic pressure measure-

ments acting on the barrier. Carrying out measurements of these parameters is not difficult and requires little time.

The method is recommended to be used to assess the condition of the barriers that isolate worked-out spaces that have a connection with the earth's surface, worked-out extraction fields, adjacent seams, levels, as well as not completely extracted workings.

Ключевые слова: ИЗОЛЯЦИОННАЯ ПЕРЕМЫЧКА, ВОЗДУХОПРОНИЦАЕМОСТЬ, АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ НАПОР, ДЕПРЕССИЯ, ГОРНАЯ ВЫРАБОТКА, КОЛИЧЕСТВО ВОЗДУХА, ГОРНЫЙ МАССИВ, ДЕФОРМИРОВАННЫЙ СЛОЙ.

Key words: INSULATING BARRIER, AIR PERMEABILITY, AERODYNAMIC PRESSURE, DEPRESSION, MINE WORKING, AIR VOLUME, ROCK MASSIF, DEFORMED LAYER

Из возникающих на угольных шахтах аварий наиболее опасными и тяжелыми по последствиям являются взрывы метанопылевоздушных смесей и подземные пожары. Определяющим фактором по их предотвращению является организация надежного и эффективного проветривания горных выработок с рациональным распределением воздуха и аэродинамических напоров по элементам шахтной сети. При решении этой задачи одним из основных является вопрос обеспечения качественной изоляции выработанных пространств от действующих горных выработок и поддержание ее в таком состоянии на протяжении всего времени эксплуатации каждого угледобывающего предприятия. По созданию средств изоляции с высокой степенью герметичности к настоящему моменту выполнено множество научно-исследовательских работ, и в целом достигнуты положительные результаты. Предложены более совершенные конструкции изолирующих сооружений, разработаны новые составы материалов для их возведения и осуществления дополнительной обработки (покрытия) с целью повышения аэродинамических показателей, усовершенствована технология производства изоляционных работ и др. Все это позволило вывести на более высокий качественный уровень выполнение требований действующих нормативов по изоляции отработанных выемочных столбов, полей и блоков. Однако в процессе эксплуатации под воздействием горного давления, характерных для шахт неблагоприятных теплофизических параметров рудничной атмосферы, агрессивных гидравлических и газообразных сред происходят негативные изменения состояния изолирующих сооружений и ухудшение их герметичности. В этой связи для обеспечения требуемого по условиям взрыво- и пожаробезопасности состава газовой среды в изолированных объемах выработанных пространств необходимо проводить систематический контроль аэродинамических параметров, находящихся в эксплуатации всех изолирующих технических

средств. Контроль за герметичностью перемычек, рубашек и арок работниками шахты начинается сразу же после их возведения и осуществляется на протяжении всего срока службы. Согласно требованиям действующих нормативов [1,2] еженедельно должен выполняться визуальный осмотр каждого сооружения и не реже одного раза в месяц проверка качества изоляции отработанных участков путем проведения непосредственных замеров аэродинамических параметров изоляционных перемычек. Между тем на современных шахтах их количество достигает нескольких сотен, вследствие чего выполнение такого объема замеров, каждый из которых требует больших затрат времени, на практике представляет весьма сложную задачу.

Согласно [4] количество воздуха, проходящее через какой-либо объект, определяется по формуле

$$q = \sqrt[n]{\Delta h/R} \quad (1)$$

где q – количество пропускаемого через объект воздуха, м³/с;

n – показатель, характеризующий режим движения воздуха через рассматриваемый объект;

Δh – разность аэродинамических давлений в плоскостях входа воздушного потока непосредственно в объект и выхода из него, даПа;

R – аэродинамическое сопротивление объекта, даПа с/м³.

До настоящего времени у исследователей нет однозначного мнения о режиме «просасывания» воздуха через изоляционные перемычки.

Одни авторы считают, что движение проходящих через них воздушных масс осуществляется в режиме, близком к турбулентному (n стремится к 2), другие – к ламинарному (n снижается до 1). Учитывая, что прососы воздуха имеют место не только непосредственно сквозь тело перемычки, но и по ее периметру, в том числе по контакту с вмещающими породами и прилегающему массиву, есть основание утверждать, что вернее всего результирующий показатель режима движения воздуха находится в интервале $1 < n < 2$.

Это обстоятельство весьма усложняет процесс осуществления целевых замеров по установлению фактических аэродинамических параметров изолирующих перемычек.

Для получения достоверных результатов требуется в каждом конкретном случае произвести целый комплекс сложных по организации, трудоемких измерений, требующих специфического технического оснащения и больших затрат времени.

Учитывая указанные обстоятельства исследователями, работающими в этой области, предлагались различные упрощенные методы определения прососов воздуха через перемычки. В частности, рекомендовались способы, основанные на косвенных измерениях скорости воздушного потока, в том числе использование дымовых трубок, аэрозолей, акустических средств, возведение специальных временных перегородок и т.д.

Однако все эти способы сложны в реализации и не обеспечивают необходимую точность и надежность замеров.

Это приводит к тому, что зачастую даже при явно неудовлетворительном состоянии изолирующих сооружений по результатам проведенных замеров можно получить вполне приемлемые аэродинамические показатели. На практике это является недопустимым, так как неверная оценка качества изоляции отработанных пространств создает реальные предпосылки к возникновению очагов самовозгорания угля и формированию зон с взрывоопасной атмосферой. Имеет место настоятельная необходимость в разработке метода, обеспечивающего при надлежащей оперативности высокую степень достоверности и надежности получаемых данных. Методический подход для решения этой задачи авторами реализован по следующему алгоритму:

- проведены целевые комплексные экспериментальные исследования большого числа различных типов изоляционных перемычек,

на основании которых получены достоверные данные по всем параметрам, характеризующим герметичность перемычек: прососы воздуха через тело перемычки, утечки по ее периметру в месте контакта с окружающим массивом, фильтрация в деформированном слое угля и породы, значения аэродинамического напора перед и за перемычкой, перепад давления;

- установлен критерий, с использованием которого предоставляется возможность осуществления интегральной оценки состояния изоляционного сооружения, послуживший основой разработанных методических положений по оперативной оценке воздухопроницаемости изолирующих перемычек в угольных шахтах.

В общей сложности в шахтах основных каменноугольных месторождений Российской Федерации было обследовано 2047 перемычек, в том числе: бетонных - 629, брусчатых - 259, кирпичных - 557, шлакоблочных - 294, чураковых - 308.

Исследования включали определение расхода воздуха, проходящего мимо перемычки (по контакту с горным массивом и деформированному его слою), утечек воздуха непосредственно через тело перемычки, перепада давления и действующих напоров перед и за исследуемой перемычкой.

На основании статистической обработки полученного массива экспериментальных данных были определены оптимальные (или средние меньшие) значения воздухопроницаемости для различных типов перемычек (табл. 1) и установлена корреляционная связь между воздухопроницаемостью, вентиляционным давлением перед перемычкой и воздействующей на нее депрессией.

Для каждого типа перемычек по установленным значениям критерия воздухопроницаемости стало возможным построить графики функциональных зависимостей между вентиляционными давлениями перед перемычками (H) и воздействующими на них депрессиями (Δh),

Таблица 1. Оптимальные (или средние меньшие) значения воздухопроницаемости для различных типов перемычек

Table 1. Optimal (or average lower) values of air permeability for different types of lintels

Тип перемычки	Средние меньшие значения воздухопроницаемости, м ³ /с м ² даПа
Брусчатая	0,00022
Бетонная	0,000736
Кирпичная	0,000978
Шлакоблочная	0,00112
Чураковая	0,00139

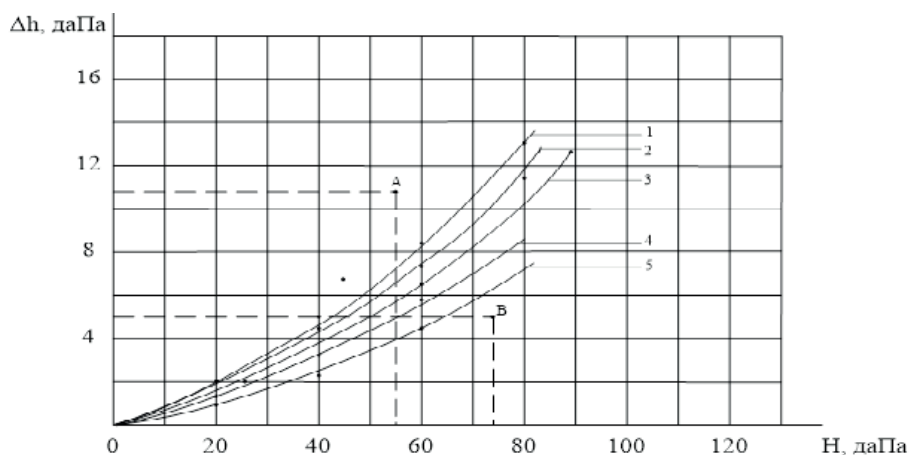


Рисунок 1 Функциональная зависимость между действующим напором (H) и депрессией (Δh) для различных типов перемычек 1- брусчатая, 2- бетонная, 3 - кирпичная, 4 - шлакоблочная, 5- чураковая
Figure: 1 Functional relationship between effective pressure (H) and depression (Δh) for different types of barriers 1-Beam, 2 - concrete, 3- brick, 4- cinder block, 5 – timber block

рис.1.

С использованием представленных графиков по замеренным вентиляционным напорам и перепадам давления можно оценивать аэродинамические качества изоляционных перемычек. Если точка пересечения H и Δh располагается выше кривой для данного типа перемычки, то ее воздухопроницаемость соответствует допустимому значению, если ниже – не соответствует, и надо принимать меры по повышению ее герметичности.

Предлагаемый способ контроля рекомен-

дуется использовать для оценки состояния перемычек, изолирующих выработанные пространства, имеющие связь с земной поверхностью, отработанными выемочными полями, сближенными пластами, горизонтами, а также не полностью погашенными выработками. Его не следует применять в случаях, когда в выработке сооружены несколько изоляционных барьеров, так как замеры, осуществленные при обследовании крайней (доступной) перемычки не могут характеризовать качество изоляции в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах (в редакции на 01.01.2020). Утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 19.11.2013г. №550.
2. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по изоляции неиспользуемых горных выработок и выработанных пространств в угольных шахтах». утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 28.11.2014г. №530.
3. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по предупреждению эндогенных пожаров и безопасному ведению горных работ на склонных к самовозгоранию пластах угля» (в редакции на 01.02.2020). Утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 06.11.2012г. №635.
4. Воронин В.Н. Основы рудничной аэро – газодинамики. Углетехиздат, Москва-Ленинград, 1951.

REFERENCES

1. Federal'nyye normy i pravila v oblasti promyshlennoy bezopasnosti «Pravila bezopasnosti v ugol'nykh shakhtakh (v redaktsii na 01.01.2020) [Federal norms and rules in the field of industrial safety "Safety rules in coal mines (as amended on 01.01.2020)]. Approved by the order of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision dated November 19, 2013. No. 550. [in Russian].
2. Federal'nyye normy i pravila v oblasti promyshlennoy bezopasnosti «Instruktsiya po izolyatsii neispol'zuyemykh gornykh vyrabotok i vyrabotannykh prostranstv v ugol'nykh shakhtakh» [Federal norms and rules in the field of industrial safety "Instructions for the isolation of unused mine workings and worked-out spaces in coal mines"]. Approved by the order of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision dated November 28, 2014. No. 530 [in Russian].
3. Federal'nyye normy i pravila v oblasti promyshlennoy bezopasnosti «Instruktsiya po preduprezhdeniyu endogennykh pozharov i bezopasnomu vedeniyu gornykh rabot na sklonnykh k samovozgoraniyu plastakh uglya» (v redaktsii na 01.02.2020) [Federal norms and rules in the field of industrial safety "Instructions for the prevention of endogenous fires and the safe conduct of mining operations in coal seams prone to spontaneous combustion" (as amended on 02/01/2020)]. Approved by the order of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision dated 06.11.2012. No. 635 [in Russian].
4. Voronin, V.N. (1951). Osnovy rudnichnoy aéro – gazodinamiki [Fundamentals of Mining Aero - Gas Dynamics]. Moscow-Leningrad: Ugletekhizdat [in Russian].



■ П.Б. Герике // P.B. Gericke
am_besten@mail.ru

канд. техн. наук, доцент Институт угля Федерального Исследовательского Центра угля и углехимии СО РАН, 650065, г. Кемерово пр. Ленинградский, 10
Candidate of technical sciences, Associate Professor Institute of Coal of the Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of SB RAS, 10 Leningradsky Prospect, Kemerovo, 650065, Russian Federation.



■ А.Г. Никитин // A.G. Nikitin
nikitin1601@yandex.ru

доктор техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО СибГИУ 654041, Новокузнецк, пр. Бардина, 25
Doctor of Technical Sciences, Professor Siberian State Industrial University 654041, Novokuznetsk, Bardin Avenue – 25, Kemerovo Region, Russia

УДК 681.518.5

ВИБРОДИАГНОСТИКА ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ VIBRATION-BASED DIAGNOSTICS OF CENTRIFUGAL PUMPS

В настоящей статье приведены результаты исследований в области комплексного анализа параметров вибрации, генерируемой при работе промышленных центробежных насосов, эксплуатируемых в условиях предприятий угольной промышленности Кузбасса. Создан научный задел для разработки единого диагностического критерия для оценки и прогнозирования процессов изменения технического состояния эксплуатируемого насосного оборудования, использование которого на практике позволит оптимизировать процедуры диагностики и анализа вибрации и усовершенствовать действующую на предприятиях систему ремонтов. Целью настоящей работы было создание на основе существующей классификации диагностических признаков и правил выявления дефектов промышленных насосов алгоритма разработки единого диагностического критерия. Необходимо было показать, что только широкое использование результатов комплексного подхода к анализу вибрации позволяет открыть инновационный путь к использованию единых диагностических критериев для осуществления прогностического моделирования процессов деградации технического состояния насосного оборудования. В рамках настоящего исследования применялись результаты комплексного диагностического подхода к анализу вибрации, включая спектральный анализ в расширенном частотном и динамическом диапазоне, анализ огибающей спектра и высокочастотный эксцесс. Полученные научные результаты подтверждают эффективность предложенного набора диагностических методологий для анализа параметров вибрации насосных установок и создания единых критериев оценки и прогнозирования. Созданный комплекс диагностических признаков и правил выявления дефектов насосного оборудования по результатам анализа параметров вибрации и разрабатываемый единый диагностический критерий могут использоваться в качестве платформы для реализации базовых элементов системы обслуживания оборудования по его фактическому состоянию. Полученные результаты свидетельствуют о возможности использования единого диагностического критерия для осуществления контроля состояния промышленных насосов и краткосрочного прогнозирования процессов деградации их технического состояния с использованием адаптивных математических моделей.

This article presents the results of research in the field of complex analysis of vibration parameters generated during the operation of industrial pumps, operated in the conditions of the coal industry enterprises of Kuzbass. A scientific groundwork has been created for the development of a unified diagnostic criterion for assessing and predicting the processes of changing the technical state of operating pumping equipment, the use of which in practice will optimize the procedures for diagnostics and analysis of vibration and improve the system of repairs operating at enterprises. The purpose of this work is to create an algorithm for developing a single diagnostic criterion for vibration parameters based on the classification of diagnostic signs and rules for detecting defects in industrial pumps. It was necessary to show that only the widespread use of the results of an integrated approach to the analysis of vibration can open an innovative way to the use of common diagnostic criteria for forecasting modeling of pumping equipment technical state degradation processes. Within the frames of this work, the results of an integrated diagnostic approach to vibration analysis were applied, including spectral analysis in an extended frequency and dynamic range, spectrum envelope analysis, and high frequency kurtosis. The obtained scientific results confirm the effectiveness of the proposed set of diagnostic methodologies for the analysis of vibration parameters of pumping units and the creation of uniform

assessment and forecasting criteria. The created complex of diagnostic signs and rules for detecting defects in pumping equipment based on the results of the analysis of vibration parameters and the developed unified diagnostic criterion can be used as a platform for the implementation of the basic elements of the equipment maintenance system based on its actual state. The results obtained indicate the possibility of using the developed unified diagnostic criterion for monitoring the state of industrial pumps and for carrying out short-term forecast of their technical state degradation processes using adaptive mathematical models.

Ключевые слова: ВИБРОДИАГНОСТИКА, ОБСЛУЖИВАНИЕ ПО ФАКТИЧЕСКОМУ СОСТОЯНИЮ, ЕДИНЫЙ ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ КРИТЕРИЙ, ПРОГНОЗНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, НАСОСНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ.

Key words: VIBRATION DIAGNOSTICS, MAINTENANCE ON THE ACTUAL TECHNICAL CONDITION, A SINGLE DIAGNOSTIC CRITERION, FORECASTING MODELING, PUMP EQUIPMENT.

Введение. На обогатительных фабриках и установках Кузбасса широкое распространение получили насосы центробежного типа благодаря относительной простоте конструкции, долговечности, хорошей ремонтпригодности и высокому КПД. В рамках настоящего исследования использовалась выборка диагностической информации по параметрам вибрации тридцати промышленных центробежных насосов, подлежащих прохождению обязательной процедуры экспертизы промышленной безопасности. Проведенный анализ позволяет заключить, что до $\frac{1}{4}$ объема настоящей выборки находится в недопустимом техническом состоянии, что свидетельствует о нарушении действующих норм системы планово-предупредительных ремонтов и позволяет эксплуатирующим организациям работать на заведомо неисправном оборудовании, провоцируя возникновение нештатных аварийных ситуаций. Оценка технического состояния оборудования, действующая в рамках системы экспертизы промышленной безопасности технических устройств на опасных производственных объектах, является несовершенной. Она не позволяет с высокой степенью достоверности выявлять дефекты на различных стадиях их развития в тех случаях, когда из-за конструктивных и кинематических особенностей объектов диагностирования имеет место полное совпадение частотных признаков наличия дефектов. Поэтому актуальность в таких условиях приобретает создание единых диагностических критериев (ЕДК), пригодных для выполнения эффективной оценки и прогнозирования процессов деградации технического состояния самого разного технологического оборудования. Для каждой группы дефектов энерго-механического оборудования (например, дефекты центровки или повреждения подшипников) должен быть разработан свой уникальный единый критерий, способный заменить собой необходимость использования большой группы отдельных диагностических

признаков и правил [1, 2, 3]. Использование ЕДК позволит уменьшить время, затрачиваемое на анализ диагностических характеристик при одновременном повышении достоверности результатов контроля.

Таким образом, основной целью настоящей работы является разработка алгоритма создания единого диагностического критерия для выявления дефектов центробежных насосов, при помощи которого можно будет осуществлять эффективную оценку фактического состояния техники и прогнозировать развитие процессов деградации узлов и элементов насосного оборудования, эксплуатируемого в условиях угольной промышленности Кузбасса.

На сегодняшний день на рынке программного обеспечения присутствуют прогнозные математические модели, способные осуществлять кратко- и среднесрочное прогнозирование динамики изменения параметров технического состояния различного технологического оборудования по параметрам вибрации [4, 5]. Все они обладают в той или иной степени различными недостатками, в частности обычно такие модели имеют узкую специализацию на однотипных несложных механических устройствах, недостаточную апробацию результатов моделирования, ограниченный набор моделируемых параметров. Универсальной прогнозной деградационной модели не существует, и тому есть несколько причин, например: недостаточная изученность вопросов динамики горных машин, отсутствие представительных баз данных по параметрам вибрации, изменяющиеся в процессе работы оборудования частоты, наличие тихоходных узлов и агрегатов, проведение ремонтов с использованием не номенклатурных (контрафактных, восстановленных или просто подходящих по посадочным параметрам) запасных частей и т.п. Основная идея настоящей работы заключается в том, что возможность создания эффективной математической деградационной модели, которая позволяла бы дать точную

оценку техническому состоянию агрегатов в кратко- и среднесрочной перспективе, появляется с использованием в качестве моделируемых параметров величин единых диагностических критериев, основанных на результатах комплексного подхода к анализу параметров вибрации и учитывающих процессы деградации технического состояния сложных механических систем, включающих необходимость использования при анализе или составлении прогноза отдельных характеристик или параметров вибрационного сигнала и значительного количества диагностических признаков и правил выявления дефектов энерго-механического оборудования.

В условиях действующей на предприятиях системы плановых ремонтов решение задач, связанных с долгосрочным прогнозированием, неактуально, т.к. намного более важным вопросом является потребность в информации: способен ли в принципе агрегат доработать до момента проведения ближайшего ремонта или нет? Поэтому максимальный интерес здесь могут представлять только результаты краткосрочного прогнозирования, которые дают возможность провести оценку вероятности возникновения аварийных отказов оборудования на период одного-двух интервалов диагностирования (т.е. до момента ближайшего ремонта в системе ППР), что является актуальной научной задачей в условиях действующей системы ремонтов. Мировой опыт показал, что для решения подобных задач эффективным может оказаться использование принципов адаптивного краткосрочного прогнозирования, основанного на гибкой настройке параметров математической прогнозной модели в зависимости от изменения входных данных, что позволяет получить

эффективные результаты и смоделировать процесс изменения технического состояния объекта диагностирования на ближайшие несколько недель. Проведенный анализ литературных источников подтвердил эффективность использования адаптивных моделей для осуществления краткосрочного прогнозирования процессов деградации технического состояния сложных механических систем [5, 6, 7]. Их главным недостатком является ограниченность практической области применения, а также недостаточный уровень проверки на практике результатов моделирования с использованием диагностической информации по параметрам вибрации различных типов горного, углеобогачительного и насосного оборудования.

Результаты и их применение.

При сборе и анализе диагностических данных в рамках выполнения настоящего исследования был использован комплексный подход к диагностике насосов по параметрам генерируемой при их работе вибрации, что позволило учесть конструктивные особенности оборудования и специфику его работы. Выбор диагностических методов, средств и контролируемых параметров определялся конкретным типом объекта исследования (привод, мощность, расположение и т.п.) и режимами его работы (цикличность, время работы, фазы пуска/остановки). В итоге, комплексный подход в рамках настоящей работы включал в себя результаты спектрального анализа в стандартном и расширенном частотном и динамическом диапазонах, высокочастотный эксцесс и анализ огибающей спектра.

Выполненный в рамках настоящего исследования обзор литературных источников показал, что сегодня в России не существует мате-

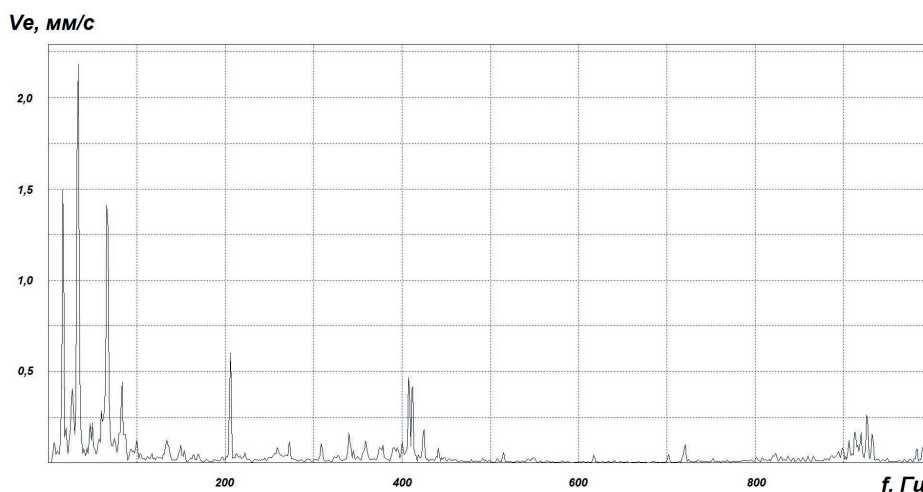


Рисунок 1. Нарушение режима смазки подшипника со стороны свободного конца электродвигателя центробежного насоса ЦНС-180-170

Figure: 1. Violation of the bearing lubrication mode from the free end side of the centrifugal pump CNS-180-170 electric motor

матических прогнозных моделей, использующих в качестве моделируемых параметров единые диагностические критерии оценки вибрации, которые были бы пригодны для осуществления прогноза процессов изменения фактического технического состояния сложных механических систем [8, 9, 10, 11]. Большинство работ в этой области посвящено разработке алгоритмов автоматизированного анализа частот, генерируемых при работе различного энерго-механического оборудования. Практически все такие алгоритмы имеют узкую область применения, обычно ограниченную подшипниками качения или другими несложными и хорошо изученными отдельными элементами технических устройств. При этом они имеют низкий уровень апробации и, как следствие, недостаточный уровень достоверности результатов прогнозирования.

Проведенные в рамках настоящей работы исследования позволили обобщить данные анализа параметров вибрации, полученные при наблюдении за выборкой из тридцати центробежных насосов в течение года, а также осуществить группировку выявляемых дефектов по нескольким базовым группам (среди которых нарушение жесткости опорной системы, нарушение соосности агрегатов, неуравновешенность вращающихся деталей, износ элементов насоса, дефекты ременных передач, дефекты подшипниковых узлов и повреждения двигателей электрической природы). Всей совокупности выявляемых здесь дефектов соответствует более ста диагностических признаков, большинство из которых относится к области спектрального анализа (см. некоторые примеры на рисунках 1, 2 и 3). Кроме того, проведенные ранее исследования позволили разработать индивидуальные спектральные маски высокой степени детализации для нормирования вибрации на центробежных насосах фирмы Warman с доверительной вероятностью до 95% [9]. Степень проработки масок позволила осуществить расчет индивидуальных предельных значений для четырнадцати частотных полос на основе обработки массива статистической информации по вибрации однотипных центробежных насосов. В результате удалось выявить наиболее информативные частотные диапазоны спектра и осуществить их нормирование, результаты которого позволили определить допустимые пороговые значения уровня мощности сигнала в отдельных полосах спектра, которые могут использоваться при создании адаптивных прогностических моделей. Кроме того, в рамках выполнения настоящей работы был формализован ряд диагностических

признаков для выявления дефектов насосных установок. Всего было подвергнуто формализации около ста диагностических признаков в области спектрального анализа, анализа огибающей и эксцесса, обобщение полученных результатов позволило использовать данные признаки при разработке алгоритмического кода создания единого диагностического критерия для оценки фактического состояния насосного оборудования.

Попытки создать единый критерий для диагностики оборудования по параметрам вибрации не прекращаются давно, поиску решения этой проблемы посвящены научные труды отечественных и зарубежных авторов [4, 6, 9, 12]. Общим недостатком существующих алгоритмов является крайне узкая область их применения (например, подшипники качения однотипного оборудования или дефекты, связанные с нарушением жесткости опорной системы). Отсутствие универсальных критериев, при помощи которых можно было бы диагностировать фактическое состояние технических устройств в целом, рассматривая их как механическую систему с большим числом деталей и элементов, объясняется сложностью интерпретации результатов комплексного анализа параметров механических колебаний, а также недостаточностью существующих баз данных по параметрам вибрации оборудования. Принципиальное отличие настоящей работы заключается в том, что здесь была предпринята попытка создать единый диагностический критерий, при помощи которого можно оценить состояние не отдельного конструктивного узла или элемента, а всего насосного агрегата как единой технической конструкции.

Эффективность создаваемого единого критерия основана на комплексном подходе к использованию совокупности диагностических признаков и критериев, что делает ЕДК способным диагностировать дефекты насосного оборудования на всех стадиях их развития, от зарождения, до состояния, предшествующего аварийному выходу агрегата из строя. Обобщение результатов анализа вибродиагностических данных, полученных в рамках выполнения настоящей работы, позволили сформулировать восемь основных диагностических признаков, пригодных для выполнения оценки состояния оборудования центробежных насосов по параметрам вибрации:

1. Общий уровень сигнала, а также совокупность амплитуд гармоник на «подшипниковых» частотах по параметру виброскорости

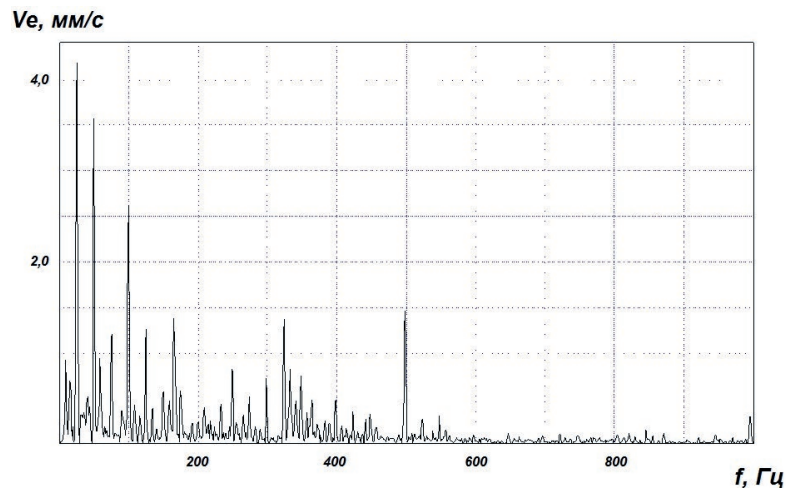


Рисунок 2. Нарушение жесткости опорной системы насоса Warman 65 WP 42259 QV-SP
Figure: 2. Pump Warman 65 WP 42259 QV-SP support system rigidity violation

(2...3000 Гц).

2. Нормированный общий уровень сигнала и пиковое значение по параметру виброускорения в диапазоне 50...5 000 Гц.

3. Оценка гармонической активности на «ременных» частотах спектра, включая флуктуацию их гармоник и обертонов.

4. Градиент модуляции спектра огибающей вибросигнала в области «подшипниковых» и «лопаточных» частот, включая промежуточные и модуляционные составляющие.

5. Общий уровень по параметру вибро скорости в низкочастотном диапазоне спектра (2 Гц ... $15_{f_{R1}}$), содержащий признаки нарушения жесткости опорной системы, дисбаланса вращающихся деталей, а также несоосности шкивов ременной передачи.

6. Мера подобия, определяемая по результатам сравнения характеристик вейвлет-преобразования, временной волны и параметров эксцесса для реального и «эталонного» сигналов.

7. Совокупность амплитуд лопаточных частот, включая субгармоники, обертоны, боковые и модуляционные частоты, свидетельствующие о наличии неоднородности потока жидкости в проточной части центробежных насосов. Данный признак наиболее выражен в горизонтальной плоскости и является следствием эксплуатационного износа рабочего колеса и лопаток (раковины, неравномерная толщина лопаток, каверны, трещины и т.п.).

8. Низкочастотные колебания в диапазоне 1-4 Гц, свидетельствующие о пульсации потока жидкости и приводящие к ускоренному износу уплотнений насоса.

Появление износа на лопатках рабочих колес центробежных насосов влечет за собой

возникновение явлений дисбаланса вращающихся деталей насоса, а также рост гармоник ряда оборотной частоты ротора и лопаточных частот, включая боковые и модуляционные составляющие спектра (см. рисунок 3).

Выводы. Исследования параметров вибрации, генерируемой при работе насосного оборудования, подтвердили эффективность предложенного набора диагностических методологий для выполнения оценки и прогнозирования процессов деградации технического состояния насосного оборудования. Результаты комплексного подхода к диагностике, включая спектральный анализ по параметрам вибро скорости и виброускорения в расширенном частотном диапазоне, анализ огибающей и эксцесс, позволили обнаруживать динамику развития повреждений насосного оборудования и подтверждать данные экспресс-анализа. Следовательно, ЕДК для эффективной оценки состояния насосных агрегатов, должен основываться на результатах комплексного подхода к анализу параметров вибрации, генерируемой при их работе, а также предложенного набора диагностических признаков и правил, позволяющих выявить все основные дефекты диагностируемого оборудования.

Кроме того, отдельного рассмотрения заслуживает вопрос создания гибкой системы фильтрации, позволяющей очистить спектр от «паразитного» шума различной природы и «лишних» гармоник, что значительно расширит область применения единых диагностических критериев. Решение этой задачи возможно при условии реализации процедур клиппирования спектра [13, 14, 15]. Неотъемлемой частью алгоритмов клиппирования является уточнение оборотной частоты, как правило, основанное на поиске максимумов амплитуд значащих гармо-

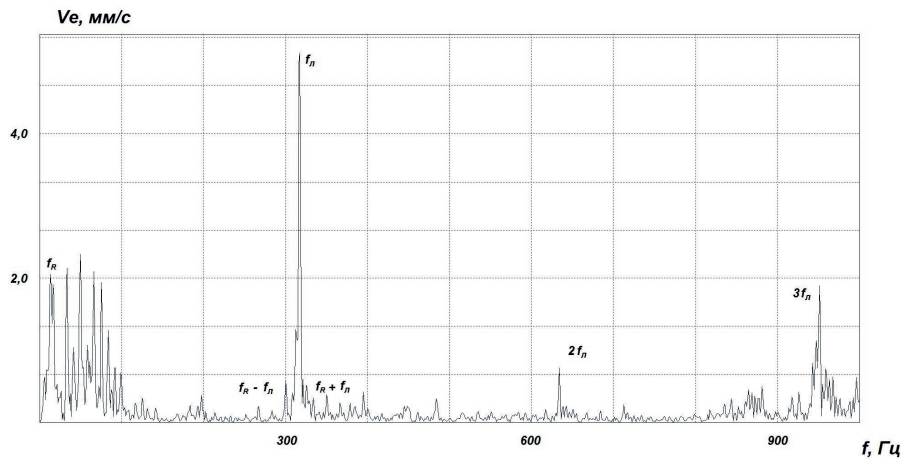


Рисунок 3. Множественные каверны на лопатках рабочего колеса насоса ЦН400-210а
Figure: 3. Multiple cavities on the impeller blades of the pump CN 400-210a

ник в области низких частот спектра. В случаях наличия неявных максимумов обратной частоты значительного уровня шумов и присутствия в спектре различных по своей природе гармонических составляющих наиболее эффективным может оказаться использование процедуры клиппирования, предложенной в работе [9]. Использование многомерного пространства диагностических признаков и применение алгоритмов скаляризации данных, а также пошаговая сегментация групп объектов с различной степенью развития повреждений являются неотъемлемыми этапами алгоритма создания единого критерия для диагностики и прогнозирования процессов деградации технического состояния центробежных насосов.

Заключение

Разработка единых критериев, пригодных для осуществления диагностики и прогнозирования процессов деградации фактического состояния промышленных насосных агрегатов, позволит внедрить на практике элементы системы обслуживания техники по ее фактическому состоянию, что убедительно свидетельствует об актуальности предлагаемых алгоритмов разработки ЕДК.

Использование данного критерия при создании адаптивной прогнозной математической

модели позволит получать более достоверные результаты по сравнению с применением традиционных моделируемых параметров – общего уровня виброскорости и виброускорения, что является необходимым условием для осуществления краткосрочного прогнозирования в условиях действующей на сегодня системы планово-предупредительных ремонтов технологического оборудования в угольной и горнорудной промышленности [9, 16]. Анализ полученных в рамках выполнения настоящей работы результатов диагностирования насосного оборудования свидетельствует о наличии острой потребности в результатах комплексного подхода к анализу вибрации для создания единого диагностического критерия, пригодного для осуществления эффективной оценки текущего состояния и прогнозирования развития деградационных процессов на обследуемом оборудовании. Результаты внедрения предложенной концепции позволят минимизировать количество несчастных случаев на производстве, вызванных недопустимым техническим состоянием оборудования, а также уменьшить количество аварийных простоев эксплуатируемой техники, сделать более эффективным снабжение запасными частями и оптимизировать действующую на предприятиях систему ремонтов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Неразрушающий контроль. Справочник в 7 томах под редакцией чл.-корр. РАН В.В. Клюева, т.7 – Москва, 2005. – 828 с.
2. Лукьянов А.В. Классификатор вибродиагностических признаков дефектов роторных машин. / Иркутск: Издательство ИргТУ, 1999. – 230 с.
3. Gericke B.L., Gerike P.B., Klishin V.I. Highly efficient hard rock-breaking tool for mining machines. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 2019. C. 012019.
4. Puchalski A., Komorska I. Stable distributions and fractal diagnostic models of vibration signals of rotating systems. Applied Condition Monitoring. 2018, Vol. 9. Pp 91-101. https://doi.org/10.1007/978-3-319-61927-9_9
5. V. Pozhidaeva. Determining the roughness of contact surfaces of the rolling bearings by the method of shock pulses. World Tribology Congress III, September 12-16, 2005, Washington, D.C., USA
6. F. Balducci, M. Arghir, S. Gaudillere. Experimental analysis of the unbalance response of rigid rotors supported on aerodynamic foil bearings. Proceedings of ASME Turbo Expo 2014: Turbine Technical Conference and Exposition

- GT2014. June 16 – 20, 2014, Düsseldorf, Germany.
7. Puchalski A. «A technique for the vibration signal analysis in vehicle diagnostics», *Mechanical Systems and Signal Processing* #56-57(2015). 173–180
 8. Trebuna F., Šimcak F., Bocko J., Hunady R., Pastor M. «Complex approach to the vibrodiagnostic analysis of excessive vibration of the exhaust fan», *Engineering Failure Analysis* #37 (2014). 86–95
 9. Герике П.Б. Выявление дефектов энерго-механического оборудования дробильно-классификационных установок / Горное оборудование и электромеханика, №2. – Кемерово. – 2020. С. 27-34.
 10. Schreiber, R. Induction motor vibration diagnostics with the use of stator current analysis. *Proceedings of the 2016 17th International Carpathian Control Conference, ICC 2016*. Pp. 668-672. <https://doi.org/10.1109/CarpathianCC.2016.7501179>
 11. Shardakov I., Shestakov A., Tsvetkov R., Yepin V. Crack diagnostics in a large-scale reinforced concrete structure based on the analysis of vibration processes. *AIP Conference Proceedings* 2053, 040090 (2018). <https://doi.org/10.1063/1.5084528>
 12. Ширман А.Р. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования / Ширман А.Р., Соловьев А.Б. / Москва, 1996. – 276 с.
 13. Барков А.В. Вибрационная диагностика машин и оборудования. Анализ вибрации. Учебное пособие. / Барков А.В., Баркова Н.А. / Издательство СПбГМТУ. Санкт Петербург, 2004. — 156 с.
 14. Wang, T., Han, Q., Chu, F., Feng, Z. Vibration based condition monitoring and fault diagnosis of wind turbine planetary gearbox : A review. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2019. V.126,. Pp. 662-685. <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2019.02.051>
 15. Ghasemloonia A., Rideout D. G., Butt S. D. Vibration Analysis of a Drillstring in Vibration-Assisted Rotary Drilling: Finite Element Modeling With Analytical Validation. *Journal of Energy Resources Technology* SEPTEMBER 2013, Vol. 135 / 032902-1
 16. Герике П.Б., Ещеркин П.В. Разработка единого диагностического критерия для диагностики подшипников качения энерго-механического оборудования карьерных экскаваторов / Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности, №2. – Кемерово. – 2020. С. 65-72.

REFERENCES

1. Kliuiev, V.V. (Eds.). (2005). *Nerazrushayushchiy kontrol'. Spravochnik [Non-destructive control. Handbook]*. (Vols. 1-7). Moscow [in Russian].
2. Lukianov, A.V. (1999). *Klassifikator vibrodiagnosticheskikh priznakov defektov rotornykh mashin [Classifier of vibrodiagnostic signs of defects in rotary machines]*. Irkutsk: IrGTU [in Russian].
3. Gericke B.L., Gerike P.B., Klishin V.I. Highly efficient hard rock-breaking tool for mining machines. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 2019. C. 012019.
4. Puchalski A., Komorska I. Stable distributions and fractal diagnostic models of vibration signals of rotating systems. *Applied Condition Monitoring*. 2018, Vol. 9. Pp 91-101. https://doi.org/10.1007/978-3-319-61927-9_9 [in English].
5. V. Pozhidaeva. Determining the roughness of contact surfaces of the rolling bearings by the method of shock pulses. *World Tribology Congress III, September 12-16, 2005, Washington, D.C., USA* [in English].
6. F. Balducchi, M. Arghir, S. Gaudillere. Experimental analysis of the unbalance response of rigid rotors supported on aerodynamic foil bearings. *Proceedings of ASME Turbo Expo 2014: Turbine Technical Conference and Exposition GT2014. June 16 – 20, 2014, Düsseldorf, Germany* [in English].
7. Puchalski A. «A technique for the vibration signal analysis in vehicle diagnostics», *Mechanical Systems and Signal Processing* #56-57(2015). 173–180 [in English].
8. Trebuna F., Šimcak F., Bocko J., Hunady R., Pastor M. «Complex approach to the vibrodiagnostic analysis of excessive vibration of the exhaust fan», *Engineering Failure Analysis* #37 (2014). 86–95 [in English].
9. Gerike, P.B. (2020). *Vyyavleniye defektov energo-mekhanicheskogo oborudovaniya drobil'no-klassifikatsionnykh ustanovok [Detection of defects in power-mechanical equipment of crushing and classification plants]*. *Gornoye oborudovaniye i elektromekhanika - Mining equipment and electromechanics*, 2, 27-34 [in Russian].
10. Schreiber, R. Induction motor vibration diagnostics with the use of stator current analysis. *Proceedings of the 2016 17th International Carpathian Control Conference, ICC 2016*. Pp. 668-672. <https://doi.org/10.1109/CarpathianCC.2016.7501179>
11. Shardakov I., Shestakov A., Tsvetkov R., Yepin V. Crack diagnostics in a large-scale reinforced concrete structure based on the analysis of vibration processes. *AIP Conference Proceedings* 2053, 040090 (2018). <https://doi.org/10.1063/1.5084528>
12. Shirman, A.P., & Soloviev, A.B. (1996). *Prakticheskaya vibrodiagnostika i monitoring sostoyaniya mekhanicheskogo oborudovaniya [Practical vibration diagnostics and condition monitoring of mechanical equipment]*. Moscow: [in Russian].
13. Barkov, A.V., & Barkova, N.A. (2004). *Vibratsionnaya diagnostika mashin i oborudovaniya. Analiz vibratsii. Uchebnoye posobiye [Vibration diagnostics of machines and equipment. Vibration analysis. Tutorial]*. St.Petersburg: SPbGMTU [in Russian].
14. Wang, T., Han, Q., Chu, F., Feng, Z. Vibration based condition monitoring and fault diagnosis of wind turbine planetary gearbox: A review. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2019. V.126,. Pp. 662-685. <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2019.02.051> [in English].
15. Ghasemloonia A., Rideout D. G., Butt S. D. Vibration Analysis of a Drillstring in Vibration-Assisted Rotary Drilling: Finite Element Modeling With Analytical Validation. *Journal of Energy Resources Technology* SEPTEMBER 2013, Vol. 135 / 032902-1 [in English].
16. Gerike, P.B., & Yeshcherkin, P.V. (2020). *Razrabotka yedinogo diagnosticheskogo kriteriya dlya diagnostiki подшипников качения энерго-механического оборудования карьерных экскаваторов [Development of a unified diagnostic criterion for diagnostics of rolling bearings of power-mechanical equipment of open pit excavators]*. *Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugolnoi promyshlennosti – Herald of Safety in Mining Industry Scientific Center*, 2, 65-72 [in Russian].



М.В. Шинкевич //
M.V.Shinkevich

канд. техн. наук, старший научный сотрудник, Институт угля Федерального исследовательского центра угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук (ИУ ФИЦ УУХ СО РАН)

Candidate of technical sciences, senior researcher, Institute of Coal, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry (IU FITs UUKh SO RAN)



Р.И. Родин // R.I.Rodin

научный сотрудник, Институт угля Федерального исследовательского центра угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук (ИУ ФИЦ УУХ СО РАН)

Researcher, Institute of Coal, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry (IU FITs UUKh SO RAN)

УДК 622.831.1

ВОЛНООБРАЗНОСТЬ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ ПРИ ОТРАБОТКЕ ДЛИННЫХ ЛАВ

ROCK PRESSURE WAVINESS DURING LONGWALL WORKING

В работе рассматриваются методы и средства изучения процесса сдвижения горных пород в результате проведения горных выработок. На основе мониторинга данных горного давления на секции механизированной крепи определен волнообразный характер распределения горного давления в длинном очистном забое при отработке выемочного столба. Отстроена поверхность сводов давления с помощью программного продукта Surfer, что позволило отследить процессы в забойной части лавы. Использовались данные о давлении в сойках механизированной крепи фирмы Марсо. В расчетах принималась средняя плотность пород 2,5 м³/т. Приведены профили поверхности сводов давления по дине лавы. С учетом процессов структуризации массива разработан алгоритм нахождения высоты свода давления, который обеспечивает удовлетворительную сходимость с фактическими данными.

The paper discusses the rocks displacement process as a result of mining studying methods and means. On the basis of monitoring the rock pressure data on the power support section, the wave-like nature of the rock pressure distribution at a long extraction face during the mining of the extraction pillar was determined. The surface of the pressure vaults was constructed using the Surfer software product, which made it possible to track the processes in the face part of the longwall. The data on the pressure in the props of the Marco powered roof support were used. The calculations assumed the average rock density of 2.5 m³ / t. The profiles of pressure arches' surface along the length of the longwall are given. Taking into account the processes of the massif structuring, an algorithm for finding the height of the pressure arch was developed, which provides a satisfactory convergence with the actual data.

Ключевые слова: УГОЛЬНЫЙ ПЛАСТ, СДВИЖЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД, ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЙ ВЫЕМОЧНЫЙ УЧАСТОК, ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, СТРУКТУРИЗАЦИЯ МАССИВА

Key words: COAL SEAM, ROCK DISPLACEMENT, HIGH-PERFORMANCE EXTRACTION SECTION, GEOMECHANICAL PROCESSES, MASS STRUCTURING

Современное развитие технологии добычи угля характеризуется рядом особенностей сдвижения вмещающих пород, которые обуславливают необходимость разработки новых подходов к изучению геомеханических процессов. Это в первую очередь связано с увеличением нагрузки на забои очистных выработок. Интенсификация очистных работ, увеличение длин лав, выемочных столбов неизбежно приводит к изменению всех геомеханических процессов, происходящих в забое.

Решение задачи управления геомеханическим состоянием как вмещающих пород кровли,

так и угольного пласта сводится к установлению закономерностей процессов, протекающих в окружающем породном массиве вследствие непрерывного подвигания забоя. Этому вопросу посвящено много работ как за рубежом [1-6], так и в России [7-12].

Детальное изучение этих сложных процессов является актуальным для современного состояния и будущего развития угольной промышленности.

Представления о поведении породного массива базируются главным образом на данных наблюдений за оседанием земной поверх-

ности, т.е. на данных конечной стадии формирования процессов сдвига, и по ним можно получить лишь косвенные суждения о процессе внутри массива.

Впервые наиболее правильное представление картины сдвижений в толще породы среди русских ученых было дано проф. П.М. Леотновским, который считал, что непосредственно над выработанным пространством образуется зона "комбинированных обрушений и оседаний" и выше над ней – зона "чистых" прогибов, тогда как до его теории считалось, что господствующей формой сдвига является обрушение. Также особое место в исследованиях процессов сдвига горных пород принадлежит И.М. Бахурину, С.Г. Авершину, Д.А. Казаковскому, А.А. Борисову и т.д.

В последние десятилетия XX века были проведены достаточно серьезные исследования процессов сдвига, в том числе и с применением глубинных реперов из радиоактивных изотопов и геофизических гамма-каротажных приборов с дистанционной регистрацией смещения слоёв в толще породы [13]. Комплексными экспериментальными исследованиями, проведёнными на шахтах Карагандинского бассейна с различными горно-геологическими условиями, в подрабатываемом массиве выявлено, что движение очистного забоя приводит к циклическому изменению длин консолей зависающих слоев пород, участвующих в формировании опорного давления. Формирование консолей сопровождается поднятием слоев пород впереди забоя лавы. Натурными наблюдениями установлено [13], что даже в слабых породах при длине очистного забоя 100 м поднятие кровли впереди лавы достигает 3 см на расстоянии 10-15 м от плоскости забоя. В работе [14] показано, что с ростом прочности пород влияние этого эффекта возрастает и происходит «топтанье» пласта угля. В работе [15] аналитически и экспериментально с применением моделирования технологий угледобычи доказано, что распределение

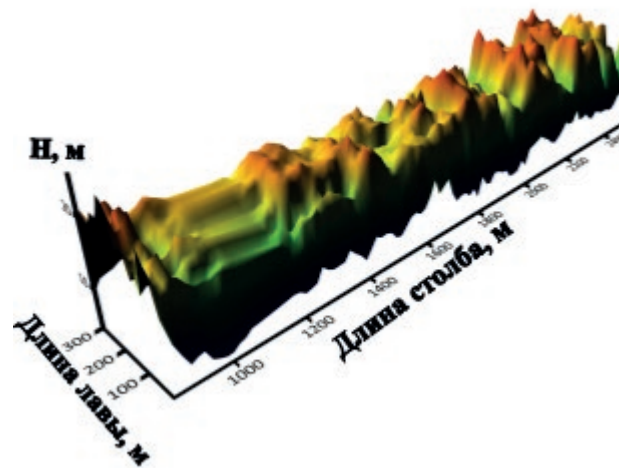


Рисунок 1. Поверхность сводов давления в лаве № 24-62
Figure 1 - Surface of pressure arches in longwall No. 24-62

горного давления в длинном очистном забое имеет волнообразный характер.

При разработке газоносных угольных месторождений отмечается некоторая волнообразность метанообильности выемочных участков. Использовалась система электронного мониторинга атмосферы горных выработок. Известно, что метан из пластов выделяется при их разгрузке от горного давления, и это позволило увязать изменения метанообильности с геомеханическими процессами. Замечено, что изменения метанообильности по длине выемочного столба гораздо больше шагов обрушения кровли [16]. Адекватность разработанного метода подтверждается не только приведенными результатами горно-экспериментальных исследований динамики метанообильности выемочных участков, но и анализом данных об изменении давления в стойках механизированной крепи. Расширение базы горно-технологических данных на разрабатываемые участки месторождений позволило обнаружить, что отмечаемую периодичность геомеханического процесса, можно представить совокупностью вложенных сводов сдвижений [17].

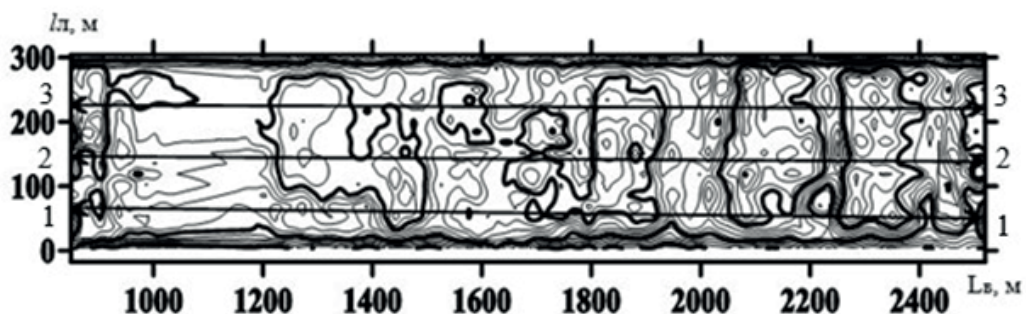


Рисунок 2. Поверхность сводов давления лавы № 24-62 в плане
Figure 2 - The surface of the pressure arches of longwall No. 24-62 in plan

Для примера нами был выбран участок на шахте им. С.М. Кирова, лава № 24-62. Глубина разрабатываемого пласта меняется от 520 до 476 от монтажной камеры. Мощность пласта в среднем 2,5 м. Длина лавы l_l – 300 м. Длина столба L_b – 2500 м. Непосредственная кровля представлена алевролитом, крепостью $f = 4-5$, мощностью 7- 9 м, и песчаником, мощностью до 34 м, крепостью $f = 5-6$.

В условиях лавы № 24-62 первичный шаг обрушения по Мурашеву В. И. составляет 35 м, вторичный шаг обрушения – 7 м.

В этой лаве также проведен мониторинг горного давления на секции механизированной крепи по показаниям давления в стойках по известному алгоритму с использованием данных фирмы Marko [18]. В расчетах принимаем среднюю плотность пород 2,5 мз/т. Была отстроена поверхность сводов давления в программе Surfer (рис. 1). Кроме очевидной наглядности процесса, можно выявить определенные закономерности. Поскольку поверхность сводов давления свидетельствует о процессах в забойной части отработываемого пласта, то по показаниям давления в стойках крепи определим высоту зоны беспорядочного обрушения, именно она и давит на механизированную крепь. Как видим, она равна 6-8 кратной мощности разрабатываемого пласта, что согласуется с общепризнанной литературой по данному вопросу. Необходимо разделять процессы в зоне беспорядочного обрушения и в области влияния очистной выработки. Под зоной влияния выработки следует понимать весь массив, где происходят деформации, сдвигения и обрушения пород.

Если посмотреть на повежность сводов давления в плане (рис. 2), где жирной линией выделена высота свода в 20 метров, то можно увидеть чередующиеся выпуклости, которые повторяются примерно через 200-250 м.

Ниже приведены профили поверхности сводов давления, распределенного по длине лавы. Как мы видим, высота сводов начинается с 14 метров и заканчивается 23 метрами. Изменение их высоты зависит от прочности кровли, мощностей слоев, скорости подвигания очистного забоя. Проявляется и ярко выраженная волнообразность с примерно одинаковым периодом.

Несовпадения длин возрастания высот сводов связаны именно с анизотропией массива и неравномерностью движения забоя.

Таким образом, понимание процесса структуризации массива позволяют нам разработать алгоритм нахождения высоты свода давления.

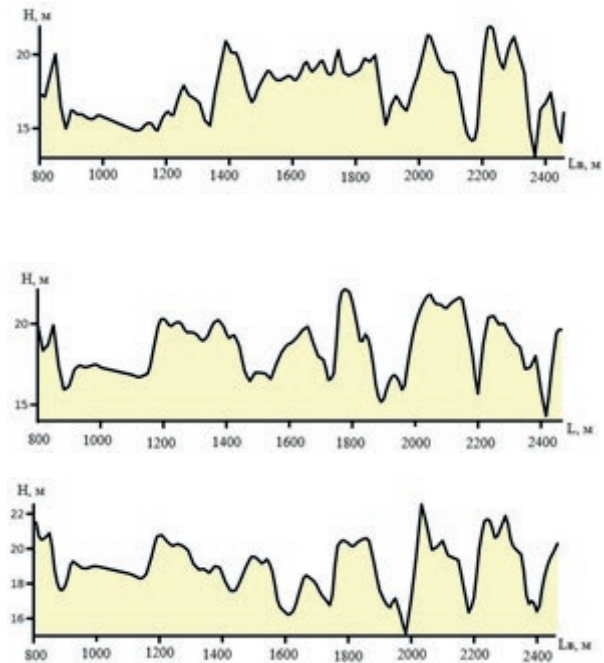


Рисунок 3 (а, б, в). Профили поверхности давления: а – 1/3 длины лавы (линия 1-1), б – 1/2 длины лавы (ось лавы) (линия 2-2), в – 2/3 длины лавы (линия 3-3).

Figure 3 (a, b, c) - Profiles of the pressure surface: a - 1/3 of the longwall length (line 1-1), b - 1/2 of the longwall length (axis of the face) (line 2-2), c - 2 / 3 of the longwall lengths (line 3-3).

Расчетная мощность свода давления на крепь

$$h_{p,x} = (h_n + A_n) + A_n \sin \left(2 \frac{L_{e,x}}{l_p} - \sqrt{2} \right) \quad (1)$$

здесь $0 \leq L_{e,x} \leq L_e$ – текущая координата в пределах свода сдвижений; м; h_n – мощность минимального свода в структурной иерархии, м [17]; x – индекс, обозначающий положение забоя по длине столба L_e , м.

Амплитуда синусоиды:

$$A_n = \frac{0,1h_0 2^{n+1}}{\sqrt{2}}, \quad (2)$$

где h_0 – мощность критического слоя, численно равна величине вторичного обрушения кровли, м; $\sqrt{2}$ – величина канонического параметра геосреды [19].

Интервал изменения давления на крепь

$$l_p = 2^{n+k} h_0, \text{ м.} \quad (3)$$

где $n = 2$ – уровень структурной иерархии, k – эмпирический коэффициент (для ш. им С.М. Кирова равен 1,3).

На рис. 4 представлен участок по длине выемочного столба лавы 24-62, расчетной мощности свода давления, согласующейся с фактическими данными.

Из рис. 4 видим, что периодичность и амплитуда давления в забойной зоне пласта в

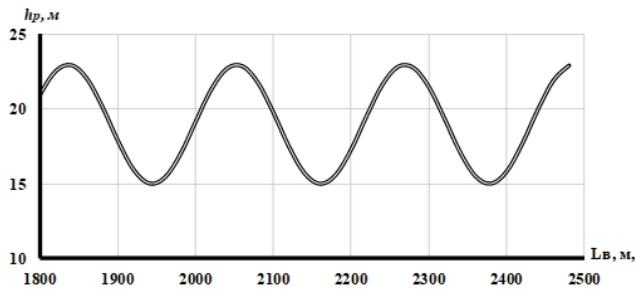


Рисунок 4. Расчетная мощность свода давления
Figure 4 - Estimated capacity of the pressure arch

первом приближении, учитывая реальную анизотропию пород кровли, согласуется с моделью развития процесса во вмещающем массиве в зоне влияния выработки [20].

Из всего вышесказанного можно сделать следующие выводы:

1. Высота свода давления совпадает с указанными ранее параметрами для свода обрушения в 6-8 мощностей пласта [21].
2. Процесс обрушения и сдвижений кровли в длинном очистном забое имеет волнообразный характер.
3. Высоту свода давления можно определить, используя синусоиду и понятие о структуризации массива согласно представленному в данной статье подходу.

Авторы выражают огромную благодарность коллективу АО «СУЭК-Кузбасс» за предоставленные материалы

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бенявски, З. Управление горным давлением // Пер. с англ. М.: Мир, – 1990. – 254 с.
2. Gu, S. Case of rock burst danger and its prediction and prevention in tunneling and mining period at an irregular coal face / S. Gu, B. Jiang, C. Hu, W. Zhang // Geotechnical and Geological Engineering. – 2019. – Т. 37. – № 4. – С. 2545-2564.
3. Li, J. Spatio-temporal assessments of rockburst hazard combining b values and seismic tomography / J. Li, S.-Y. Gong, J. He, W. Cai, G.-A. Zhu, C.-B. Wang, T. Chen // Acta Geophysica. – 2017. – Т. 65. – № 1. – С.77-88.
4. Zhou, H. Estimation of the effective thermal properties of cracked rocks / H. Zhou, H. Liu, D. Hu, F. Yang, J. Lu, F. Zhang // European Journal of Environmental and Civil Engineering. – 2016. – Т. 20. – № 8. – С.954-970.
5. Reuter, M. Zonal disintegration of rocks around breakage headings / M. Reuter, M. Krach, U. Kießling, Y. Veksler // Journal of Mining Science. – 2015. – Т. 51. – № 2. – С.237-242.
6. Yu, Y. Time fractal behavior of microseismic events for different intensities of immediate rock bursts / Y. Yu, D.-X. Geng, L.-H. Tong, X.-S. Zhao, X.-H. Diao, L.-H. Huang // International Journal of Geomechanics. – 2018. – Т. 18. – № 7. – С. 06018016.
7. Шадрин, А.В. Совершенствование методов автоматизированного прогноза опасности проявления динамических явлений в процессе разупрочнения кровли и профилактической гидрообработки угольных пластов / А.В. Шадрин, В.И. Клишин // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. – 2017. – № 3. – С. 31 – 35.
8. Черданцев, Н. В. Расчет траектории движения одиночной трещины, расположенной в массиве горных пород, нагруженной давлением жидкости / Н. В. Черданцев, А. В. Шадрин // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2017. – № 4. – С. 18 – 26.
9. Прогноз метановой опасности угольных шахт при интенсивной отработке угольных пластов / Н. М. Качурин, В. И. Клишин, А. М. Борщевич, А. Н. Качурин // Тула – Кемерово. – ТулГУ, – 2013. – 220 с.
10. Portola, V. A. Indirect Negative Influence of Coal Mine Motor Vehicles on the Environment [Electronic resource] / V. A. Portola, E. S. Torosyan, A. S. Kuznetsova // Applied Mechanics and Materials: Scientific Journal. – 2015. – Vol. 770: Urgent Problems of Up-to-Date Mechanical Engineering. – P. 690-694
11. Shadrin, A.V. Geophysical criterion of pre-outburst coal outskueezing from the face space into the working / Shadrin, Y. Diyuk. // International Journal of Mining Science and Technology. <https://doi.org/10.1016/j.IJMST.2018.11.001>
12. Kormin, A.N. Seismological survey of the coal fields based on the applying of the low-power sources of oscillation / A.N. Kormin, O.V. Tailakov, S.V. Sokolov, M.P. Makeev // E3S Web of Conferences Electronic edition, – 2018, –№01029, – pp. 1-5 (DOI: 10.1051/e3sconf/20184101029)
13. Канлыбаева, Ж.М. Закономерности сдвижения горных пород в массиве // – Наука. –1968. – 108 с.
14. Черняк, И.Л. Периодичность изменения напряженно-деформированного состояния массивов угля и пород впереди очистного забоя / И.Л.Черняк, В.Е. Зайденварг // Горный журнал. Изв. Высших учебных заведений. – 1993. – №3. – С.25-28.
15. Якоби, О. Практика управления горным давлением // Пер. с нем. М.: Недра, – 1987. – 566 с.
16. Козырева, Е.Н. Некоторые особенности управления метанообильностью высокопроизводительного выемочного участка / Е.Н. Козырева, М.В. Шинкевич, Н.Ю. Назаров // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011, – № 9. – С. 322-325.
17. Козырева, Е.Н. Газокинетические следствия нелинейных геомеханических процессов в массиве горных пород на шахтах Кузбасса [текст] / Е.Н. Козырева, М.В. Шинкевич, Родин Р.И.// 2-ая Российско-Китайская научная конференция «Нелинейные геомеханико-геодинамические процессы при отработке месторождений полезных ископаемых на больших глубинах» Сборник трудов. – Новосибирск: ИГД СО РАН, – 2012. – С. 267 – 272.
18. Shinkevich, M. V. Variability of rock pressure long he length of the working ace. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi hurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal – 2020; – №3: – P.24–30. DOI: 10.21440/0536-1028-2020-3-24-307.
19. Опарин, В. Н., Танайно А. С. Каноническая шкала иерархических представлений в горном породоведении. – Новосибирск: Наука. – 2011. – 259 с.
20. Курленя, М. В. Проблемы нелинейной геомеханики / М.В. Курленя, В.Н. Опарин // ФТПРПИ. – 1999. – № 3. – С. 12-26.

21. Петухов, И.М. Теория защитных пластов / И.М. Петухов, А.М. Линьков и др. – М.: Недра, 1976. – 224 с.

REFERENCES

1. Beniavsky, Z. (1990). Upravlenie gornym davleniem [Rock pressure control]. Moscow: Mir [in Russian].
2. Gu, S. Case of rock burst danger and its prediction and prevention in tunneling and mining period at an irregular coal face / S. Gu, B. Jiang, C. Hu, W. Zhang // Geotechnical and Geological Engineering. – 2019. – V. 37. – № 4. – С. 2545-2564. [in English].
3. Li, J. Spatio-temporal assessments of rockburst hazard combining b values and seismic tomography / J. Li, S.-Y. Gong, J. He, W. Cai, G.-A. Zhu, C.-B. Wang, T. Chen // Acta Geophysica. – 2017. – V. 65. – № 1. – С.77-88 [in English].
4. Zhou, H. Estimation of the effective thermal properties of cracked rocks / H. Zhou, H. Liu, D. Hu, F. Yang, J. Lu, F. Zhang // European Journal of Environmental and Civil Engineering. – 2016. – V. 20. – № 8. – С.954-970 [in English].
5. Reuter, M. Zonal disintegration of rocks around breakage headings / M. Reuter, M. Krach, U. Kießling, Y. Veksler // Journal of Mining Science. – 2015. – V. 51. – № 2. – С.237-242 [in English].
6. Yu, Y. Time fractal behavior of microseismic events for different intensities of immediate rock bursts / Y. Yu, D.-X. Geng, L.-H. Tong, X.-S. Zhao, X.-H. Diao, L.-H. Huang // International Journal of Geomechanics. – 2018. – V. 18. – № 7. – С. 06018016 [in English].
7. Shadrin, A.V., & Klishin, V.I. (2017). Sovershenstvovaniye metodov avtomatizirovannogo prognoza opasnosti proyavleniya dinamicheskikh yavleniy v protsesse razuprochneniya krovli i profilakticheskoy gidroobrabotki ugol'nykh plastov [Dynamic phenomena manifestation danger automated forecasting methods improvement in the process of roof softening and coal seam preventive hydro treatment]. Vestnik Nauchnogo tsentra VostNII po promyshlennoi i ekologicheskoi bezopasnosti – Scientific Center VostNII Herald of Industrial and Environmental Safety, 3, 31-35 [in Russian].
8. Cherdantsev, N.V., & Shadrin, A.V. (2017). Raschet trayektorii dvizheniya odinochnoy treshchiny, raspolozhennoy v massive gornykh porod, nagruzhennoy davleniyem zhidkosti [A single crack located in a rock mass, loaded with fluid pressure trajectory calculation]. Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugolnoi promyshlennosti – Herald of Safety in Mining Industry Scientific Center, 4, 18-26 [in Russian].
9. Kachurin, N.M., Klishin, V.I., Borshchevich, A.M., & Kachurin, A.N. (2013). Prognoz metanovoy opasnosti ugol'nykh shakht pri intensivnoy otrabotke ugol'nykh plastov [Methane hazard in coal mine forecasting during coal seam intensive mining]. Tula – Kemerovo: TulGU [in Russian].
10. Portola, V. A. Indirect Negative Influence of Coal Mine Motor Vehicles on the Environment [Electronic resource] / V. A. Portola, E. S. Torosyan, A. S. Kuznetsova // Applied Mechanics and Materials: Scientific Journal. – 2015. – Vol. 770: Urgent Problems of Up-to-Date Mechanical Engineering. – P. 690-694
11. Shadrin, A.V. Geophysical criterion of pre-outburst coal out squeezing from the face space into the working / Shadrin, Y. Diyuk. // International Journal of Mining Science and Technology. <https://doi.org/10.1016/j.IJMST.2018.11.001>
12. Kormin, A.N. Seismological survey of the coal fields based on the applying of the low-power sources of oscillation / A.N. Kormin, O.V. Tailakov, S.V. Sokolov, M.P. Makeev // E3S Web of Conferences Electronic edition, – 2018, –№01029, – pp. 1-5 (DOI: 10.1051/e3sconf/20184101029)
13. Kanlybaeva, Zh.M. (1968). Zakonomernosti sdvizheniya gornykh porod v massive [Patterns of rock displacement in the massif]. Nauka [in Russian].
14. Cherniak, I.L., & Zaidenvarg, V.Ye. (1993). Periodichnost' izmeneniya napryazhonno-deformirovannogo sostoyaniya massivov uglya i porod vpered i ochistnogo zaboya [The frequency of changes in the stressed-deformed state of coal and rock massifs in front of the extraction face]. Mining Magazine. News of High School, 3, 25-28 [in Russian].
15. Yakobi, O. (1987). Praktika upravleniya gornym davleniyem [Rock pressure control practice]. Moscow: Nedra [in Russian].
16. Kozyreva, Ye.N., Shinkevich, M.V., & Nazarov, N.Yu. (2011). Nekotoryye osobennosti upravleniya metanoobil'nost'yu vysokoproizvoditel'nogo vyyemochnogo uchastka [Some features of methane inflow control at a high-performance extraction section]. Gornyy informatsionno-analiticheskiy bulleten – Mining Informational Analytical Bulletin, 9, 322-325 [in Russian].
17. Kozyreva, Ye.N., Shinkevich, M.V., & Rodin, R.I. (2012). Gazokineticheskiye sledstviya nelineynykh geomekhanicheskikh protsessov v massive gornykh porod na shakhtakh Kuzbassa [Gas-kinetic consequences of nonlinear geomechanical processes in the rock mass at the mines of Kuzbass]. Proceedings from: Nonlinear geomechanical-geodynamic processes during the development of mineral deposits at great depths. 2–aya Rossiysko–Kitayskaya nauchnaya konferentsiya - 2nd Russian-Chinese Scientific Conference (pp. 267-272). Novosibirsk: IGD SO RAS [in Russian].
18. Shinkevich, M. V. Variability of rock pressure long he length of the working ace. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyy hurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal – 2020; – №3: – P.24–30. DOI: 10.21440/0536-1028-2020-3-24-307.
19. Oparin, V.N., & Tanaino, A.S. (2011). Kanonicheskaya shkala iyerarkhicheskikh predstavleniy v gornom porodovedenii [The canonical scale of hierarchical representations in rock science]. Novosibirsk: Nauka [in Russian].
20. Kurlenia, M.V., & Oparin, V.N. (1999). Problemy nelineynoy geomekhaniki [Nonlinear Geomechanics Problems]. FT-PRPI, 3, 12-26 [in Russian].
21. Petukhov, I.M., & Lin'kov, A.M. (1976). Teoriya zashchitnykh plastov [Protective seam theory]. Moscow: Nedra [in Russian].

ПГО-МИСТ

Санитайзер, система аэрозольной дезинфекции помещений
С помощью двух каналов жидкость/воздух обеспечивает необходимое покрытие достаточных объемов воздуха для очистки помещения до 1000 м³



Применяется для дезинфекции закрытых помещений: комнат, классов, коридоров, офисов, приемных



Высокая эффективность дезинфекции, даже в труднодоступных местах



Безопасность для мебели, отделки и электроприборов



Бесконтактная, безлюдная дезинфекция помогает избежать контакта работников с химией



ООО "Горный-ЦОТ"
indsafe.ru

Система туманообразования обеспечивает точное количество дезинфицирующего раствора для уничтожения патогенных микроорганизмов в огромном количестве сложных пространств рабочих, производственных и других видах помещений, поддерживает концентрацию и время контакта для обработки всех открытых поверхностей в помещении. Прибор работает от обычной сети 220 В и прост в размещении и эксплуатации.

Преимущества и новизна системы:

- Уничтожение до 99,9% бактерий, вирусов и грибов
- Экономичность распыления дезинфицирующего средства
- Компактный размер и уникальный форм-фактор, позволяющий сделать устройство незаметным в интерьере
- Быстрая обработка закрытых помещений
- Встроенная система подачи воздуха разносит туман с дезинфицирующим средством



Модель работы прибора для аэрозольной дезинфекции ПГО-Мист

- Может использоваться с различными средствами для обработки
- Таймер позволяет избежать контакта человека с химией
- Мелкодисперсный туман позволяет поддерживать нужную концентрацию раствора
- Управление задает время работы в зависимости от объемов помещения
- Программируемый модуль для интервальной обработки
- Отложенный старт после нажатия позволяет избежать контактов сотрудников с химическим реактивом
- Цена ниже импортных аналогов
- Полностью российское производство на базе Кузбасского технопарка

ТРЕБОВАНИЯ К РАЗМЕЩЕНИЮ РЕКЛАМНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Научно-технический журнал «Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности» приглашает научные институты, организации и промышленные предприятия разместить информацию о конференциях, выставках, разрабатываемой и выпускаемой продукции в области охраны труда, безопасности в чрезвычайных ситуациях, пожарной и промышленной безопасности в угольной промышленности, контроля природной среды, веществ, материалов и изделий, а также приборостроения.

РАЗМЕРЫ РЕКЛАМНЫХ МОДУЛЕЙ:

- размер для 1 полосы: 216*303 мм, включая по 3 мм на обрезку с каждой стороны внешнего периметра, на корешок допуск ставить не нужно.
- 1/2 полосы вертикальная: 103*303 мм,
- 1/2 полосы горизонтальная: 216*151 мм
- 1/3 полосы горизонтальная: 216*92 мм
- 1/4 полосы горизонтальная: 216*67 мм
- 1/4 полосы вертикальная в верхнем или нижнем внешнем углу страницы: 103*151 мм

ТРЕБОВАНИЯ К РЕКЛАМНЫМ СТАТЬЯМ

1. Текст для статьи предоставляется только в текстовом редакторе Word.
2. Объем статьи: не более 4500 печатных знаков с пробелами (без изображений). При использовании фотографий объем текста пропорционально уменьшается.
3. Требования к фотографиям: формат *.eps* или *.tiff* с разрешением 300 dpi.
4. Логотип – в форматах *.cdr*, *.eps*, при этом шрифты должны быть переведены в кривые.
5. Текст рекламной статьи должен включать заголовок (подзаголовок), выходные данные заказчика: название, адрес, телефон, электронный адрес компании.

ТРЕБОВАНИЯ К РЕКЛАМНЫМ МАКЕТАМ

1. Размер электронного макета должен соответствовать размерам рекламного модуля.
2. Растровые файлы должны быть в форматах *.tif*, *.psd*, *.eps* с разрешением 300 dpi, векторные – *.ai*, *.eps* и *.cdr*.
3. Оригинал-макеты передаются в цветовой модели CMYK без компрессии.
4. Верстка может быть в форматах Adobe Illustrator, Corel Draw, Adobe InDesign (в этом случае должны предоставляться все связанные элементы, а также все используемые шрифты, обязательно макет должен так же прилагаться в pdf).
5. В макете, подготовленном в пакете Corel Draw не допускается наличие следующих эффектов: shadow, transparency, gradient fill, lens, texture fill и postscript fill. Все вышеперечисленные эффекты Corel Draw должны быть конвертированы в bitmap 300 dpi.
6. Черный цвет текста должен состоять только из черного канала – C:0, M:0, Y:0, K:100 или 100 Black в одноцветной шкале Grayscale.
7. Все текстовые элементы оригинал-макета должны быть переведены в кривые.
8. Текст и важные изображения (логотип и т. п.) не должны располагаться ближе 5 мм к обрезному краю.

Информация о расценках на размещение рекламы размещена на сайте www.ind-saf.ru.

Редакция журнала оставляет за собой право отбора поступивших рекламных материалов.

ТРЕБОВАНИЯ, УСЛОВИЯ И ПОРЯДОК ПРЕДСТАВЛЕНИЯ РУКОПИСЕЙ В НТЖ «Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности»

I. Порядок представления материалов в редакцию

1. В журнал принимаются статьи, соответствующие его тематике – охрана труда, безопасность в чрезвычайных ситуациях, пожарная и промышленная безопасность в угольной промышленности, приемы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий.

2. Статья должна быть оригинальной, не представленной в других изданиях.

3. На основании положений части четвертой Гражданского кодекса Российской Федерации (раздел VII «Права на результаты интеллектуальной деятельности и средства индивидуализации») представляемые в журнал статьи должны сопровождаться лицензионным договором о передаче ООО «ВостЭКО» (издатель журнала) простой (неисключительной) лицензией. Договор заполняется на бланках по образцам лицензионных договоров с одним или коллективом авторов (при написании статьи несколькими авторами). Лицензионный договор является договором присоединения. Необходимо заполнить и подписать договор, отсканированный вариант отправить по e-mail: yarosh_mv@mail.ru, два первых экземпляра оформленного договора отправить в редакцию по почте: 650002, Кемерово, Сосновый бульвар, д. 1, ООО «ВостЭКО». Договор, подписанный автором/авторами и направленный по электронной почте, признается равнозначным документу на бумажном носителе, подписанному собственноручной подписью, порождающим права и обязанности сторон. Скачать бланки договора можно на сайте www.indsafe.ru.

II. Форма представления рукописи

1. Рукопись представляется отпечатанной в текстовом редакторе Word через 1,5 интервала на одной стороне стандартного листа белой бумаги формата А4 и в электронном виде (передается по электронной почте yarosh_mv@mail.ru или на магнитном носителе).

2. Все страницы рукописи, включая таблицы, список литературы, рисунки должны быть пронумерованы. Рекомендуемый объем статьи 5–7 страниц. Статья должна быть подписана всеми авторами.

3. Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

Подготовка электронной версии материалов

1. Текст набирается шрифтом Times New Roman, размер шрифта 12, для заголовка 16, полуторный интервал, абзацный отступ 1,25 см, формат листа А4. Поля с левой стороны 3 см, сверху и снизу и справа 2 см;

2. Электронная версия должна быть идентична распечатанному тексту. В случае расхождения за основу берется печатный вариант.

Структура статьи

1. Индекс УДК.

2. Фотографии всех авторов (форматы: TIF, Jpeg, Png, не сканированные, не ретушированные, не обрезанные, разрешение 300 dpi).

3. Инициалы и фамилия автора (ов).

4. Место работы.

5. Название статьи.

6. Реферат. *Реферат должен быть информативным, отражать основное содержание статьи и результаты исследований, следовать логике описания результатов в статье, укладываться в объем от 100 до 250 слов. Возможно краткое повторение структуры статьи, включающей введение, цели и задачи, методы, результаты, заключение.*

7. Ключевые слова.

8. Текст статьи с таблицами, иллюстрациями, формулами.

9. Список литературы (оформленный в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5 - 2008 «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления»).

На отдельном листе или в конце статьи размещается «Список авторов», который должен содержать:

– публикуемые сведения об авторах (название организации указывается в соответствии с учредительными документами);

– служебные или домашние адреса с указанием почтового индекса;

– адрес электронной почты (e-mail).

Обращаем ваше внимание, что представление оригинальной статьи к публикации в НТЖ означает согласие авторов на передачу права на воспроизведение, распространение и доведение произведения до всеобщего сведения любым способом.

Редколлегия

СЛОВО РЕДАКТОРА // EDITORIAL

5 Трубицына Н. Trubitsyna N.

5 Трубицына Н. Trubitsyna N.

АКТУАЛЬНО // IMPORTANT

6 С.Б. Романченко, Г. И. Коршунов, А.Н. Тимченко Практика применения схем проветривания подготовительных выработок при применении систем пылеудаления
S. B. Romanchenko, G.I. Korshunov, A.N. Timchenko Practice of using aring shemes for preparatory workings with dust removal systems

**I. ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ГЕОМЕХАНИКА // INDUSTRIAL SAFETY AND GEOMECHANICS**

17 А. В. Шадрин, Ю.А. Диук Алгоритм "настройки" критерия выбросоопасности усовершенствованного спектрально-акустического метода текущего прогноза
A.V. Shadrin Yu.A. Diiuk Outburst hazard current forecast improved spectral-acoustic method criterion "setting" algorithm

28 В.А. Карасев, Ю.А. Масаев, В.Ю. Масаев Влияние применяемых видов крепей на эффективность отработки мощных крутопадающих угольных пластов
V.A. Karasev, Yu.A. Masaev, V.Yu. Masaev Influence of the applied types of supports on the efficiency of mining of powerful steeply falling coal seams

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

36 В.А. Портола, С.И. Протасов, А.А. Бобровникова, Е.А. Серегин Оценка длительности инкубационного периода самовозгорания углесодержащих пород отвалов
V.A. Portola, S.I. Protasov, A.A. Bobrovnikova, E.A. Seregin Estimation of the duration of the incubation period of spontaneous combustion of coal-containing rocks of dump

42 С.Б. Романченко, А.А. Трубицын, Д.А. Трубицына Производственный мониторинг взрывоопасных аэрозолей в шахтах: актуальность, испытания, перспективы
S.B. Romanchenko, A. A. Trubitsyn, D.A. Trubitsyna Industrial monitoring of explosive aerosols in mines: actuality, tests, prospects

52 А. И. Фомин, Д.А. Бесперстов Методика оценки и прогнозирования возникновения негативных ситуаций, связанных с пожарами на угольных предприятиях
A.I. Fomin, D.A. Besperstov Negative situations associated with fire at coal enterprises assessment and forecast methodology

64 А.С. Голик, В.Б. Попов, А.С. Ярош, В.В. Кинзаков Оценка негативного влияния ведения поисковых работ
A.S. Golik, V. B. Popov, A.S. Yarosh, V.V. Kinzakov Assessment of the negative impact of prospecting and mining on the ecology of the USA river valley and its tributaries

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

70 А.П. Каргополова, М.Л. Рудаков, А.Н. Никулин, Н.Е. Дука. Анализ шума, как вредного

производственного фактора при добыче угля подземным способом
A.P. Kargopolova, M.L. Rudakov, A.N. Nikulin, N.E. Duka. Analysis of noise as an occupational hazard while underground coal mining

79 А.С. Ярош, В.Б. Попов, А.С. Голик Оперативный контроль воздухопроницаемости шахтных изолирующих перемычек
A.S. Yarosh, V.B. Popov, A.S. Golik Mine insulating barriers' air permeability operational control

83 П.Б. Герике, А.Г. Никитин Вибродиагностика центробежных насосов
P.B. Gericke, A.G. Nikitin Vibration-based diagnostics of centrifugal pumps

90 М.В. Шинкевич, Р.И. Родин Волнообразность горного давления при отработке длинных лав
M.V.Shinkevich, R.I.Rodin Rock pressure waviness during longwall working

96 ТРЕБОВАНИЯ К РЕКЛАМНЫМ МАТЕРИАЛАМ // ADVERTISING MATERIALS REQUIREMENTS

97 ТРЕБОВАНИЯ К СТАТЬЯМ // DEMANDS TO ARTICLES

98 СОДЕРЖАНИЕ // CONTENT



Подписано в печать 18.12.2020. Тираж 1000 экз. Формат 60х90 1/8.
Выпуск 4-2020, дата выхода в свет 25.12.2020
Объем 10 п. л. Заказ № 1 2020 г. Цена свободная.
Типография ООО «ИНТ».
650065, Россия, Кемеровская область, г. Кемерово, пр-т Октябрьский, 28 офис 215
Тел. 8 (3842) 657889.